



HAL
open science

Vieillessement cognitif et connaissances antérieures dans la recherche d'informations : étude des processus cognitifs et implications ergonomiques

Mylène Sanchiz

► **To cite this version:**

Mylène Sanchiz. Vieillessement cognitif et connaissances antérieures dans la recherche d'informations : étude des processus cognitifs et implications ergonomiques. Psychologie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 2017. Français. NNT : 2017TOU20102 . tel-02137408

HAL Id: tel-02137408

<https://theses.hal.science/tel-02137408>

Submitted on 23 May 2019

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

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



Université
de Toulouse

THÈSE

En vue de l'obtention du

DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

Délivré par : *l'Université Toulouse - Jean Jaurès*

Présentée et soutenue le *04/12/2017* par :

Mylène SANCHIZ

**Viellissement cognitif et connaissances antérieures dans la recherche
d'informations : étude des processus cognitifs et implications
ergonomiques.**

JURY

ALINE CHEVALIER
FRANCK AMADIEU
AURÉLIA BUGAISKA
JÉRÔME DINET
MIREILLE BETRANCOURT
ANDRÉ TRICOT

Professeure des Universités
Professeur des Universités
Professeure des Universités
Professeur des Universités
Professeure des Universités
Professeur des Universités

Co-directrice de thèse
Co-directeur de thèse
Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Examineur

École doctorale et spécialité :

CLESCO : Psychologie

Unité de Recherche :

Cognition, Langues, Langage, Ergonomie (CLLE), UMR 5263

Directeur(s) de Thèse :

Aline CHEVALIER et Franck AMADIEU

Rapporteurs :

Aurélia BUGAISKA et Jérôme DINET

R É S U M É

Rechercher de l'information sur Internet avec un moteur de recherche est une activité complexe qui exige des utilisateurs un grand nombre de traitements. Les travaux de recherche sur les effets du vieillissement en RI ont montré que les utilisateurs âgés ont de moins bonnes performances, passent plus de temps à évaluer les pages de résultats du moteur de recherche et reformulent moins que les jeunes. Ces difficultés seraient dues au déclin des habiletés cognitives fluides comme la flexibilité cognitive, la vitesse de traitement ou le rafraichissement en mémoire de travail. Pour comprendre comment le vieillissement cognitif affecte l'activité de RI, nos travaux ont investigué les stratégies de recherche élaborées par les utilisateurs jeunes et âgés ainsi que les processus cognitifs impliqués. La première partie de ce travail s'est attaché à étudier, au travers de 2 expérimentations, comment les connaissances antérieures peuvent soutenir l'activité de recherche des utilisateurs plus âgés et les aider à répondre aux exigences de la RI selon le niveau de complexité des tâches de recherche. La deuxième partie du travail de recherche a investigué le rôle de deux dispositifs d'aide à la RI : l'un maximisant les effets bénéfiques des connaissances antérieures par un dispositif de pré-activation (étude 3), et l'autre soutenant le maintien du but en mémoire de travail (étude 4). Nos résultats ont montré que les utilisateurs plus âgés ont davantage de difficultés que les jeunes à évaluer les pages de résultats du moteur de recherche et à reformuler leurs requêtes (ils produisent moins de nouveaux mots clés et utilisent plus de mots clés issus des problèmes de recherche). En outre, la phase initiale de l'activité de recherche s'est avérée être plus critique pour les adultes âgés qui produisent des requêtes initiales moins élaborées et passent plus de temps sur la première page de résultats du moteur de recherche. Les connaissances antérieures sur le domaine peuvent toutefois soutenir le niveau d'élaboration des requêtes des utilisateurs plus âgés et améliorer les stratégies de recherche. Par ailleurs, pré-activer les connaissances antérieures peut soutenir l'élaboration de stratégies de recherche descendantes et améliorer le contenu sémantique des requêtes des âgés (particulièrement dans un domaine pour lequel ils ont de faibles connaissances antérieures). Enfin, l'outil d'aide soutenant le maintien du but en mémoire de travail favorise des stratégies de recherche plus flexibles en améliorant la reformulation des requêtes (temps de reformulation plus courts) et en aidant l'exploration en début d'activité. Ces travaux de recherche posent les bases d'un nouveau modèle cognitif de l'activité des RI pour les utilisateurs plus âgés.

ABSTRACT

Searching for information with a search engine is a complex activity that requires users to perform a series of cognitive processes. Prior works showed that older users can have lower search performance, they spent more time on the search engine result pages and they produce fewer queries than young ones. Older users' difficulties are mainly caused by the age-related decline of fluid abilities such as cognitive flexibility, processing speed or update in working memory. To understand the effects of aging on information search with a search engine, we studied the search strategies elaborated and the cognitive processes involved by young and older adults. The first part of the present work investigated how prior knowledge about the search topic can support older users' on-line search behavior and help them deal with the search task complexity (2 experiments). The second part of our work analyzed the role of two information search support tools. One tool aimed at optimizing the benefits of domain knowledge by pre-activating prior knowledge (experiment 3) whereas the other aimed at supporting search goal refreshing in working memory (experiment 4). Results showed that older users had more difficulties evaluating the search engine results pages and reformulating than young ones (*i.e.* they produced fewer new keywords and used more keywords extracted from the search problem statement in their queries). The initial stage of the search represented a challenge for older users who formulated initial queries that were less elaborate and spent longer dwell time on the first search engine page than young ones. Prior knowledge can improve older users' reformulation and support more elaborate search strategies. In addition, pre-activating prior knowledge can foster top-down search strategies and improve the semantic content of the queries produced by older users (especially in a domain for which they have low prior knowledge). The support tool helping search goal refreshing in working memory fostered more flexible search strategies and improved reformulation (*i.e.* reduced the time needed by older users to reformulate). Eventually, our research work led us to elaborate a new cognitive model of information search with a search engine that takes into account the role of aging.

REMERCIEMENTS

Un grand merci à Franck Amadiou et Aline Chevalier pour leur encadrement pendant ces trois ans. Pour vos retours sur les articles, nos échanges, votre soutien, votre confiance et vos encouragements. Merci pour votre aide et votre implication qui m'ont aidée à développer mes compétences et à m'épanouir dans la recherche et l'enseignement. Je suis extrêmement chanceuse d'avoir pu bénéficier de l'opportunité d'intégrer ce projet. Merci de m'avoir permis de communiquer sur ce travail un peu partout dans le monde.

Une pensée particulière pour Julie Lemarié, qui a fait bien plus que m'aider à me lancer dans la recherche. Du premier rendez-vous découverte du master en L2 jusqu'au mémoire de M2R, vous m'avez tous les deux avec Franck transmis votre rigueur, curiosité et de quoi partir avec confiance dans l'aventure du doctorat. Merci beaucoup !

Merci à Aurélia Bugaïska, Jérôme Dinot, Mireille Betrancourt et André Tricot d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse et d'évaluer ce travail.

Merci aux membres du projet ANR Mission pour nos échanges et nos collaborations. Merci à Pierre-Vincent Paubel pour son aide estivale sur les dernières données oculo !

Merci au laboratoire CLLE et aux membres de l'axe 3 pour l'aide et l'intérêt que vous portez aux doctorants.

Merci à tous les participants qui ont rendu ce travail possible ! A ceux qui sont près d'ici, un peu moins près ou très loin ! Thank you ☺ Les passations étaient toujours des moments enrichissants grâce à vos remarques, vos questions et votre intérêt pour les études de ce travail de thèse.

Et enfin, je voudrais adresser mes pensées à ceux qui m'ont laissé arpenter, avec plus ou moins de douceur, le chemin que j'ai pris ... pour ouvrir une nouvelle porte encore vers davantage d'inconnu ! Votre présence et votre soutien me ramènent toujours vers une route plus sûre. Je vous serai toujours reconnaissante de m'avoir donné en héritage les racines d'une volonté forte. Je souhaite que vous continuiez longtemps encore à me rappeler à l'ordre d'avoir confiance en ce que je fais et de vivre avec plus de légèreté. A ma mère, mon père et mon frère, j'espère honorer ces cartes à ma disposition, dont vous êtes responsables, et qui me permettent aujourd'hui de me diriger vers un métier où je pourrai explorer, chercher, apprendre et découvrir encore comme j'en ai toujours rêvé. A Florence, qui est devenue une sœur, qui m'aide à m'enrichir de tout et dont l'amitié m'est très précieuse. Merci surtout de me laisser croire que je suis drôle même en étant fatiguée, c'est une qualité brillante et inestimable quand les nerfs sont mis à rude épreuve (qualité parmi tant d'autres s'il en est).

*The forest is sweet dark and deep,
But I have promises to keep
And miles to go before I sleep
And miles to go before I sleep*
R. Frost

VALORISATION

Les travaux présentés dans cette thèse ont fait l'objet de publications dans des revues internationales à comité de lecture ou de communications dans des conférences nationales et internationales :

ARTICLES DANS DES REVUES INDEXEES

- (1) **Sanchiz, M.**, Chevalier, A., & Amadiou, F. (2017). How do older and young adults start searching for information? Impact of Age, Domain Knowledge and Problem Complexity steps of Information Searching. *Computers in Human Behavior*, 72, 67–78. doi: 10.1016/j.chb.2017.02.038
- (2) **Sanchiz, M.**, Chin, J., Chevalier, A., Fu, W. T., Amadiou, F., & He, J. (2017). Searching for information on the web: Impact of cognitive aging, prior domain knowledge and complexity of the search problems. *Information Processing and Management*, 53(1), 281-294. doi: 10.1016/j.ipm.2016.09.003
- (3) Karanam, S., Van Oostendorp, H., **Sanchiz, M.**, Chevalier, A., Chin, J. & Fu, W.T. (2017). Cognitive modeling of age-related differences in information search behavior. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 68(10), 2328-2337. doi: 10.1002/asi.23893
- (4) **Sanchiz, M.**, Chevalier, A., Fu, W-T, & Amadiou, F. Does Pre-activating Domain Knowledge foster elaborated online Information Search Strategies? Comparisons between young and older web users. (*submitted*, march 2017), *Applied Ergonomics*.
- (5) **Sanchiz, M.**, Amadiou, F., & Chevalier, A. Searching for information for well-defined and ill-defined search tasks with google search engine: predictors of young and older adults search strategies. (*submitted*, june 2017), *Interacting with Computers*.
- (6) **Sanchiz, M.**, Amadiou, F., Paubel, P-V., & Chevalier, A. Older user friendly search interface: supporting search goal refreshing in working memory to improve search strategies. (*submitted*, October, 2017). *Applied Cognitive Psychology*.

COMMUNICATIONS ORALES

- (7) **Sanchiz, M.**, Chin, J., Chevalier, A., Fu, W.T., Amadiou, F., & He, J. (2015, July). *Rechercher de l'information sur internet : impact du vieillissement, du domaine de connaissances et de la complexité des questions de recherche sur la dynamique de l'activité*. 8^{ème} Conférence de Psychologie Ergonomique (Epique), Aix-en-Provence, France.
- (8) Karanam, S., van Oostendorp, H., **Sanchiz, M.**, Chevalier, A., Chin, J., & Fu, W. T. (2015, July). *Modeling and predicting information search behavior*. In Proceedings of the 5th International Conference on Web Intelligence, Mining and Semantics (p. 7). ACM.
- (9) **Sanchiz, M.** Chevalier, A., Amadiou, F., & Fu, W-T. (2017, July). *Effets du domaine de connaissances et de la pré-activation des connaissances antérieures sur les interactions avec un moteur de recherche par des internautes jeunes et âgés*. 9^{ème} conférence EPIQUE, Dijon, France.
- (10) **Sanchiz, M.** Chevalier, A., Amadiou, F. (2017, september). *Effets de l'âge et des connaissances antérieures sur la recherche d'informations avec un moteur de recherche*. Conférence de la Société Française d'Ergonomie, SELF, Toulouse, France.

COMMUNICATIONS AFFICHEES

- (11) **Sanchiz, M.**, Chin, J., Chevalier, A., & Amadiou, F. (2017, March). *Relationships between Age, Domain Knowledge and Prior Knowledge Pre-activation on Information Searching*. In Proceedings of the 2st International Conference on Human Information Interaction and Retrieval. ACM.<http://dx.doi.org/10.1145/3020165.3022135>
- (12) **Sanchiz, M.**, Amadiou, F., Paubel, P-V., & Chevalier, A. (2018, March). *Supporting older users' web exploration to search for information with a search engine*. Paper submitted to the 3^d International Conference on Human Information Interaction and Retrieval, New Brunswick, New York, USA.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	13
1 La recherche d'informations (RI) chez les âgés aujourd'hui	13
2. Quelles ressources cognitives pour aider les âgés à répondre aux exigences de la RI ? Enjeux fondamentaux et retombées ergonomiques	15
3 Présentation du plan de la thèse	17
PARTIE 1 CONTEXTE THEORIQUE DE LA THESE	19
Chapitre 1 Les exigences cognitives de la recherche d'informations	19
1.1 La recherche d'informations : activité complexe de résolution de problèmes	19
1.2 Modèles cognitifs de la recherche d'information	21
1.2.1 <u>Modèle adaptatif SNIF-ACT issu de la modélisation ACT-R</u>	21
1.2.2 <u>Modèle cognitif CoLiDes +Pic</u>	25
1.2.3 <u>Modèle cognitif de la recherche d'informations de Sharit, Hernández, Czaja et Pirolli (2008)</u>	28
1.2.4 <u>Points clés à retenir</u>	29
1.3 La complexité des tâches comme déterminant des exigences de l'activité de recherche d'informations	31
1.3.1 <u>Le rôle de la complexité des tâches de recherche d'informations sur les exigences de la RI</u>	32
1.3.2 <u>Les effets de la complexité objective des tâches sur les stratégies de recherche des utilisateurs</u>	37
1.3.3 <u>Conclusion</u>	39
Chapitre 2. Les ressources cognitives des âgés pour répondre aux exigences de la recherche d'information	42
2.1 Evolution des processus cognitifs en jeu dans la recherche d'informations avec le vieillissement	43
2.1.1 <u>Impact du ralentissement cognitif dans la recherche d'informations</u>	43
2.1.2 <u>Rôle des modifications du fonctionnement exécutif dans la recherche d'informations</u>	45
2.1.3 <u>Vieillesse, mémoire et recherche d'informations</u>	50

2.1.4 <u>Effets du vieillissement cognitif en recherche d'informations : interactions entre âge et niveau d'exigence des tâches de recherche</u>	53
2.2 Les connaissances antérieures du domaine comme ressources cognitives soutenant de l'activité de recherche d'informations	55
2.2.1 <u>Revue de l'impact des connaissances antérieures sur la recherche d'informations</u>	56
2.2.2 <u>Rôle modérateur des connaissances antérieures sur les effets de l'âge sur la RI</u>	59
2.3 <u>Les habiletés de recherche d'informations comme ressources cognitives pour l'activité de recherche d'informations</u>	63
2.4 <u>Synthèse et conclusion des effets de l'âge et des connaissances sur la recherche d'informations</u>	64
Chapitre 3. Les dispositifs d'aide à la recherche d'informations pour aider les adultes âgés à répondre aux exigences de traitement de la RI	70
3.1 Les outils d'aide à la recherche d'informations avec un moteur de recherche	72
3.1.1 <u>Dispositifs d'aide à la reformulation de requêtes</u>	73
3.1.2 <u>Dispositifs d'aide à la RI pour les adultes âgés par soutien aux interactions avec l'environnement de recherche</u>	76
3.1.3 <u>Synthèse des principaux enjeux des dispositifs d'aide à la RI pour les adultes âgés</u>	78
3.2 Nouveau dispositif d'aide supportant l'utilisation des connaissances antérieures et les changements dans l'accès au lexique en mémoire pour les adultes âgés	79
3.2.1 <u>Revue des effets de l'âge en RI avec un moteur de recherche soutenant l'élaboration d'un outil d'aide par pré-activation des connaissances antérieures</u>	79
3.2.2 <u>Présentations des effets supposés de l'outil d'aide à la RI par pré-activation des connaissances antérieures chez les utilisateurs âgés</u>	81
3.3 Nouveau dispositif d'aide à la RI par maintien du but de recherche en mémoire de travail	85

3.3.1 <u>Revue des effets de l'âge en RI avec un moteur de recherche soutenant l'élaboration d'un outil d'aide par aide au maintien du but de recherche en MDT</u>	85
3.3.2 <u>Présentations des effets supposés de l'outil d'aide à la RI par aide au maintien du but de recherche en MDT</u>	86
3.4 Synthèse du chapitre 3 sur les outils à la RI	88
Chapitre 4. Problématique et hypothèses générales	89
4.1 Rappel des arguments empiriques présentés	89
4.2 Objectifs principaux de la thèse	91
4.3 Principales hypothèses de la thèse sur les effets de l'âge et des connaissances sur l'activité de recherche d'informations en fonction de la complexité des tâches de recherche.	93
4.3.1 <u>Hypothèses liées aux activités de formulation et reformulation de requêtes</u>	93
4.3.2 <u>Hypothèses liées à la navigation depuis un moteur de recherche : analyse des pages de résultats du moteur de recherche et sélection des sites web à visiter</u>	94
4.3.3 <u>Hypothèses liées à la performance</u>	95
4.4 Hypothèses liées aux dispositifs de guidage/ d'aide à la recherche d'information	96
4.4.1 <u>Dispositif d'aide à la RI par pré-activation des connaissances antérieures sur le domaine (étude 3)</u>	96
4.4.2 <u>Dispositif d'aide à la RI par maintien du but de recherche en MDT (étude 4)</u>	97
PARTIE 2 TRAVAUX EMPIRIQUES	99
Chapitre 5 Méthodologie générale	99
5.1 Facteurs investigués : variables indépendantes et mesures secondaires	100
5.1.1 <u>V.I. 1 : Age (V.I. invoquée, en inter-sujets)</u>	100
5.1.2 <u>V.I. 2 : Domaine de connaissances (V.I. en intra-sujets)</u>	100
5.1.3 <u>V.I. 3. : Complexité des tâches de recherche (V.I. en intra-sujets)</u>	101
5.1.4 <u>Facteurs additionnels mesurés</u>	103
5.2 Méthodes de recueil des données expérimentales	104
5.2.1 <u>Méthodes on-line : analyse de l'activité de RI</u>	105

5.2.1.1 <u>Activités de production de requêtes et reformulation(s)</u>	105
5.2.1.2 <u>Analyse des pages de résultats du moteur de recherche et navigation</u>	106
5.3 Performance	107
5.4 Méthodes <i>off-line</i> : questionnaires post activité de recherche d'informations	107
5.5 Procédure expérimentale générale	108
5.6 Analyse des données collectées	109
Chapitre 6 Article 1 : Sanchiz, M., Chin, J., Chevalier, A., Fu, W. T., Amadiou, F., & He, J. (2017). Searching for information on the web: Impact of cognitive aging, prior domain knowledge and complexity of the search problems. <i>Information Processing and Management</i> , 53(1), 281-294.	110
Chapitre 7 Article 2 : Sanchiz, M., Chevalier, A., & Amadiou, F. (2017). How do older and young adults start searching for information? Impact of Age, Domain Knowledge and Problem Complexity steps of Information Searching. <i>Computers in Human Behavior</i> , 72, 67–78. doi: 10.1016/j.chb.2017.02.038	125
Chapitre 8 Article 3: Sanchiz, M., Amadiou, F. & Chevalier, A. Searching for information for well-defined and ill-defined search tasks with google search engine: predictors of young and older adults search strategies. (<i>under review</i> , 2017), <i>Interacting with Computers</i> .	138
Chapitre 9 Article 4: Sanchiz, M., Chevalier, A., Fu, W-T, & Amadiou, F. Does Pre-activating Domain Knowledge foster elaborated online Information Search Strategies? Comparisons between young and older web users. (<i>under review</i> , 2017), <i>Applied Ergonomics</i> .	166
Chapitre 10 Article 5: Sanchiz, M., Amadiou, F. Paubel, P.V, & Chevalier, A. Older user-friendly search interface : supporting search goal refreshing in working memory to improve search strategies	184

Chapitre 11 : Synthèse de la partie empirique : méta-analyse et investigations du rôle des habiletés cognitives fluides et cristallisées investiguées sur la RI Effets de l'âge du domaine de connaissances et de la complexité des tâches	209
11.1 Méta-Analyse	210
11.1.1 <u>Résultats des analyses groupées sur les activités de formulation et reformulation de requêtes</u>	210
11.1.2. <u>Résultats des analyses groupées sur la navigation depuis un moteur de recherche</u>	211
11.1.3. <u>Résultats des analyses groupées sur la performance</u>	213
11.2 Effets des fluides et cristallisées en RI	214
11.2.1 <u>Résultats préliminaires sur les habiletés fluides des participants jeunes et âgés</u>	214
11.2.2 <u>Résultats préliminaires sur les habiletés cristallisées des participants jeunes et âgés</u>	214
11.2.3 <u>Investigations sur l'impact des habiletés fluides, cristallisées et du SAE en RI sur l'activité</u>	216
11.2.3.1 <u>Impact du déclin des habiletés cognitives fluides investiguées sur la RI</u>	217
11.2.3.2 <u>Impact des habiletés cognitives cristallisées et du SAE</u>	217
11.3 Impact des habiletés cognitives chez les utilisateurs âgés	219
PARTIE 3 DISCUSSION, CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	220
Chapitre 12 Discussion	220
12.1 Discussion des principaux résultats	221
12.1.1 <u>Discussion des effets du vieillissement cognitif et des connaissances antérieures sur les activités de production et reformulation de requêtes en Ri avec moteur de recherche</u>	221
12.1.2 <u>Discussion des effets du vieillissement cognitif et des connaissances antérieures sur les activités d'analyse des pages de résultats et de navigation en RI avec moteur de recherche</u>	222

12.1.3 <u>Discussion des effets du vieillissement cognitif et des connaissances antérieures sur la performance en RI avec moteur de recherche</u>	225
12.1.4 <u>Discussion des effets du vieillissement cognitif et du rôle des outils d'aide à la RI</u>	226
12.2 Discussion générale : effets du vieillissement cognitif sur la RI avec un moteur de recherche : articulation entre habiletés fluides et cristallisées et allocation des ressources cognitives sur les processus qui sous-tendent la RI	227
12.3 Bases d'un modèle de l'activité de RI chez les personnes plus âgées	229
12.3.1 <u>Effets de l'évolution des habiletés fluides avec l'avancée en âge dans la RI</u>	230
12.3.2 <u>Effets de l'évolution des habiletés cristallisées sur l'impact du vieillissement cognitif en RI</u>	232
12.4 Conclusion sur les principaux apports de nos travaux	233
12.5 Limites des études conduites	235
12.5.1 <u>Représentativité des adultes âgés participant à nos expérimentations et effet du niveau d'étude</u>	235
12.5.2. <u>Opérationnalisation des connaissances sur le domaine et intérêt pour la tâche</u>	237
12.5.3 <u>Tâches de RI imposées/spontanées (i.e. générées par l'utilisateur), familiarité avec l'activité de RI et facteurs affectifs et motivationnels de l'âge sur la RI</u>	239
12.6 Cadre général des futurs travaux de recherche	242
12.6.1 <u>1^{er} volet de recherche : Perspectives de recherche fondamentales</u>	242
12.6.2 <u>2^{ème} volet de recherche : Perspectives de recherche appliquées</u>	246
Références	247
Chapitre 13 Annexes	263

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Exemple du processus de diffusion de l'activation depuis les chunks contenus dans un lien (piste navigationnelle potentielle) aux chunks issus du but de recherche (adapté de Fu & Pirolli, 2007).	22
Figure 2 : Schéma des facteurs et des traitements impliqués dans la recherche d'informations avec un moteur de recherche (en bleu sont représentés les processus descendants, en gris les	70

processus descendants). En rouge sont représentées les difficultés supposées des âgés dues au déclin de certaines habiletés cognitives.	
Figures 3a et 3b : présentation de la modalité d'accès aux pages par prévisualisation en transparence du contenu d'une page web; tirées de Djouani et al. (2011)	78
Figure 4 : schéma des effets hypothétiques attendus du dispositif de pré-activation sur la compensation des effets de l'âge dans l'optimisation des connaissances antérieures en RI	85
Figure 5 : schéma des effets hypothétiques attendus du dispositif de maintien du but en MDT sur la compensation des effets de l'âge en RI	87
Figure 6 : synthèse des effets attendus du déclin des habiletés cognitives lié à l'âge et des connaissances antérieures sur les activités impliquées en recherche d'informations (modèle détaillé adapté de Sharit <i>et al.</i> , 2008)	93
Figure 7 : synthèse des effets attendus des dispositifs d'aide à la RI par pré-activation des connaissances antérieures (bleu, étude 3) et par maintien du but en MDT (vert, étude 4) sur les activités impliquées en recherche d'informations (modèle détaillé adapté de Sharit <i>et al.</i> , 2008)	96
Figure 8 : Vue schématique du protocole expérimental conduit dans les expérimentations réalisées (selon l'objectif de chaque étude, quelques différences peuvent s'ajouter, se référer au tableau récapitulatif 4 ainsi qu'aux chapitres suivants).	108
Figure 9 : Schémas des corrélations entre habiletés fluides et cristallisées et SAE sur l'activité de RI avec moteur de recherche	216
Figure 10 : schéma de l'impact de l'âge sur l'activité de RI	230

LISTE DES TABLES

Tableau 1 : Méthodes d'opérationnalisation de la complexité des tâches de RI	36
Tableau 2 : Synthèse des principaux résultats sur l'effet des connaissances antérieures sur le domaine en RI (classés par méthode d'opérationnalisation des connaissances antérieures)	58
Tableau 3 : Présentation des trois composantes des habiletés de recherche d'informations.	66
Tableau 4 : récapitulatif du travail expérimental conduit pendant la thèse	99
Tableau 5 : exemples de problèmes informationnels issus des expérimentations (classés par niveau de complexité). Les concepts clés pour parvenir à la réponse sont en italique pour le besoin de la présentation de la méthodologie utilisée (<i>i.e.</i> aucun élément n'est présenté en italique aux participants)	102
Tableau 6 : résultats de l'analyse groupée conduite sur l'ensemble de nos études pour les activités de production et reformulation de requêtes dans les 4 expérimentations.	210
Tableau 7 : résultats de l'analyse groupée conduite sur l'ensemble de nos études pour la navigation depuis un moteur de recherche dans les 4 expérimentations.	211
Tableau 8 : résultats de l'analyse groupée conduite sur l'ensemble de nos études pour la performance dans les 4 expérimentations.	213
Tableau 9 : Statistiques descriptives des habiletés cognitives fluides investiguées (Moyennes et (écarts-types))	214
Tableau 10 : Statistiques descriptives des habiletés cognitives cristallisées investiguées (Moyennes et (écarts-types))	214

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Vue d'ensemble des principales stratégies de reformulations étudiées en recherche d'informations en annexe	263
Annexe 2a : récapitulatif des méthodes d'opérationnalisation de la complexité objective des tâches de recherche d'informations	264
Annexe 2b : récapitulatif des méthodes d'opérationnalisation de la complexité subjective des tâches de recherche d'informations	264
Annexe 3 : Liste des principales épreuves cognitives utilisées pour évaluer les processus cognitifs impactés par le vieillissement en RI concernant les fonctions exécutives et facteurs étudiés dans la thèse.	265
Annexe 4 : Problèmes de recherche élaborés pour l'ensemble des travaux de recherche menés pendant la thèse (en bleu le domaine manga/films fantastiques, en noir le domaine santé)	266
Annexe 5a : Questionnaire mesurant les connaissances antérieures sur le domaine de l'expérience 1	268
Annexe 5b : Questionnaire mesurant les connaissances antérieures sur le domaine de l'expérience 2	269
Annexe 5c : Questionnaire mesurant les connaissances antérieures sur le domaine de l'expérience 3 (traduit de l'anglais)	270
Annexe 6a : Questionnaires post RI de l'expérience 2	271
Annexe 6b : Questionnaires post RI de l'expérience 3 (en anglais)	272
Annexe 6c : Questionnaires post RI de l'expérience 4	272
Annexe 7 : Echelle mesurant le de Sentiment d'Auto-Efficacité à rechercher de l'information sur Internet pour répondre à une question (items 3 à 13 issus de Rodon & Meyer, 2004, 2012, 2016).	274
Annexe 8a : questionnaire habitudes internet (administré par papier –crayon, expérience 1)	275
Annexe 8b : questionnaire habitudes internet (administré par qualtrics, expérience 2 à 4)	276
Annexe 9a : Tâches mesurant les habiletés de RI (expérience 2)	278
Annexe 9b : Grille de codage des tâches mesurant les habiletés de RI dans l'expérience 2	278
Annexe 9c : Tâches mesurant les habiletés de RI (expérience 4)	279
Annexe 10a : preuve de soumission de l'article 3: Searching for information for well-defined and ill-defined search tasks with google search engine: predictors of young and older adults search strategies	280
Annexe 10b : preuve de soumission de l'article 4: Does Pre-activating Domain Knowledge foster elaborated online Information Search Strategies? Comparisons between young and older web users.	280
Annexe 10c : preuve de soumission de l'article 5: older user-friendly search interface : supporting search goal refreshing in working memory to improve search strategies	281

INTRODUCTION GENERALE

1 La recherche d'informations (RI) chez les âgés aujourd'hui

Internet occupe aujourd'hui une place importante dans le quotidien de la population et notamment chez les seniors. Une enquête de 2016 en France auprès des plus de 55 ans (source : TNS Sofres Baromètre¹) rapporte que près de 2 seniors sur 3 utilisent aujourd'hui internet régulièrement. La recherche d'informations (RI) est l'une des activités les plus fréquemment réalisées par les âgés. Les activités de RI chez les âgés sont principalement liées à la recherche d'informations sur l'actualité (pour près de 70% des âgés internautes) ou sur divers produits et services (pour près de 55% des âgés utilisant internet). L'accès à internet représente un challenge important pour les âgés d'aujourd'hui. En effet, de nombreux travaux ont montré que l'utilisation d'internet est bénéfique aux âgés en contribuant à réduire l'isolement social et en favorisant le bien être (*e.g.* Mellor, Firth, & Moore, 2008 ; Thayer & Ray, 2006 ; Xie, 2007 ; Xie, 2008). Cependant, malgré cet avantage, et le fait que la plupart des seniors déclarent être attirés et curieux vis-à-vis du web (pour 58% des seniors utilisant internet et 41% des seniors non utilisateurs d'internet répondant à cette enquête), l'activité de recherche d'informations est complexe pour les âgés. Les difficultés qu'ils rencontrent peuvent d'une part relever de variables socio-affectives (sentiment d'auto-efficacité, anxiété vis-à-vis des nouvelles technologies comme la peur de mal faire ou le sentiment de ne pas savoir se servir de l'outil) et d'autre part de variables cognitives (habiletés de traitement de l'information ou les connaissances antérieures par exemple). La présente thèse interroge le second aspect en investiguant l'impact de la dimension cognitive dans les effets de l'âge sur la recherche d'informations chez des adultes jeunes et plus âgés.

L'enjeu de l'accès au web pour les âgés suscite de l'intérêt dans les champs de la psychologie cognitive, de l'ergonomie mais également en informatique et sciences de la communication. En effet, la RI est une activité complexe et exigeante, qui implique la mise en œuvre de nombreux processus cognitifs (tels que la compréhension, l'évaluation, la prise de décision...) dans des environnements très riches et hétérogènes avec lesquels les utilisateurs interagissent (moteurs de recherche, multitude de sites web ayant des structures et des fonctionnalités différentes...). Les exigences de la RI peuvent causer des difficultés pour les

¹ Enquête TNS SOFRES, Le Baromètre 55+ pour Cogedim Club, disponible à l'adresse suivante : <http://www.tns-sofres.com/publications/barometre-55-avril-2016-les-seniors-et-le-digital>

utilisateurs âgés, au niveau des interactions avec les moteurs de recherche comme Google (pour formuler des requêtes ou sélectionner des sites web à ouvrir) ou encore avec des sites web (pour se souvenir des informations lues, se repérer dans les différentes pages web, naviguer *etc*). En effet, les travaux de recherche menés dans ce domaine montrent que les âgés ont de moins bonnes performances que les jeunes : ils trouvent moins de bonnes réponses (Dommes, Chevalier, & Lia, 2011 ; Etcheverry, Baccino, Terrier, Marquié & Mojahid, 2012 ; Hanson, 2010 ; Kubeck, Miller-Albrecht, & Murphy, 1999 ; Rouet, Ros, Jegou & Metta, 2004) et passent plus de temps à rechercher l'information cible (Chevalier, Dommes, & Marquié, 2015 ; Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011). Des effets dus à l'avancée en âge sont ainsi observés dans la plupart des activités qui sous-tendent la recherche d'informations. Des travaux empiriques exposent en effet que les âgés présentent davantage de difficultés à produire et à reformuler des requêtes (Chevalier, *et al.*, 2015 ; Dommes, *et al.*, 2011 ; van Deursen & van Dijk, 2009), à analyser les pages du moteur de recherche (Aula, 2005 ; Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Wagner, Hassanein, & Head, 2014) et à sélectionner les pages web à visiter (Chin & Fu, 2010).

Pour comprendre les processus cognitifs engagés dans les activités de RI et les exigences de ces tâches, deux facteurs fondamentaux font l'objet d'investigations depuis quelques années : la complexité des tâches de recherche (Barsky & Bar-Ilan, 2012 ; Bell & Ruthven, 2004 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Ingwersen, 2000 ; Wildemuth, 2004) et les connaissances antérieures sur le domaine pour lequel les utilisateurs cherchent de l'information (Duggan & Payne, 2008 ; Hölscher & Strube, 2000 ; Monchaux, Amadiou, Chevalier, & Mariné, 2015 ; Sharit, Hernandez, Czaja, & Pirolli, 2008 ; Tabatai & Shore, 2005). L'examen du rôle de la complexité des tâches renseigne sur les exigences cognitives des tâches tandis que l'examen du rôle des connaissances antérieures permet davantage de comprendre la nature des ressources cognitives mobilisées et les processus mis en œuvre au cours d'une tâche de RI. Ces deux facteurs conditionnent les activités de RI (degré d'élaboration des stratégies de recherche à mobiliser, élaboration d'une représentation mentale plus cohérente du but, production de requêtes plus pertinentes *etc*). Toutefois, à ce jour, nous ne disposons pas de connaissances fines sur l'interaction de ces facteurs avec les effets du vieillissement cognitif sur la RI. En outre, les travaux empiriques sur les effets de l'âge en RI présentent souvent l'âge comme un facteur de déclin de la performance, mais investiguent peu les processus cognitifs impliqués. Une compréhension détaillée des facteurs responsables des différences entre adultes jeunes et âgés apparaît indispensable pour comprendre les processus cognitifs critiques et les leviers cognitifs

dont les âgés disposent pour soutenir l'activité de RI. L'apport de nouvelles connaissances empiriques sur les effets de l'âge sur la recherche d'informations permettrait d'une part de développer des modèles de la RI qui tiendraient compte des différences entre adultes jeunes et âgés et d'autre part de développer des outils d'aide à la recherche d'informations qui seraient utiles et adaptés pour les adultes âgés et favoriseraient leur accès à Internet.

Ce travail de recherche comporte donc un enjeu sociétal innovant et s'appuie sur l'apport des démarches d'ergonomie cognitive (avec l'étude d'activités de recherche en situation semi-écologique avec un moteur de recherche réel) et de psychologie expérimentale (avec des expérimentations plus fines ciblant des habiletés fluides et cristallisées spécifiques dans des tâches plus contrôlées) dans le but de mieux comprendre les effets de l'âge sur la RI et tenter de produire un outil d'aide à la RI utile pour les âgés. La thèse bénéficie d'un financement dans le cadre du projet ANR MISSION ORA + (ANR-13-ORAR-0002-01) porté par le laboratoire CLLE (équipe LTC) et mené en collaboration avec l'université de l'Illinois à Urbana-Champaign (USA) et l'Université d'Utrecht (Pays-Bas).

2. Quelles ressources cognitives pour aider les âgés à répondre aux exigences de la RI ? Enjeux fondamentaux et retombées ergonomiques

La présente thèse, qui s'inscrit dans les champs de la psychologie et de l'ergonomie cognitives, s'attache à répondre à un double objectif fondamental et appliqué : développer les connaissances empiriques sur l'impact de l'âge dans la RI et développer des dispositifs d'aide à l'activité des adultes âgés. La RI étant une activité complexe particulièrement riche, nous avons choisi de focaliser notre travail sur les interactions avec le moteur de recherche en nous intéressant aux activités de production et de reformulation des requêtes et à l'analyse des pages de résultats du moteur de recherche. Mettre le focus sur les interactions avec le moteur de recherche nous a également permis d'étudier les effets de l'âge dans les différentes étapes de la RI en investiguant comment les stratégies de recherche des utilisateurs évoluent au fil de l'activité. Cette perspective vise à enrichir nos connaissances sur les effets du vieillissement cognitif au travers d'indicateurs plus qualitatifs sur l'activité *on-line* (au-delà de la performance ou des temps moyens passés sur un moteur de recherche par exemple).

La première partie de ce travail de thèse a investigué les effets de l'âge sur les stratégies de RI mobilisées par les adultes jeunes et les âgés dans des tâches de recherche d'informations de

complexité variée et dans différents domaines de connaissances. Les expérimentations (études n°1 et 2, chapitres 6, 7 et 8) menées avaient pour objectifs de répondre aux questions suivantes :

- Comment le vieillissement cognitif impacte-t-il les interactions avec le moteur de recherche ?
- Quels processus cognitifs, altérés par le vieillissement peuvent être responsables des différences de stratégies de recherche observées entre jeunes et âgés quand ils interagissent avec un moteur de recherche ?
- Comment l'activité des utilisateurs jeunes et âgés évolue-t-elle à travers les différentes étapes de la RI ?
- Comment les connaissances antérieures sur le domaine de recherche peuvent-elles soutenir l'activité des adultes âgés, compenser leurs difficultés et les aider à répondre aux exigences de la complexité des tâches de recherche ?
- Comment l'impact du vieillissement se manifeste-t-il selon les exigences des tâches de RI ? Dans quels types de tâches de RI les adultes âgés présentent-ils plus de difficultés que les jeunes ?
- Quel est le rôle des habiletés de recherche d'informations dans l'activité des jeunes et des âgés ?

La seconde partie de notre travail de recherche a été consacrée à l'implémentation des apports empiriques recensés dans la littérature dans l'élaboration et l'investigation de deux dispositifs d'aide à la RI (études n° 3 et 4, chapitres 9 et 10). Ces dispositifs avaient pour but de soutenir le rôle des connaissances antérieures dans la RI et de compenser l'impact du déclin des habiletés fluides. Le travail conduit sur ces outils d'aide a cherché à répondre aux interrogations suivantes :

- Comment aider les adultes âgés à solliciter/mobiliser leurs connaissances antérieures pour améliorer les stratégies de recherche élaborées ?
- Comment soutenir la mobilisation des connaissances antérieures sur le domaine de la recherche pour améliorer les stratégies de formulation de requêtes des âgés et leur permettre de s'adapter aux exigences de la RI ?
- Comment compenser, en partie au moins, le déclin de certaines habiletés cognitives (flexibilité cognitive, vitesse de traitement et rafraîchissement en mémoire de travail) afin de soutenir les interactions des adultes plus âgés avec le moteur de recherche en RI?

- Comment soutenir la capacité des âgés à s'adapter à l'évolution de l'activité de RI en modifiant leur représentation mentale du but de recherche et leurs requêtes au fur et à mesure de l'activité ?

Cette thèse vise à apporter des éléments de réponse à ces questions par la mise en place de différentes études.

3 Présentation du plan de la thèse

Ce document de thèse se structure en une partie théorique (partie 1 : chapitres 1 à 3), suivie d'une synthèse de la problématique de la thèse (chapitre 4), puis d'une partie expérimentale (partie 2 : chapitres 5 à 11, p98-217) et se termine par une discussion générale et des perspectives de recherche (chapitre 12 et 13, p218-244).

Afin de présenter les processus cognitifs engagés dans des tâches de RI, la 1^{ère} partie sera consacrée aux travaux sur les exigences cognitives de la recherche d'informations (chapitre 1). L'accent sera tout d'abord mis sur une présentation succincte de cette activité complexe (§1.1), puis seront présentées les plus récentes modélisations de l'activité de RI pertinentes au regard de notre problématique (§1.2). Ce premier chapitre se terminera par un examen des exigences de la recherche d'informations au travers de l'impact de la complexité des tâches de RI (§1.3).

Suite à cette première revue de la littérature, le chapitre 2 se consacrera à la présentation des effets de l'âge sur la recherche d'informations. Il débutera par une revue des résultats empiriques majeurs sur le vieillissement cognitif (§2.1). A travers le déclin de la vitesse de traitement (§2.1.1), l'évolution des fonctions exécutives (§2.1.2) et les modifications de l'accès au lexique en mémoire (§2.1.3), nous nous attacherons à faire le lien entre les résultats empiriques connus de l'âge et les comportements de recherche des âgés en RI. Ce chapitre se poursuivra par l'étude de deux facteurs pouvant soutenir l'activité des âgés (les connaissances antérieures, §2.2) ou parfois accentuer leurs difficultés (les habiletés de recherche d'informations, §2.3). Une conclusion viendra synthétiser les résultats principaux de cette analyse de la littérature (§2.4).

La partie théorique de cette thèse se terminera par un 3^{ème} chapitre, plus appliqué, consacré à l'investigation des dispositifs d'aide à l'activité de recherche d'informations avec un moteur de recherche (§3). Il débutera par une présentation des outils d'aide à la formulation de requêtes existants et de leurs enjeux (§3.1). Seront ensuite présentés deux dispositifs d'aide élaborés dans cette thèse : le premier dédié à l'optimisation du rôle des connaissances antérieures dans

l'accès au lexique (§3.2) et le deuxième dédié à un dispositif d'aide au maintien du but de recherche en mémoire de travail (§3.3)

La problématique de la thèse ainsi que des hypothèses principales postulées dans ce travail de recherche seront détaillées dans le chapitre 4.

La partie empirique sera ensuite présentée sous format articles. Après une présentation générale de la méthodologie utilisée dans ce travail de thèse (§ 5), les expériences menées (ainsi que les résultats) seront intégrées sous format article. Le lecteur est invité à consulter les parties méthodologie, résultats et conclusion-discussion de ces articles pour éviter les redondances avec la partie théorique rédigée dans ce document. Ces articles ont fait l'objet de publications (articles 1 et 2) ou sont soumis/en cours de review (3, 4 et 5). La partie empirique de la présente thèse se conclura par une analyse groupée (méta-analyse) de l'ensemble de nos travaux ainsi que sur l'investigation de l'impact des habiletés fluides et cristallisées sur toutes les données recueillies (§ 11).

La présente thèse sera conclue par une discussion générale qui fera la synthèse des résultats (§ 12) et présentera les perspectives de ce travail de recherche (§ 13).

PARTIE 1 CONTEXTE THEORIQUE DE LA THESE

Chapitre 1 Les exigences cognitives de la recherche d'informations

1.1 La recherche d'informations : activité complexe de résolution de problèmes

La recherche d'informations est une activité complexe, souvent comparée à de la résolution de problèmes (Marchionini, 1995), qui implique de nombreuses activités de compréhension, de prises de décision, de navigation *etc.* La RI est une activité finalisée et cyclique (les différentes étapes qui la composent sont itératives et se répètent tant que l'utilisateur ne résout pas son besoin informationnel ou décide d'arrêter la recherche). En outre, la RI est déterminée par un but de recherche (*i.e.* un besoin informationnel) qui initie la recherche. Lorsqu'un individu prend conscience de son besoin d'informations (qui peut émaner de sources internes ou externes à l'individu), il doit en élaborer une représentation mentale cohérente en tenant compte des aspects conceptuels (*i.e.* le contenu sémantique de son besoin d'informations) et des aspects procéduraux (*i.e.* les stratégies et actions à réaliser pour parvenir à trouver l'information cible) (Dinet & Tricot, 2008 ; Tricot, 2006). Lorsque les utilisateurs interagissent avec un moteur de recherche (comme *Google*), ils doivent articuler la représentation mentale de leur but en une requête (*i.e.* un ensemble de mots-clés) sur la base de leurs connaissances antérieures (sur le domaine de la recherche et sur le fonctionnement du système avec lequel ils interagissent) et en fonction des caractéristiques de la tâche de recherche (informations données par le contexte de la recherche d'informations). L'utilisateur procède ensuite à l'évaluation des résultats qui lui sont proposés par le moteur de recherche. Il s'agit alors d'évaluer la pertinence des informations et de sélectionner une (ou plusieurs) source(s) d'informations utile(s) pour combler le besoin informationnel. Si aucun résultat ne lui semble pertinent, l'utilisateur peut modifier sa requête pour aborder différemment la recherche d'une solution. Il peut alors réviser sa requête (en changeant les mots-clés qu'elle contient) et/ou en révisant également la représentation mentale qu'il a élaborée de son but de recherche (la rendre plus précise à l'aide des nouvelles informations lues sur la page de résultats du moteur de recherche par exemple). Si l'utilisateur juge satisfaisant ou pertinent un résultat (ou plusieurs) sur la page du moteur de recherche, il peut ouvrir un site web et traiter le contenu de cette page web.

Ainsi, rechercher de l'information avec un moteur de recherche implique des activités de production de requêtes, d'évaluation des informations, de sélection de documents web à ouvrir, de planification, de régulation *etc.* De nombreuses modélisations de la RI existent, élaborées dans les champs de la psychologie, de l'ergonomie, des sciences de l'information et de la

communication ou encore de l'informatique. On recense des modèles comportementaux généralistes (*e.g.* modèle de Marchionini, 1995, modèle Information Search Process, Kuhlthau, 1997), des modèles plus cognitifs (*e.g.* modèle Evaluation Sélection et Traitement, Rouet et Tricot, 1998) et des modèles s'intéressant à de la recherche d'informations dans le domaine général (et non plus uniquement dans des environnements hypertextuels) (Kitajima & Toyota, 2012).

La présente thèse s'inscrivant dans les champs de la psychologie cognitive et de la psychologie ergonomique, nos travaux de recherche se nourrissent des modèles décrivant les processus cognitifs qui sous-tendent les interactions complexes des utilisateurs avec un moteur de recherche lorsqu'ils recherchent de l'information. La partie 1.1 présentera succinctement trois récents modèles qui font l'objet de davantage d'investigation durant la thèse :

- le modèle Colides+Pic (Karanam, Oostendorp, & Indurkha, 2012) qui modifie le modèle initial CoLiDes (*Comprehension-based Linked model of Deliberate Search*) de Kitajima, Blackmon et Polson (2000) ;
- le modèle SNIF-ACT (*Scent-based Navigation and Information Foraging*, Fu & Pirolli, 2007) qui modifie le modèle adaptatif ACT-IF (Pirolli & Card, 1999) ;
- le modèle de Sharit, Hernández, Czaja, & Pirolli, (2008) qui prend en compte les interactions avec un moteur de recherche en RI.

Les modèles CoLiDes+Pic et SNIF-ACT sont traités de manière plus approfondie dans le présent document car ce travail de thèse s'est intégré au projet ANR MISSION, mené en partenariat avec deux équipes de recherche travaillant sur ces modélisations computationnelles. Le travail expérimental conduit durant la thèse permettra en outre de fournir des données comportementales sur les activités de RI des adultes jeunes et plus âgés pour enrichir ces modèles de données sur l'impact du vieillissement. Le dernier modèle de Sharit *et al.* (2008) est également détaillé car il présente l'avantage de rendre compte des activités de formulation de requêtes *via* un moteur de recherche et du rôle de certaines habiletés cognitives liées à l'intelligence fluide et cristallisée.

1.2 Modèles cognitifs de la recherche d'information

1.2.1 Modèle adaptatif SNIF-ACT issu de la modélisation ACT-R

Le modèle SNIF-ACT (*Scent-based Navigation and Information Foraging*) (Fu & Gray, 2006 ; Fu & Pirolli, 2007 ; Pirolli & Fu, 2003) est issu de la modélisation ACT-R d'Anderson *et al.* (2004). Ce modèle permet de prédire le comportement navigationnel des utilisateurs (*i.e.* les clics permettant d'ouvrir de nouvelles pages web). Il se base sur les postulats rationalistes de la recherche d'informations. Un individu va rechercher de l'information dans une page web si l'utilité espérée qu'il a des informations contenues dans cette page est supérieure au coût induit par son traitement (Pirolli & Card, 1999). Ainsi le modèle se focalise particulièrement sur deux problèmes auxquels sont confrontés les individus :

- Quelle est l'action navigationnelle optimale (*i.e.* l'action qui contient le meilleur ratio coût/bénéfice) en fonction du but de recherche élaboré et des pistes informationnelles disponibles (*i.e.* liens cliquables permettant d'accéder à une nouvelle page web)?
- Comment décider quand continuer à explorer un site web ou en partir en fonction de l'utilité espérée du site web et des coûts de traitement impliqués ?

L'utilité des pistes navigationnelles (*i.e.* des hyperliens disponibles qui correspondent à des chemins navigationnels potentiels dans un site web) est calculée grâce au mécanisme de diffusion de l'activation. Ce mécanisme de diffusion de l'activation postule que l'attention est diffusée à partir des concepts présents dans le but informationnel de l'utilisateur vers des concepts sémantiques voisins. Ainsi, si un utilisateur recherche des informations sur le dernier film *Star Wars*, l'activation part des connaissances qu'il a activées sur ce sujet (*Luke Skywalker est le héros de ce film...*) et se diffuse au fur et à mesure à d'autres structures de concepts sémantiquement proches (*Dark Vador, Obi-Wan Kenobi, jedi...*). Dans la modélisation ACT-R, ces structures de concepts sont appelées des *chunks* (Anderson & Lebiere, 1998). Pour décider quelle page web explorer, l'utilisateur compare donc la représentation des *chunks* cibles issus de son but informationnel à la représentation mentale qu'il élabore des différents *chunks* disponibles sur une page web. La figure 1 ci-dessous illustre comment les *chunks* issus des pistes navigationnelles potentielles (appelés *information scent* en anglais), représentés à droite, viennent activer les *chunks* contenus dans la représentation mentale du but (représentés à gauche dans le schéma).

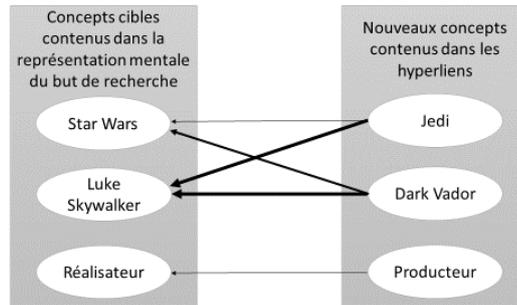


Figure 1 : Exemple du processus de diffusion de l'activation depuis les chunks contenus dans un lien (piste navigationnelle potentielle) aux chunks issus du but de recherche (adapté de Fu & Pirolli, 2007).

Le modèle SNIF-ACT postule que ces comparaisons entre *chunks* issus du but de recherche et les *chunks* issus des pistes navigationnelles potentielles se font de manière séquentielle. En d'autres termes, l'utilisateur évalue l'utilité espérée et les possibles gains informationnels de chaque piste informationnelle (liens) disponible, et ce, une piste informationnelle après l'autre. Le fruit de ces traitements permet d'aboutir à une décision : ouvrir une page web, revenir en arrière ou arrêter la recherche. Comme le montre l'épaisseur des flèches (qui représente les associations entre concepts) de la figure 1, la force de l'association entre concepts peut varier. Ce phénomène est notamment dû aux expériences passées et à la familiarité des associations entre concepts. Cette familiarité est traduite dans le modèle SNIF-ACT par la fréquence des co-occurrences des concepts dans le corpus de textes implémenté dans le modèle : plus deux termes sont co-occurents (*Jedi* et *Luke Skywalker* par exemple), plus le modèle va considérer que l'association entre ces deux concepts est forte. La force de l'association entre concepts influence la vitesse de diffusion de l'activation entre les concepts et permet également de prédire la probabilité que le lien considéré contienne des informations désirables (utiles ou intéressantes au regard du but) pour l'utilisateur. Le modèle peut ainsi prédire que si un utilisateur recherche des informations sur *Luke Skywalker*, un lien contenant le terme *Jedi* a plus de chances d'être une piste navigationnelle utile (dont les bénéfices sont supérieurs aux coûts de traitements engendrés) qu'un lien contenant le terme *science-fiction*.

Le modèle computationnel SNIF-ACT prédit la valeur de chaque piste informationnelle en combinant les effets de la diffusion de l'activation entre *chunks* et le but de la recherche. Il pourrait ainsi prédire la meilleure décision possible parmi : la sélection de liens à ouvrir, le retour à une page web précédente ou l'arrêt de la recherche. De récents développements au modèle (SNIF-ACT 2.0, Fu & Pirolli, 2007) permettent en outre de prendre en compte

l'évolution du chemin de navigation de l'utilisateur et la position des différents liens dans une page web. Le modèle intègre ainsi l'impact des informations rencontrées dans les pages web visitées pour modifier l'utilité espérée de chaque nouvelle piste informationnelle. De plus, comme l'évaluation des différents hyperliens (*i.e.* différentes pistes informationnelles disponibles sur une page web) prend du temps et est coûteuse en ressources, le modèle pondère à présent l'utilité espérée de chaque piste informationnelle en fonction de leur apparition dans la page web. En effet, SNIF-ACT pondère la valeur informationnelle de chaque piste (lien) par le coût temporel et cognitif supplémentaire nécessaire au traitement des pistes informationnelles présentées plus précocement dans la page web.

Ce modèle présente des avantages en prédisant le comportement de navigation des utilisateurs dans un site web, mais il a également quelques limites :

- Non prise en compte des stratégies d'exploration et de traitements des pages web. SNIF-ACT postule que le traitement des pistes navigationnelles possibles est séquentiel. Or, des travaux récents ont montré que les utilisateurs peuvent développer des stratégies de traitement des pages web plus élaborées basées sur leurs connaissances antérieures ou leurs expériences passées. En effet, les utilisateurs peuvent explorer rapidement une page web sur la base de signaux signifiants comme des titres (Blackmon, Kitajima, & Polson, 2005) ou se baser sur la macrostructure qu'ils élaborent du document hypertextuel grâce à leurs connaissances (Foltz, 1996) pour écremer certaines zones de contenus et ne traiter qu'une partie des pistes navigationnelles disponibles dans un site web. Ainsi, les utilisateurs filtrent le contenu qu'ils traitent sur une page web et peuvent passer à côté de certaines pistes informationnelles disponibles ; ce qui n'est pas pris en compte dans ce modèle (et en décroît donc son pouvoir prédictif).
- Non prise en compte des connaissances antérieures et de la familiarité avec le domaine de connaissances abordé par la tâche de RI. Le modèle computationnel SNIF-ACT est testé dans des tâches de recherche d'informations du domaine général, pour lequel le rôle des connaissances antérieures spécifiques au domaine de connaissances abordé par la RI n'est pas considéré. Or, les connaissances antérieures, ainsi que la familiarité avec un domaine peuvent impacter la valeur informationnelle de chaque piste (cf. chapitre 2 pour un approfondissement de l'effet des connaissances antérieures sur la RI). A l'heure actuelle, pour capturer les différences interindividuelles sur ce facteur, le modèle postule de créer deux corpus de textes reflétant le contenu sémantique des utilisateurs plutôt novices et plutôt experts. Cette solution est très limitée et des progrès sont à faire pour

prendre en compte les effets des connaissances antérieures déclaratives (sur le domaine de recherche) et procédurales (habiletés de RI par exemple).

- Non prise en compte des différences interindividuelles liées aux habiletés fluides et cristallisés. SNIF-ACT ne tient pas compte des différences interindividuelles liées aux habiletés fluides et cristallisées qui impactent pourtant la navigation en RI. Des travaux ont par exemple montré que les utilisateurs âgés, ayant un niveau de flexibilité cognitive plus faible que les jeunes, prennent par exemple plus de temps pour décider de quitter une page web (Chin & Fu, 2010) (cf. chapitre 2 pour un approfondissement). Ainsi le déclin de la flexibilité cognitive, de la fluence, le ralentissement de la diffusion de l'activation (Eppinger *et al.*, 2007 ; Sharit *et al.*, 2008) ou encore le déclin du rafraichissement en mémoire de travail sont autant de facteurs liés à l'âge qui peuvent impacter directement la capacité des âgés à évaluer les différentes pistes informationnelles disponibles sur une page web mais qui ne sont pourtant pas prises en compte par SNIF-ACT.
- Les travaux de Tricot (2006) et Dinet et Tricot (2008) présentent également des limites à la notion d'utilité espérée de l'information : une information peut contredire les croyances de l'individu, un individu peut rencontrer une information non délibérément recherchée. De même, le rôle des aspects émotionnels est également ignoré dans la modélisation SNIF-ACT.

Le présent travail de thèse investiguant l'impact du vieillissement cognitif (à travers le déclin de certaines habiletés cognitives) et le rôle potentiellement bénéfique des connaissances sur le domaine, deux de ces limites seront particulièrement adressées dans nos travaux de recherche. Les données empiriques qui seront collectées dans nos travaux ambitionnent d'améliorer le pouvoir prédictif du modèle SNIF-ACT en caractérisant plus finement l'impact des habiletés fluides comme la flexibilité cognitive et des connaissances thématiques (*i.e.* connaissances sur le domaine) sur les activités de recherche d'informations.

1.2.2 Modèle cognitif CoLiDes +Pic

Le modèle CoLiDes+ Pic est un enrichissement du modèle de Kitajima *et al.* (2000, 2005) qui se focalise sur la navigation dans des pages web. Dans le modèle initial, l'activité de RI dépend de deux processus cognitifs menés en parallèle pendant l'élaboration de la représentation mentale du but de recherche et l'analyse d'une page web : les processus d'allocation des

ressources attentionnelles et les processus de sélection. Ce modèle, qui s'appuie notamment sur les apports du modèle de compréhension *Construction-Intégration* de Kintsch (1988), présente la RI comme le fruit de processus ascendants (faisant intervenir les caractéristiques de surface de la page web) et des processus descendants (rôle des connaissances antérieures de l'utilisateur). Les caractéristiques de surface des pages (comme le regroupement en paragraphes, les titres, *etc.*) aident le lecteur à analyser la page web et à la découper en zones de contenus, tandis que les connaissances antérieures lui permettent de déterminer la pertinence de ces zones de contenus. Selon le modèle CoLiDes, l'utilisateur analyse une page web selon le but de recherche qu'il a élaboré : pour cela, il va extraire les informations pertinentes de chaque zone de contenu (à l'aide des processus descendants et ascendants décrits plus haut) et élaborer une représentation mentale de chaque zone. Cette étape mobilise particulièrement les processus attentionnels. Pour planifier ses actions, et décider de quelles zones de contenu l'utilisateur va traiter plus en détails (ou visiter de nouvelles pages web si ces zones contiennent des liens), l'utilisateur compare le degré de similarité entre la représentation mentale de son but et la représentation mentale de chaque zone de contenu. Le degré de similarité entre représentation du but et représentations des zones de contenu est influencé par plusieurs facteurs :

- Le niveau de proximité sémantique entre besoin informationnel et zones de contenu,
- La fréquence à laquelle l'utilisateur a rencontré les informations contenues dans les zones de contenu,
- Le degré d'appariement entre but informationnel et zones de contenu (par exemple si une zone contient des mots-clés communs avec la requête de l'utilisateur).

La représentation mentale du contenu informationnel de chaque zone de contenu s'apparente aux pistes informationnelles potentielles (*information scent*) considérées dans le modèle SNIF-ACT (Fu & Pirolli, 2007). Une fois la page web schématiquement découpée en zones de contenu, l'utilisateur décide ensuite, sur la base de la zone de contenu qui possède la meilleure utilité espérée (*information scent* la plus forte), à quelle zone de contenu il va allouer plus d'attention pour la traiter plus en profondeur. Cette décision aboutit à une action : un clic pour ouvrir un lien et explorer plus en profondeur l'espace-problème de la recherche (*i.e.* le contenu sémantique abordé dans la recherche). Le modèle CoLiDes prédit ainsi que les erreurs de navigation (*i.e.* visites de pages web non pertinentes) ou abandons surviennent suite à une mauvaise allocation des ressources attentionnelles (caractéristiques perceptives qui distraient

trop l'utilisateur et le détournement des éléments pertinents par exemple) ou suite à des problèmes de compréhension causés par les contenus textuels et hypertextuels (termes complexes contenus dans les liens par exemple). La modélisation plus récente CoLiDes+Pic (Karanam *et al.*, 2012 ; van Oostendorp *et al.*, 2012 ;) propose d'intégrer le rôle des images dans la navigation. Ces auteurs postulent que la représentation mentale que l'utilisateur élabore du contenu informationnel des images influence la valeur informationnelle (*l'information scent*) des zones de contenu d'une page web. Ces auteurs ont ainsi comparé le comportement navigationnel de 36 étudiants (âge moyen de 23 ans) dans un site web expérimental sur la santé sous trois modalités. Pour chaque problème informationnel à résoudre, les utilisateurs naviguaient dans des pages web contenant soit : (c1) des images sémantiquement pertinentes, (c2) des images sémantiquement peu pertinentes (*i.e.* images illustrant le domaine de connaissances mais n'apportant pas d'informations utiles : par exemple pour la page web rhume, les participants pouvaient voir soit l'image d'une représentation du système respiratoire, soit d'un individu qui éternue), (c3) aucune image. Leurs résultats ont montré que les images soutiennent la RI en réduisant le temps nécessaire à la recherche, mais également que les images pertinentes améliorent encore davantage la performance (en comparaison aux conditions images peu pertinentes et pas d'images). Ces résultats semblent pointer que les utilisateurs tiennent bien compte des informations sémantiques issues des images pour prendre des décisions sur les pages web à ouvrir. Les auteurs comparent également la puissance prédictive des modèles CoLiDes et CoLiDes+ Pic et montrent que le modèle amélioré permet de prédire un plus grand pourcentage des clics réalisés par les utilisateurs.

Si ce modèle présente des avantages pour décrire le comportement de navigation des utilisateurs, il n'est pas exempt de défauts :

- Non prise en compte du parcours de navigation. Le modèle CoLiDes+ Pic reprend le modèle initial CoLiDes, et donc ses désavantages initiaux. CoLiDes ne prend pas en compte l'effet du parcours de navigation et des pages web visitées antérieurement (*i.e.* le modèle considère chaque page web séparément). Or au fur et à mesure de la progression de la RI, l'utilisateur acquiert de nouvelles connaissances et peut ainsi modifier sa représentation mentale du but de recherche. Le caractère dynamique de la RI impacte en outre la pertinence des informations : ce qui est pertinent et utile en début de recherche (et qui a donc une valeur informationnelle forte selon ces modèles) peut être beaucoup moins pertinent dans les dernières phases de l'activité (et donc avoir pour l'utilisateur une valeur informationnelle plus faible mais pas pour le modèle).

L'évolution du but de recherche, qui n'est pas non plus prise en compte dans le modèle, impacte grandement l'allocation des ressources attentionnelles dans les différentes zones de contenu des pages web. Ainsi, au fur et à mesure de l'activité, le modèle pourrait perdre en puissance prédictive.

- Non prise en compte des différentes représentations mentales qu'il est possible d'élaborer des zones de contenus. Il peut exister un décalage entre l'élaboration mentale que les utilisateurs font des zones de contenu (qu'ils soient textuels ou imagés) et la représentation mentale prédite dans le modèle CoLiDes (réalisée par l'outil d'analyse sémantique LSA : *Latent Semantic Analysis* de Landaueur, Foltz & Laham, 1998). En outre, selon leur but de recherche, leurs connaissances et leurs habiletés, les utilisateurs élaborent des représentations mentales des contenus très diverses (Vörös, Rouet, & Pléh, 2011 ; Wagner *et al.*, 2014). Wagner et ses collaborateurs ont en effet montré que les âgés, dont les habiletés spatiales sont plus faibles que les jeunes, élaborent des modèles mentaux moins cohérents de l'hypertexte avec lequel ils interagissent en comparaison aux jeunes
- Non prise en compte des stratégies de traitement des images. Le modèle CoLiDes+Pic postule que le traitement des images représente une source d'attraction attentionnelle majeure lors de l'analyse de la page web et de la phase du découpage en zones de contenus. Or ce n'est peut-être pas le cas, ainsi, l'élaboration mentale du contenu sémantique des images peut varier d'un utilisateur à l'autre selon que celui-ci traite en amont ou pas le contenu textuel ou imagé de la page.
- Validation écologique du modèle à confirmer. Les résultats empiriques rapportés sont issus d'études expérimentales avec un site web épuré, qui ne contient pas d'images compétitrices (une seule image par page) ni de distracteurs (images publicitaires par exemple). Cette situation est relativement peu fréquente dans des sites web réels.
- Non prise en compte des caractéristiques de l'utilisateur : habiletés de recherche d'informations, connaissances antérieures ou âge par exemple. Or ces trois facteurs peuvent considérablement impacter comment les utilisateurs se représentent le contenu informationnel de pages web, comment ils évaluent la pertinence et comment ils décident d'explorer ou pas des pages web.

Pour nos travaux de recherche deux des limites présentées seront davantage investiguées. D'une part, les recherches conduites devraient enrichir l'impact des caractéristiques des utilisateurs plus âgés (habiletés fluides et niveau de connaissances antérieures) sur l'activité de RI. D'autre

part, nos travaux apporteront des données collectées sur un moteur de recherche réel (*Google*) et des sites web existant. Ainsi le modèle CoLiDes+Pic sera confronté à des situations plus écologiques pour en tester sa validité.

1.2.3 Modèle cognitif de la recherche d'informations de Sharit, Hernández, Czaja et Pirolli (2008)

Les modèles SNIF-ACT et CoLiDes+Pic présentés ci-dessus sont utiles pour analyser le comportement de sélection des pages web et de navigation, et permettent par exemple de fournir des recommandations pratiques pour améliorer l'utilisabilité d'un site web. En revanche, ces deux modèles ne couvrent pas l'intégralité des interactions possibles avec un moteur de recherche et ne considèrent pas les activités de production et reformulation des requêtes. Quant au modèle en trois étapes élaboré par Sharit et collaborateurs (2008), il articule les activités de production de requêtes, de compréhension et d'évaluation mobilisées dans la recherche d'informations avec un moteur de recherche.

Ce modèle présente la RI comme une activité cyclique apparentée à de la résolution de problèmes.

- Etape 1 : Planification et formulation de la requête. Au démarrage de la RI, l'utilisateur doit élaborer un modèle mental cohérent de son besoin informationnel puis l'articuler en une première requête.
- Etape 2 : Evaluation et sélection des informations. L'utilisateur doit ensuite analyser les résultats fournis par le moteur de recherche et en évaluer la pertinence. L'utilisateur procède en comparant la proximité entre la représentation élaborée de son but de recherche et la représentation qu'il élabore des résultats du moteur de recherche. Si au moins un (ou plusieurs) résultat est satisfaisant au regard du but de recherche élaboré, l'utilisateur peut ouvrir les sites web correspondants. Si aucun résultat n'est satisfaisant, l'utilisateur peut choisir de reformuler sa requête et retourner à l'étape 1 en modifiant son but de recherche. L'étape 2 peut être réitérée plusieurs fois, tant que l'utilisateur ne trouve pas de résultats satisfaisants.
- Etape 3 : Traitement approfondi. L'utilisateur traite le(s) page(s) web ouverte(s) en détails. Il peut également approfondir le traitement des sites web ouverts en explorant en profondeur plusieurs pages web.

Ces étapes mobilisent différents processus cognitifs de haut niveau. Au démarrage de la recherche (étape 1), les utilisateurs s'appuient principalement sur des processus descendants en mobilisant leurs connaissances antérieures (sur le domaine de la recherche et sur le système avec lequel ils interagissent), leurs habiletés de RI, de vocabulaire ainsi que les informations fournies par le contexte de la recherche d'informations. Les étapes 2 et 3 de la RI peuvent mobiliser à la fois des processus descendants (pilotés par exemple par les connaissances antérieures qui permettent d'évaluer la pertinence des mots-clés contenus dans les résultats du moteur de recherche ou de faire des inférences) et des processus ascendants (pilotés par les caractéristiques des sites web ou des interfaces comme le rang des liens sur le moteur de recherche Google). Ce modèle est également compatible avec de précédents travaux décrivant les activités de production et de reformulation de requêtes de Efthimiadis (1996). Cet auteur présente deux étapes en RI : (i) l'élaboration d'une représentation mentale du besoin informationnel avec la production de la requête initiale et (ii) la phase de modification des requêtes dans laquelle l'utilisateur cherche à reformuler sa requête en sélectionnant des termes plus précis qui sont compatibles avec la représentation mentale du but élaborée.

Pour reformuler une requête, l'utilisateur peut effectuer des modifications au niveau du contenu sémantique (*i.e.* modification des mots-clés contenus dans la requête) et/ou de la forme de la requête (modification de la syntaxe, corrections orthographiques...), (Huang & Efthimiadis, 2009 ; Hu, Lu, & Joo, 2013 ; Jansen, Spink, & Narayan, 2007 ; Karanam & van Oostendorp, 2016 ; Liu, Gwizdka & Belkin, 2010; Liu, Gwizdka, Liu, Xu, & Belkin, 2010 ; Rieh & Xie, 2006). Les travaux empiriques ont mis à jour une série de stratégies de reformulation comprenant entre autres : l'ajout de nouveaux mots-clés, la suppression de mots-clés anciens (*i.e.* utilisés dans de précédentes requêtes) ou la substitution de mots-clés par des termes sémantiquement plus spécifiques ou plus généraux (*i.e.* non spécifiques au domaine). L'annexe 1 (p. 263) donne une vue d'ensemble des principales stratégies de reformulations étudiées en recherche d'informations et les principaux résultats significatifs observés.

1.2.4 Points clés à retenir :

- Les modèles computationnels de la recherche d'informations SNIF-ACT et CoLiDes+Pic se sont jusqu'à présent focalisés sur la navigation au sein des sites web et n'ont pas investigué les interactions avec un moteur de recherche (*i.e.* la production de requêtes, la reformulation, l'évaluation des pages de résultats et la sélection de liens à ouvrir). Or, la recherche d'informations est très fréquemment

réalisée depuis un moteur de recherche (comme *Google* par exemple). Ainsi l'apport de données empiriques, soutenu par des modélisations plus cognitives de l'activité de RI, comme le modèle de Sharit et ses collaborateurs (2008), pourrait enrichir et améliorer la validité de ces modèles et étendre leur champ d'application au-delà de la navigation intra site web.

- Le pouvoir prédictif des modèles computationnels de la RI au sein d'une population d'adultes plus âgés est réduit par la non prise en compte des différences de comportements et de stratégies de recherche entre les utilisateurs jeunes et plus âgés. Ainsi les effets de l'âge, au travers du déclin de certaines habiletés cognitives, et le rôle des connaissances antérieures sur les stratégies des jeunes et des plus âgés seront investigués pour améliorer ces modèles et enrichir nos connaissances sur leur impact.

Outre l'objectif de répondre à ceux points, il nous semble que nos travaux de recherche pourraient se nourrir d'un des processus décrits par les trois modèles présentés : l'élaboration d'un chemin d'exploration (*i.e.* qui correspond selon nous à l'investigation d'une sous-partie spécifique de l'espace-problème de la recherche). En effet, bien que les conceptualisations de ce processus divergent entre les trois modèles, celui-ci semble bien être l'un des processus les plus importants de l'activité de RI. Selon les modèles computationnels SNIF-ACT et CoLiDes+Pic, un utilisateur élabore un chemin d'exploration en analysant les différentes pistes navigationnelles possibles (*i.e.* hyperliens présentés sur une page web) et en sélectionnant celui qui représente la plus forte utilité espérée (*i.e.* ou *information scent* la plus forte). Selon le modèle de Sharit et ses collaborateurs (2008), pour élaborer un chemin d'exploration, un utilisateur produit une requête, analyse la page de résultats du moteur de recherche et sélectionne un (ou plusieurs liens à ouvrir). En investiguant l'impact de l'âge, au travers de l'évolution de certaines habiletés cognitives, et celui des connaissances antérieures sur les interactions avec un moteur de recherche en RI, nos travaux analyseront comment les utilisateurs jeunes et âgés élaborent et traitent plus en détails les chemins d'exploration qu'ils créent.

En lien avec les modèles présentés et des travaux précédents menés par Chin et ses collaborateurs (2015), nous défendons l'idée que les chemins d'exploration, qui correspondent à l'investigation de sous-partie spécifiques de l'espace problème de la recherche sont reflétés par :

- la reformulation de requêtes : ainsi plus une requête est reformulée avec de nouveaux mots-clés ou avec un changement d'une grande quantité de mots clés, plus le nouveau chemin d'exploration initié correspond à une sous-partie de l'espace problème de la recherche éloignée du précédent chemin d'exploration investigué.
- la sélection de liens depuis le moteur de recherche : plus un utilisateur ouvre de sites web différents depuis le moteur de recherche, plus il explore des chemins d'exploration différents. Alors que plus un utilisateur ouvre de pages web au sein d'un site web qu'il consulte, plus il approfondit l'analyse du chemin d'exploration élaboré.

Nous défendons également le postulat que les chemins d'exploration initiés par la production d'une requête correspondent à des chemins d'exploration plutôt macro (*i.e.* abordant un contenu sémantique plus large bien qu'il puisse déjà être précis). De fait, les chemins d'explorations initiés par les liens sélectionnés depuis le moteur de recherche correspondent à des ramifications plus spécifiques du chemin d'exploration initié par une requête.

1.3 La complexité des tâches comme déterminant des exigences de l'activité de recherche d'informations

Comme présenté dans les précédents chapitres, toute recherche d'informations émerge d'un besoin d'informations et débute par la construction d'une représentation mentale cohérente de ce besoin informationnel. Cette représentation mentale inclue des connaissances conceptuelles (sur le domaine de la recherche), procédurales (sur les actions à réaliser pour parvenir à l'information cible) et aussi des éléments sur la situation de la recherche (le contexte, les contraintes, le temps disponible, *etc* ; *cf.* Dinet et Tricot, 2008). La représentation que l'utilisateur élabore de son but de recherche est donc liée à ces facteurs et découle du problème informationnel qui suscite la recherche d'informations. Ainsi, les caractéristiques du problème informationnel impactent grandement les comportements et stratégies de recherche des utilisateurs. En effet, de nombreux travaux ont montré que l'implémentation du but de recherche de l'utilisateur, qui correspond aux procédures à mettre en œuvre pour rechercher l'information cible (*i.e.* le nombre de requêtes à produire, de clics, de pages web à visiter ...), est liée au niveau de complexité de la tâche de recherche elle-même. Le chapitre suivant (§1.3)

s'attachera à montrer l'impact de la complexité des tâches de recherche d'informations sur l'activité (§1.3.1) et son interaction avec le vieillissement cognitif (§1.3.2).

1.3.1 Le rôle de la complexité des tâches de recherche d'informations sur les exigences de la RI

La complexité des tâches de recherche d'informations est une dimension particulièrement importante en RI, notamment parce qu'elle impacte le type de but de recherche et les stratégies de recherche qui seront mobilisés par les utilisateurs. Les travaux dans le domaine se sont attachés à définir la notion de complexité afin de fournir des critères évaluatifs utilisables. La complexité peut ainsi se définir selon trois dimensions selon que l'on considère la nature ou le niveau d'exigence de la tâche ou encore l'interaction entre les caractéristiques de la tâche et celles de l'utilisateur (pour une revue sur la complexité voir Liu, & Li, 2012). Ces trois composantes de la complexité sont détaillées ci-dessous. La présente thèse investiguant les effets de la complexité objective (*i.e.* définie *a priori*) sur les effets de l'âge dans la RI, nous développerons dans un second temps plus en détails comment s'opérationnalise la complexité objective dans les travaux de recherche et présenterons les résultats empiriques principaux.

- La nature de la tâche de recherche et le type d'éléments que l'utilisateur va devoir traiter. Ce facteur considère la structure et la complexité du domaine de la tâche de RI. Les travaux étudiant cette composante de la complexité renvoient par exemple à des tâches plus ou moins bien définies (tâches plutôt ambiguës, sans mots-clés utiles *vs* tâches explicites contenant des mots-clés utiles) (Arguello, 2014 ; Campbell, 1988 ; Chin & Fu, 2010 ; Zigurs & Buckland, 1998).
- Le niveau d'exigence cognitive de la tâche. Ce facteur implique la quantité de ressources et le type de processus cognitifs à mettre en œuvre pour réaliser la tâche. Les travaux investiguant ce type de critères s'intéressent à l'effort mental exigé par la tâche au travers de la mise en œuvre de processus attentionnels, mnésiques, de raisonnement ou de prise de décisions requis par la tâche (Campbell, 1988 ; Liu & Li, 2012).
- Les interactions entre les caractéristiques de la tâche de recherche et celles de l'utilisateur (Borlund & Dreier, 2014 ; Ingwersen & Järvelin, 2005 ; Wildemuth, Freund, & Toms, 2013). Dans cette dernière conception, la complexité est subjective. Elle est évaluée en interaction avec l'utilisateur (par exemple le niveau de connaissances antérieures, l'expérience, les habiletés de l'utilisateur). Il s'agit ainsi davantage de la

complexité *perçue* de la tâche (la façon dont l'utilisateur perçoit la complexité des stratégies de recherche qu'il va devoir mettre en œuvre pour trouver la réponse par exemple) et non plus une complexité objective *a priori*. Pour soutenir cette conception, Byström et Järvelin (1995) postulent que la complexité perçue de la tâche est plus importante que la complexité objective *a priori*. En effet, selon ces auteurs, une même tâche peut donner lieu à l'élaboration de représentations mentales du but très différentes d'un individu à l'autre (*i.e.* les utilisateurs interprètent les objectifs d'une tâche différemment selon leurs habiletés).

Ces trois dimensions de la complexité sont compatibles avec de nombreuses définitions de la complexité proposées dans la littérature (pour une revue voir Liu & Li, 2012). Ces conceptions sont également en accord avec la distinction entre complexité objective, intrinsèque (complexité prescrite, indépendante de l'individu qui réalise la tâche) et complexité subjective (complexité perçue par l'individu qui réalise la tâche) suggérée par Campbell (1988). La complexité objective (que l'on trouve également sous le nom de complexité supposée, Li & Belkin, 2008 ; Liu & Li, 2012) présente l'avantage d'être utile et facilement opérationnelle pour des expérimentations en laboratoire. En revanche, elle suppose une série de critères opérationnels valides et équivalents pour tous les utilisateurs. À l'inverse, le postulat de la complexité subjective se rapproche davantage d'une conception plus écologique en intégrant la grande variabilité des caractéristiques des individus. Pour déterminer la complexité subjective des tâches, certains travaux proposent aux utilisateurs d'auto-évaluer la complexité d'une tâche de RI après sa réalisation (Kelly, Cushing, Dostert, Niu, & Gyllstrom, 2010). Si cette méthode présente des avantages et peut fournir des indices intéressants sur la difficulté perçue, la satisfaction de la recherche ou l'effort mental investi, elle présente également l'inconvénient d'être influencée par d'autres facteurs (comme la frustration de ne pas avoir trouvé la bonne réponse). En outre, ces mesures d'auto-évaluation subjectives sont sensibles à des jugements sous ou sur-évalués, aux instruments de mesure et à la subjectivité du chercheur.

Les travaux empiriques investiguant la complexité supposée d'une tâche de RI (Bell & Ruthven, 2004 ; Campbell, 1988 ; Chin, Fu, & Kannampallil, 2009) ont mis à jour plusieurs critères déterminant la complexité, parmi lesquels :

- la complexité du domaine de connaissances à traiter (*i.e.* terminologie technique complexe à comprendre ou quantité de concepts abordés dans la tâche).

- la quantité de mots clés utiles fournie par la tâche (*i.e.* plus la tâche fournit de mots clés utiles pour rechercher de l'information, plus elle est considérée *a priori* comme simple. A l'inverse, des tâches de recherche contenant peu de mots-clés utiles sont considérées comme plus complexes parce qu'elles nécessitent des utilisateurs qu'ils infèrent de nouveaux mots-clés plus pertinents).
- Le degré de précision ou d'accessibilité de l'information cible à trouver (*i.e.* à quel point il est facile ou non pour l'utilisateur d'accéder à l'information cible avec les informations à sa disposition).
- le niveau d'élaboration du chemin de navigation à parcourir.

Bell et Ruthven (2004) ont développé un modèle de la complexité particulièrement utile pour définir objectivement et de manière opérationnelle le niveau de complexité des tâches de recherche d'informations. Ce modèle distingue trois niveaux de complexité :

- Niveau 1 : L'information à rechercher est clairement établie par la consigne de la tâche (le problème de recherche), le chemin d'accès à l'information est explicite et des indices utiles sont fournis à l'individu pour évaluer la pertinence des informations par rapport à l'objectif de la tâche de recherche.
- Niveau 2 : Le processus de recherche devient moins clair : le chemin de navigation à élaborer pour parvenir à l'information cible est plus ambigu, et requiert davantage de prise de décision et de navigation dans des sites web.
- Niveau 3 : Le processus de recherche implique un degré important d'imprécision : l'information cible n'est pas clairement explicite ni le chemin de navigation nécessaire pour parvenir à réaliser la tâche. Les tâches sont ici plus complexes parce qu'elles nécessitent d'allouer davantage de ressources dans des processus cognitifs de haut niveau (compréhension du domaine de la recherche, élaboration d'une représentation mentale cohérente du but et production d'inférences par exemple). En outre, les tâches de complexité de niveau 3 exigent de mobiliser ces processus cognitifs de haut niveau tout en traitant une grande quantité d'informations et en explorant des pages web.

Les niveaux de complexité définis par Bell et Ruthven (2004) sont compatibles avec la distinction entre tâche bien définie *vs* mal définie telle qu'on peut la trouver dans les travaux en RI. Dans les tâches de recherche bien définies (qui correspondraient davantage au niveau 1), les utilisateurs ont pour objectif de chercher un fait plutôt précis et possède généralement des

indices utiles pour parvenir à l'information (comme des mots-clés pertinents, Chin et Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011) ou une URL spécifique (Chin & Fu, 2010). Dans les tâches de recherche plutôt mal définies (qui correspondraient davantage au niveau 2 et 3), le but de recherche est plutôt flou. Les utilisateurs doivent rassembler des informations en naviguant dans plusieurs pages web, leur donner du sens, tout en ajustant au fur et à mesure de l'activité la représentation mentale qu'ils ont élaborée du but de recherche. Les utilisateurs ont donc davantage de difficultés à déterminer la pertinence des informations et à formuler des requêtes pertinentes et utiles.

Par ailleurs, il est également intéressant de noter que la complexité objective, ou supposée, s'opérationnalise souvent en mêlant à la fois la nature de la tâche et les exigences qu'elles imposent aux utilisateurs. Les tâches de recherche dites simples tiennent souvent davantage de la recherche de fait précis (*i.e.* la nature de la tâche est plutôt fermée) pour lesquelles des mots clés utiles sont donnés à l'utilisateur (*i.e.* la tâche exige de sélectionner des informations pertinentes et de les localiser dans une page web). A l'inverse, les tâches de RI complexes correspondent plus à des tâches de recueil d'informations et de construction de sens (*i.e.* la nature de la tâche est plutôt ouverte) pour lesquelles l'utilisateur doit davantage naviguer (*i.e.* la tâche exige des inférences, plus de ressources pour maintenir actives les informations en MDT et davantage de reformulations) (Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011).

Le tableau 1 ci-dessous présente un récapitulatif des différentes opérationnalisations de la complexité utilisées en RI. Le lecteur pourra trouver un tableau plus détaillé en annexes (annexes 2a et 2b, p, 264).

Tableau 1 : Méthodes d'opérationnalisation de la complexité des tâches de RI

	facteurs	Exemples d'opérationnalisation
Complexité objective	Nature de la tâche	<p><u>Manipulation du but de recherche</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Distinction entre but de recherche de fait précis vs butinage (tâche ouverte) ou construction de sens (Aula <i>et al.</i>, 2005; Aula <i>et al.</i>, 2010 ; Chin & Fu, 2010 ; Liu, <i>et al.</i>, 2010 ; Thatcher, 2008) • But de navigation (localiser un lien précis) vs contenu (compréhension détaillée des contenus) (Etcheverry <i>et al.</i>, 2011) <p><u>Manipulation du degré de précision/d'ambiguïté de la tâche</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tâches bien définies (fait précis, chemin de navigation clair) vs mal définies (but flou, plusieurs réponses possibles ...) (Bell & Ruthven, 2004 ; Chin <i>et al.</i>, 2009 ; Hanson, 2010 ; Sharit <i>et al.</i>, 2008) • Incertitude dynamique : tâche impossible (l'utilisateur doit découvrir au fur et à mesure de l'activité qu'il n'y a pas de bonne réponse (Chevalier <i>et al.</i>, 2015 ; Dommes <i>et al.</i>, 2011 ; Monchaux <i>et al.</i>, 2015) ou aucune distinction possible <i>a priori</i> de la complexité (Aula <i>et al.</i>, 2010)
	Exigences de la tâche	<p><u>Manipulation de la quantité d'informations à traiter, du nombre de pages web à visiter</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Degré plus ou moins important d'exploration de sites web nécessaire pour parvenir à l'information cible (Aula <i>et al.</i>, 2010 ; Gwizdka & Spence, 2006 ; Ingwersen & Järvelin, 2005) <p><u>Manipulation de la quantité d'informations utiles (mots-clés) données par la tâche</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tâches simples (mots-clés utiles fournis), difficiles (mots-clés utiles non fournis), (Chevalier <i>et al.</i>, 2015 ; Dommes <i>et al.</i>, 2011 ; Karanam & van Oostendorp, 2016 ; Monchaux <i>et al.</i>, 2015 ; Pajic, 2014 ;) • Tâches longues vs courtes ou littérales vs inférentielles (Rouet <i>et al.</i>, 2004) <p>Pression temporelle (Lazonder <i>et al.</i>, 2000). Niveau de familiarité/d'accessibilité supposé des concepts de la tâche (Chin <i>et al.</i>, 2015)</p>
Complexité subjective	Interactions entre caractéristiques de la tâche et de l'utilisateur	<p><u>Complexité perçue (à posteriori)</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Auto-évaluation à posteriori de la complexité de la tâche ou de la familiarité avec le domaine (Kelly <i>et al.</i>, 2010) <p><u>Niveau de connaissances antérieures sur le domaine de la recherche</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Domaine de connaissances pour lequel les utilisateurs ont un bon niveau de connaissances antérieures et un domaine pour lequel ils ont de faibles connaissances antérieures (Höslcher & Strube, 2000 ; Jenkins <i>et al.</i>, 2003) <p><u>Manipulation de la nature de la tâche en fonction des connaissances antérieures de l'utilisateur</u> :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variation du type de buts (confirmation vs exploration) en fonction de la familiarité avec le domaine (Borlund & Dreier, 2014)

1.3.2 Les effets de la complexité objective des tâches sur les stratégies de recherche des utilisateurs

De nombreux travaux de recherche ont rapporté des résultats empiriques sur l'effet de la complexité (supposée) des tâches sur l'activité de RI avec un moteur de recherche. Selon les indicateurs et l'opérationnalisation choisie de la complexité, on recense des effets de la complexité sur :

- La performance (Dommes *et al.*, 2011) : plus la complexité des tâches de RI augmente, plus la performance décline.
- Les activités de formulation : la complexité impacte le nombre de requêtes produites (Barsky & Bar-Ilan, 2012 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Ingwersen & Järvelin, 2005), la pertinence des mots clés produits (Wildemuth, 2004) ou encore la longueur et la variation des modifications des requêtes (Aula, 2005).
- Le temps passé à évaluer les pages du moteur de recherche est plus important dans les tâches complexes (Aula, 2005) que dans les tâches plus simples.
- La navigation : plus la complexité des tâches augmente, plus les utilisateurs consultent de pages web et/ou de sites web différents (Dommes *et al.*, 2011).

Cependant, les effets de la complexité de la tâche sur le comportement de recherche ne sont toutefois pas toujours homogènes d'une étude à l'autre. Ingwersen et Järvelin (2005) montrent, par exemple, que dans des tâches de recherche bien définies, les participants formulent plus de requêtes et se focalisent davantage sur l'évaluation des résultats du moteur de recherche (particulièrement lorsqu'ils ont un bon niveau de connaissances sur le domaine de connaissances pour lequel ils cherchent de l'information). Dans les tâches de recherche d'information complexes, mal définies, les utilisateurs tendent à produire moins de requêtes et utilisent des stratégies de reformulation pauvres basées sur des changements peu signifiants (modifications mineures) et non pertinents (Borlund & Dreier, 2014 ; Ingwersen & Järvelin, 2005), avec des requêtes plus longues contenant plus de mots-clés non pertinents (Wildemuth, 2004). D'autres résultats empiriques montrent que plus la tâche de recherche est complexe, plus les utilisateurs formulent de requêtes (Barsky & Bar-Ilan, 2012 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Odijk, Ryen, White, Hassan Awadallah, & Dumais, 2015) et visitent un plus grand nombre de pages web (Odijk *et al.*, 2015). C'est également le cas des travaux conduits par Aula et ses collaborateurs (2005, 2006, 2010) : plus une tâche de recherche est complexe, plus les utilisateurs produisent de requêtes, plus ils reformulent des requêtes variées (*i.e.* contenant des mots-clés différents) et passent du temps à analyser les pages de résultats du moteur de

recherche. Aula et collaborateurs (2005, 2015) ont proposé à leurs participants de rechercher de l'information avec le moteur de recherche *Google*, pour des tâches simples, bien définies, et des tâches plus complexes (pour lesquelles utiliser les mots-clés des consignes ne permettaient pas d'accéder à la bonne réponse). Le matériel utilisé était particulièrement intéressant puisque la formulation des problèmes de recherche ne permettait pas aux utilisateurs de distinguer *a priori* les problèmes simples des problèmes plus complexes. Les résultats ont montré que les utilisateurs démarraient leur recherche avec des stratégies de recherche plutôt similaires (*i.e.* utilisant un maximum de mots-clés issus des problèmes de recherche). Cependant, face aux questions complexes, quand la stratégie initiale s'avérait infructueuse, les utilisateurs développaient alors des stratégies différentes et variées, allant de la formulation d'une requête sous forme de question (langage naturel) à des stratégies de reformulations à tâtons (ajout, suppression ou substitution de mots-clés). Les utilisateurs passaient également une plus grande proportion du temps de recherche sur les pages du moteur de recherche *Google* dans les questions complexes.

L'hétérogénéité des résultats présentés sur les effets de la complexité des tâches de RI peut s'expliquer par différents facteurs. Le premier étant bien sûr que les utilisateurs, selon leurs habiletés (*i.e.* habiletés de recherche d'informations, à produire des inférences *etc*), développent des stratégies très diverses, et qu'il existe plusieurs façons d'accéder à une information. Le second facteur explicatif est lié à des artefacts générés par l'opérationnalisation de la complexité des tâches (*i.e.* comment les différents niveaux de complexité sont manipulés dans les expérimentations). Nous ne discuterons pas ici des effets des tâches de recherche auto-générées (qui émanent de l'utilisateur lui-même) et des tâches de recherche imposées par l'expérimentateur, cet aspect sera abordé plus loin dans le présent document (cf. partie discussion 12.5.3, p.237). Nous faisons référence ici à la grande variété de questions de recherche que l'on peut rencontrer dans les travaux empiriques. En effet, la manipulation de la complexité (qu'elle soit objective ou subjective) varie grandement d'une étude à l'autre. Comme présenté en exemple dans le tableau 1 ci-dessus, on peut ainsi trouver des manipulations de la complexité objective (déterminée *a priori*) liées au type de but de recherche (fait précis, butinage ou tâches interprétatives de construction de sens, Thatcher, 2008 ; Aula *et al.*, 2010), à la quantité d'informations à traiter (Giwzodka & Spence, 2006 ; Aula *et al.*, 2010) ou à la quantité d'informations donnée dans les questions de recherche (Dommes *et al.*, 2011 ; Monchaux, *et al.*, 2015). Ces manipulations impliquent des traitements différents et peuvent orienter le comportement des utilisateurs en induisant davantage de stratégies liées à la

formulation de requêtes, à l'évaluation des pages du moteur de recherche ou à de l'exploration de pages web. En outre, l'hétérogénéité des résultats présents dans la littérature met à jour un défi intéressant bien connu en ergonomie cognitive. Des données quantitatives observables (comme le nombre d'ouvertures de pages web, de requêtes formulées ou le temps passé à analyser les pages de résultats du moteur de recherche) peuvent refléter des stratégies et des comportements de recherche complètement différents. L'enjeu est alors de distinguer ce qui relève de l'exploration (*i.e.* visite de pages web autour d'un ou plusieurs points de focalisation avec pour objectif de collecter des informations plus approfondies), de l'analyse fine du contenu (*i.e.* analyse plus détaillée d'une ou plusieurs pages web), du butinage (*i.e.* « feuilletage » d'information par association d'idées, exploration plus déstructurée et moins focalisée sur un concept spécifique) et ce qui relève de réelles difficultés, de frustration ou de « lutte » face à un problème de recherche d'informations. Pour faire sens à ces données, il est possible de prendre en compte des mesures subjectives d'intérêt, de difficulté perçue ou d'effort mental (Odijk *et al.*, 2015) ou des informations plus qualitatives sur les stratégies de recherche utilisées (comme par exemple le degré d'exploitation des requêtes, l'utilité des requêtes, Chin *et al.*, 2015). Il est également possible d'apporter du sens aux données recueillies en les analysant au regard de leur contexte : à quelle étape de l'activité tel comportement est observé. Des investigations plus approfondies restent à faire dans ce domaine et l'analyse plus fine des stratégies de recherche d'informations représente l'un des points d'intérêt majeur de la présente thèse.

1.3.3 Conclusion

Le présent chapitre s'est attaché à présenter les effets des exigences de la recherche d'informations sur l'activité des utilisateurs. Les parties 1.1 et 1.2 ont montré que la RI est une activité complexe qui mobilise de nombreux processus cognitifs tandis que la partie 1.3 a présenté l'impact de la complexité des tâches de RI sur les exigences et coûts de traitement dans la RI. Enfin, la partie 1.4 a exposé quelques résultats empiriques sur les interactions entre l'âge des utilisateurs et la complexité de la RI.

L'examen de la littérature réalisé sur les exigences de la RI et ses interactions avec l'âge fait émerger des questions de recherche aux enjeux scientifiques et sociétaux actuels.

Dans un premier temps, un effort théorique est nécessaire pour enrichir les modèles de la RI existants sur l'impact de l'âge et développer nos connaissances sur l'interaction entre vieillissement cognitif et exigences de la RI. La présente thèse a ainsi pour objectif d'investiguer l'impact de la complexité des tâches de RI sur les interactions avec un moteur de

recherche et d'étudier quelles ressources cognitives à disposition des adultes âgés pourraient leur permettre de faire face aux exigences des tâches de RI. Le travail de recherche mené s'intéressera ainsi aux habiletés fluides (processus cognitifs fluides qui évoluent avec l'âge comme la flexibilité cognitive) et cristallisés des âgés (connaissances antérieures, habiletés de RI). Les habiletés fluides sont liées à l'intelligence fluide, qui est définie par Cattell (1971) comme la capacité à résoudre des problèmes et à s'adapter à des situations nouvelles. Alors que les habiletés cristallisées, parmi lesquelles on peut trouver les connaissances antérieures et le vocabulaire par exemple, sont liées à l'intelligence cristallisée qui correspond aux connaissances et compétences acquises par l'apprentissage et les expériences vécues (Cattell, 1971).

Les travaux empiriques qui seront conduits permettront par exemple de mieux comprendre les stratégies de production de requêtes et d'évaluation des pages de résultats du moteur de recherche par des utilisateurs plus âgés. Ces enrichissements pourraient contribuer à l'amélioration des modèles computationnels existants en intégrant les stratégies de RI des adultes âgés (le type d'information sélectionné sur les pages du moteur de recherche et la qualité sémantique des requêtes produites par exemple). L'apport de données comportementales sur le comportement des adultes âgés permettrait aux modèles SNIF-ACT et CoLiDes+Pic d'améliorer l'évaluation de la valeur informationnelle (*information scent*) des différentes pistes navigationnelles possibles et ainsi mieux rendre compte des différences entre jeunes et âgés.

En outre, en améliorant le pouvoir prédictif de ces modèles, nous pourrions optimiser l'utilisation de leurs fonctionnalités pour élaborer des outils d'aide à la RI adaptés aux adultes âgés. Deux pistes de développement sont envisageables. Premièrement, prendre en compte les stratégies des âgés permettraient notamment aux modèles computationnels de suggérer aux utilisateurs âgés la « meilleure » décision navigationnelle possible pour rechercher de l'information, même dans un contexte non optimal (dans le cas où l'utilisateur n'a pas élaboré un chemin de navigation pertinent pour son but de recherche et s'est égaré sur des pages web non pertinentes par exemple). Deuxièmement, les modèles computationnels enrichis pourraient fournir des feed-backs aux utilisateurs pour les prévenir lorsqu'ils sélectionnent des pages web non pertinentes. En d'autres termes, les modèles pourraient fournir une alerte indiquant aux utilisateurs qu'il faudrait changer de stratégie de recherche lorsque la valeur informationnelle (*information scent*) des pages qu'ils sélectionnent passe sous un certain seuil. Il s'agirait dans ce cas de prévenir les risques de désorientation chez les adultes âgés.

Ces perspectives de recherche nécessitent des données empiriques pour déterminer comment et quand fournir ces aides à la RI pour ne pas risquer de saturer les ressources cognitives disponibles en mémoire de travail et pour qu'elles soient bien adaptées aux utilisateurs âgés. Ainsi une investigation plus fine des processus cognitifs impactés par le vieillissement et des relations entre ressources disponibles et exigences de la RI chez les âgés apparaît indispensable. Ces questions seront traitées en détails dans le chapitre suivant (chapitre 2) de cette thèse

Chapitre 2. Les ressources cognitives des âgés pour répondre aux exigences de la recherche d'information

Les travaux en psychologie cognitive et ergonomie montrent tout un ensemble de difficultés liées aux exigences de l'activité de recherche d'informations auxquelles les âgés sont particulièrement sensibles. Comme présenté dans le chapitre précédent (chapitre 1), les adultes âgés ont davantage de difficultés que les jeunes à traiter la masse d'informations disponibles sur internet (informations pertinentes et non pertinentes, volontairement recherchées ou rencontrées par inadvertance), l'hétérogénéité des sites web ainsi que les tâches de RI exigeantes en navigation (*i.e.* tâches qui exigent de visiter plusieurs sites ou page web à l'inverse des tâches orientées compréhension et élaboration de sens) (Aula, 2005 ; Chin & Fu, 2010 ; Etcheverry *et al.*, 2011 ; Salthouse, 2000). En conséquence, les âgés sont souvent moins performants et moins précis (Dommes *et al.*, 2011 ; Pak & Price, 2008) et passent plus de temps à traiter les pages de résultats du moteur de recherche que les jeunes (Dommes *et al.*, 2011 ; Wagner *et al.*, 2014 ; Chevalier *et al.*, 2015). Des travaux montrent également que les âgés visitent moins de pages web (Matsuda, Uwano, Ohira, & Matusmoto, 2009) reformulent moins leurs requêtes (Dommes *et al.*, 2011) et ont plus de difficultés pour sélectionner les pages web à visiter depuis le moteur de recherche (Chin & Fu, 2010 ; Aula *et al.*, 2010). La plupart de ces difficultés peuvent être expliquées par une série de facteurs liés à l'évolution des habiletés fluides avec l'âge (Horn & Cattell, 1967 ; Eppinger, Kray, Mecklinger, & John, 2007 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Slegers, Van Boxtel, & Jolles, 2012 ; Wagner *et al.*, 2014) ainsi qu'aux habiletés cristallisées (Cattell, 1971 ; Salthouse, 1990 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Verhaeghen, 2003). Les habiletés fluides incluent des processus d'inhibition, de flexibilité cognitive et de vitesse de traitement alors que les habiletés cristallisées, qui correspondent aux habiletés et connaissances acquises tout au long de la vie d'un individu, incluent par exemple les connaissances déclaratives sur un domaine et les habiletés de vocabulaire (Cattell, 1967 ; 1971). Il est également intéressant de noter que d'autres facteurs modérateurs et médiateurs de l'effet de l'âge sur la RI ont également été étudiés dans la littérature même s'ils ne seront pas (ou très peu) abordés dans la présente thèse. On peut par exemple citer le sentiment d'auto-efficacité sur Internet et/ou dans la recherche d'informations. Défini comme la confiance perçue en ses propres capacités à réaliser des tâches (variées ou spécifiques) de RI sur internet (Eastin & La Rose, 2000), le sentiment d'auto efficacité en RI peut en effet entraver l'exploration et impacter les performances des âgés (Lin, Liang, Yang, & Tsai, 2013 ; Wagner *et al.*, 2010).

L'objectif de ce chapitre est de présenter comment certaines ressources liées à l'intelligence cristallisée des âgés pourraient compenser les effets délétères de l'âge sur la RI et soutenir l'activité des plus âgés. Il s'agira tout d'abord de présenter par quels processus cognitifs le vieillissement cognitif impacte l'activité de recherche (§2.1). Dans un second temps (§2.2) seront discutées les interactions entre âge et complexité des tâches de recherche d'informations. Enfin, les rôles des connaissances antérieures comme ressources cognitives pouvant soutenir l'activité des adultes âgés et des habiletés de recherche d'informations seront présentés dans les chapitres (§2.3) et (§2.4).

2.1 Evolution des processus cognitifs en jeu dans la recherche d'informations avec le vieillissement

Le vieillissement cognitif est classiquement caractérisé par une diminution des performances cognitives dans une grande variété de domaines de la cognition comme la mémoire ou la résolution de problèmes. Les recherches en psychologie du vieillissement investiguent depuis des années les médiateurs de cette dégradation des performances cognitives (Craik & Bialystock, 2006 ; Salthouse, 1996 ; Sharit *et al.*, 2008). Le présent chapitre s'attachera à mettre en lumière l'impact du ralentissement cognitif (§2.1.1), des fonctions exécutives (§2.1.2) et de l'accès au lexique (§2.1.3) sur la recherche d'informations.

2.1.1 Impact du ralentissement cognitif dans la recherche d'informations

De nombreux travaux ont depuis des années démontré que le déclin de la vitesse de traitement lié au vieillissement cognitif médiatise la plupart des performances dans de nombreuses activités cognitives (Park, Smith, Lautenschlager, Earles, Frieske, Zwahr, & Gaines, 1996 ; Park, 2000) comme de raisonnement ou de mémoire. Pour Salthouse (1996), la vitesse de traitement, qui correspond à la vitesse à laquelle les opérations mentales sont effectuées, serait impliquée dans la baisse des performances des âgés par le biais de deux mécanismes (Park, 2000 ; Salthouse, 1996) :

- Mécanisme du temps limité. Toute opération cognitive requiert la mise en œuvre d'une suite d'opérations cognitives à réaliser dans un temps imparti. Selon ce postulat, avec le vieillissement cognitif, les opérations cognitives seraient exécutées trop lentement, ce qui réduirait de fait le temps restant nécessaire à l'exécution des dernières opérations cognitives à accomplir. Ainsi, le temps alloué à la réalisation des dernières opérations cognitives serait réduit car les adultes âgés consommeraient une trop grande proportion

du temps disponible pour accomplir les opérations cognitives les plus précoces. Par conséquent, la performance des âgés serait amoindrie par rapport à celles des jeunes parce qu'ils sont plus lents et n'ont pas le temps de réaliser toutes les étapes d'une activité cognitive.

- Mécanisme de la simultanéité. Le fruit des opérations cognitives précoces serait de moins en moins disponible en mémoire de travail à mesure que l'activité progresse. Ainsi, les dernières opérations cognitives réalisées seraient susceptibles d'être conduites sans le résultat des opérations cognitives plus précoces (*i.e.* les informations précédemment traitées) qui sont pourtant nécessaires à la bonne réalisation de l'activité. Le mécanisme de la simultanéité décrit par Salthouse (1996) rend ainsi compte d'une baisse des capacités de la MDT pour les adultes âgés.

Selon la théorie du ralentissement cognitif, les âgés auraient de moins bonnes performances non seulement car les dernières étapes d'une activité cognitive disposeraient de moins de temps pour être exécutées, mais également car celles-ci ne pourraient être réalisées correctement parce qu'elles seraient basées sur des informations de moins bonnes qualités ou indisponibles. Le déclin de la vitesse de traitement n'aboutirait donc pas à une disparition complète d'un processus mais plutôt à une baisse progressive de l'efficacité des processus cognitifs.

Sur le plan neurologique, les travaux de recherche présentent différents substrats pouvant expliquer le déclin de la vitesse de traitement : affaiblissement des récepteurs de dopamine, hausse des projections dendritiques qui causent des traitements neuronaux en boucles, ou encore une perte de masse au niveau du cerveau et/ou de certaines structures liées à la mémoire (Salthouse, 2000 ; Park, Lautenschlager, Hedden, Davidson, Smith, & Smith, 2002 ; Volkow, Logan *et al.*, 2000).

Le déclin de la vitesse de traitement, principalement évalué par des tâches de comparaison de paires de lettres ou de barrage de lettres (Ekstrom, French, Harman, & Dermen, 1976), représente un prédicteur du comportement parfois meilleur que l'âge seul sur le temps de complétion des tâches de recherche d'informations (Aula & Nordhausen, 2005). Des travaux récents ont également montré que la vitesse de traitement serait également un meilleur prédicteur du degré de désorientation ressenti par les adultes âgés que l'âge seul (Crabb & Hanson, 2014). Ces derniers auteurs postulent que meilleure est la vitesse de traitement, plus les utilisateurs évaluent la pertinence des liens à visiter rapidement et discriminent mieux les chemins de navigation pertinents à élaborer pour chercher l'information cible. Ce postulat est

cohérent avec les deux mécanismes en jeu dans la théorie de Salthouse (1996). Plus les adultes âgés ont un déclin de la vitesse de traitements limité, moins ils ressentent les effets des mécanismes de temps limité et de simultanéité. Les adultes âgés avec une vitesse de traitement relativement bonne seraient donc davantage capables de réaliser plus rapidement les opérations cognitives précoces de la RI (*i.e.* maintenir le but de recherche actif en mémoire de travail, évaluer les résultats du moteur de recherche et décider quels liens sont pertinents ou non). En outre, un bon niveau de vitesse de traitement permettrait aux adultes âgés de mieux garder en mémoire de travail le fruit de ces différents traitements (*i.e.* l'évaluation des premiers résultats du moteur de recherche notamment) pour sélectionner des sites web à ouvrir pertinents et ainsi réduire le risque de désorientation. La vitesse de traitement semble donc être un facteur explicatif intéressant pour rendre compte de la baisse des performances en RI (en termes de temps de complétion : Dommes *et al.*, 2011), des temps de recherche plus longs (Chevalier *et al.*, 2015 ; Wagner *et al.*, 2014) et des décisions de choisir de quitter une page web ou d'en ouvrir plus lentes (Chin & Fu, 2010). Depuis quelques années, les travaux s'intéressant aux effets du vieillissement sur les processus cognitifs présentent le vieillissement comme une évolution tout au long de la vie des processus cognitifs liés à l'intelligence fluide et non plus comme un facteur unitaire lié au déclin de la vitesse de traitement (Craik & Bialystock, 2006). Ainsi, la plupart des expérimentations conduites dans ce domaine intègrent des mesures de vitesse de traitement combinées à d'autres facteurs (comme la flexibilité cognitive ou l'empan en mémoire de travail). Suivant cette perspective, Chin, Anderson, Chin et Fu (2015) proposent à 21 jeunes (âge moyen : 24 ans) et 18 âgés (âge moyen : 62 ans) de résoudre six problèmes informationnels en recherchant l'information sur le moteur de recherche *Google* (*via* une interface expérimentale créée pour l'étude). Les problèmes étaient soit (1) accessibles pour les âgés, et abordaient des thèmes liés à la santé, soit (2) moins accessibles et abordaient des thèmes liés aux nouvelles technologies. Leurs résultats ont montré que les habiletés fluides, mesurées par une combinaison de deux tâches évaluant la vitesse de traitement et l'empan en mémoire, permettaient aux âgés d'explorer davantage l'espace-problème de la recherche. En effet, les âgés disposant d'habiletés fluides plus élevées parvenaient à explorer autant de chemins de navigation différents que les jeunes.

2.1.2 Rôle des modifications du fonctionnement exécutif dans la recherche d'informations

Le postulat du déclin de la vitesse de traitement comme grand médiateur unitaire de l'activité cognitive des âgés a donc par la suite été enrichi par l'impact des modifications du

fonctionnement exécutif (Collette, & Salmon, 2014 ; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003 ; Verhaeghen & Cerella, 2002). Les fonctions exécutives correspondent à l'ensemble des processus cognitifs de haut niveau impliqués dans la réalisation de tâches pour lesquelles les habiletés et connaissances procédurales apprises ne suffisent pas au bon déroulement de l'activité. Elles comprendraient les processus cognitifs permettant de planifier, coordonner et réguler les opérations cognitives (Stuss, 1992). Les fonctions exécutives sont donc particulièrement cruciales dans des tâches qui requièrent des processus contrôlés tels que la planification d'action, l'inhibition d'informations, la flexibilité cognitive, la prise de décision. Or, tous ces processus sont impliqués dans la recherche d'informations. Les travaux de Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, Howerter et Wager (2000) distinguent trois types de processus exécutifs : la flexibilité cognitive, l'inhibition et la mise à jour en mémoire de travail.

- (1) La flexibilité cognitive correspond à la capacité à déplacer le focus attentionnel entre différentes activités ou stimuli (Chevalier & Chevalier, 2009). Les travaux en psychologie cognitive ont montré que la flexibilité cognitive décline avec l'âge (Eppinger *et al.*, 2007), ce qui cause des difficultés pour les âgés à alterner entre la réalisation de deux tâches différentes en comparaison à la réalisation d'une tâche isolée (condition contrôle) (Meiran, Gotler, & Perlman, 2001). Une méta-analyse réalisée par Verhaeghen et Cerella (2002) a mis à jour le rôle des capacités de flexibilité globales sur l'activité cognitive des âgés. Selon ces auteurs, la capacité à maintenir actifs en MDT et à manipuler deux modèles mentaux (correspondant à deux stimuli ou deux tâches parallèles) ainsi qu'à gérer l'interférence induite par le modèle mental inapproprié serait particulièrement sensible au vieillissement. Le fait de maintenir et manipuler plusieurs modèles mentaux compétitifs en parallèle serait donc plus critique que le fait d'alterner entre deux modèles mentaux spécifiques. Le déclin de ces capacités de flexibilité globale serait en outre particulièrement sensible au caractère imprévisible de l'interférence ou à des activités exigeant beaucoup d'alternance entre plusieurs modèles mentaux (Kray, Li, & Linderberg, 2002). La flexibilité cognitive est particulièrement impliquée en RI. D'une part à cause des caractéristiques inhérentes à Internet qui permet aux utilisateurs d'accéder à une masse énorme d'informations dont le flux d'accès est difficilement contrôlable. En naviguant sur des sites web ou des pages de moteur de recherche, les utilisateurs se trouvent, parfois malgré eux, confrontés à des informations qu'ils rencontrent de manière fortuite, inattendue. Il s'agit ainsi pour les utilisateurs de traiter ces informations inattendues (et donc de maintenir active la représentation

mentale de leur but de recherche initial en parallèle) en élaborant une représentation mentale de ces nouveaux contenus, de comparer ces différentes représentations mentales pour évaluer la pertinence des nouvelles informations et les inhiber si elles ne sont pas pertinentes. D'autre part, la RI est particulièrement exigeante en alternance : comme présenté dans le chapitre (1.2), la RI nécessite des utilisateurs qu'ils alternent continuellement entre plusieurs représentations mentales (celle de leur but initial, et celles élaborées sur les différentes informations sélectionnées depuis le moteur de recherche et les sites web) pour évaluer la pertinence des informations et élaborer un chemin de navigation cohérent (Salthouse *et al.*, 2008). La flexibilité cognitive soutient ainsi la compréhension et le traitement des structures des sites web (Brand-Gruwel, Wopereis, & Walraven, 2009) et la prise de décision et l'exploration d'une plus grande quantité d'informations (Chin *et al.*, 2015). En outre, la flexibilité est également particulièrement critique dans les activités de navigation et de reformulation. Les travaux empiriques investiguant les effets de l'âge sur la reformulation de requêtes ont souvent montré que la flexibilité cognitive figurait parmi l'un des facteurs les plus prédictifs du nombre de requêtes reformulées par les individus lors d'une tâche de RI (Dommes *et al.*, 2011).

- (2) L'inhibition, qui peut être définie par un ensemble de processus d'accès, de suppression et de restriction en mémoire de travail (Hasher, Tonev, Lustig, & Zacks, 2001 ; Colette & Salmon, 2014), tend également à décliner avec l'âge (Hasher, & Zacks, 1988 ; Zacks & Hasher, 1997). Les travaux empiriques ont particulièrement montré des dégradations des processus d'inhibition contrôlés alors que les processus d'inhibition automatiques sont moins touchés par le vieillissement cognitif (Andrés, Guerrini, Phillips, & Perfect, 2008 ; Colette & Salmon, 2014). Ces déficits liés à l'âge peuvent entraîner des problèmes d'interférences et de surcharge en MDT. En effet, les adultes âgés, plus sensibles que les jeunes aux éléments distracteurs (Hasher & Zacks, 1988 ; Hasher, Zacks, & Mey, 1999) sont davantage susceptibles d'allouer des ressources attentionnelles aux éléments non pertinents qui surviennent pendant la réalisation d'une tâche et peuvent ainsi les dévier de leurs objectif. La hausse de la sensibilité aux éléments distracteurs et aux interférences a été étudiée dans de nombreuses tâches de lecture et de compréhension (Connelly, Hasher, & Zacks, 1991 ; Dywan & Murphy, 1996). La sensibilité accrue aux éléments distracteurs est critique en RI. Les utilisateurs sont amenés à traiter un grand nombre d'informations (ce qui requiert de discriminer les

informations pertinentes des informations non pertinentes), informations qui sont parfois présentées avec des détails particulièrement séduisants qui peuvent les rendre saillantes et difficiles à inhiber et/ou des informations inattendues qui nécessitent d'allouer des ressources supplémentaires pour les traiter. En lien avec la flexibilité cognitive et les processus attentionnels, le déclin de l'inhibition pourrait expliquer les résultats observés dans les travaux empiriques sur la reformulation des requêtes et la sélection d'informations pertinentes. En effet, les adultes âgés ayant un niveau d'inhibition plus faible que les jeunes sont plus susceptibles de garder actif en mémoire de travail des informations non pertinentes (Park, 2000). Ce phénomène pourrait rendre compte de certaines difficultés rencontrées par les adultes âgés à inhiber les mots-clés qu'ils utilisent dans leurs premières requêtes et à l'utilisation d'un plus grand nombre de mots-clés issus des consignes des problèmes de RI (Aula *et al.*, 2005 ; Dommes *et al.*, 2011).

- (3) La mise à jour en mémoire de travail (MDT) renvoie au mécanisme grâce auquel il est possible de modifier le contenu de sa mémoire de travail pendant la réalisation d'une tâche. Ce processus de mise à jour et de rafraichissement en MDT permet de maintenir active la représentation du but de la tâche, ou encore de remplacer d'anciennes informations non pertinentes par de nouvelles informations (Morris & Jones, 1990). Certains travaux distinguent au sein de ce processus trois composantes pouvant être impliquées dans la mise à jour des informations en mémoire de travail : la récupération, la transformation et la substitution des informations (Ecker, Lewandowsky, & Oberauer, 2010). Ainsi, la mise à jour en MDT, qui décline avec l'âge (Salthouse *et al.*, 2003), est également particulièrement critique pour la RI, d'une part car elle permet de maintenir actif en mémoire de travail la représentation du but de recherche élaborée (et la comparaison des différentes informations traitées). D'autre part car la mise à jour en MDT permet de modifier la représentation du but de recherche pour s'adapter à la situation. En effet, les adultes âgés présentant une baisse des capacités de mise à jour en mémoire de travail ont plus de difficultés à prendre en compte les nouvelles informations (entrant en input en MDT) que les adultes jeunes et ils mettent moins à jour leur représentation mentale du but de recherche (Mead, Spaulding, Sit, Meyer, & Walker, 1997). Le déclin du rafraichissement en MDT pourrait également causer des difficultés aux âgés en impactant le niveau d'activation des connaissances déclaratives qu'ils ont sur les concepts du domaine pour lequel ils recherchent de l'information. La

dégradation du maintien en MDT des concepts pertinents pourrait également expliquer pourquoi les adultes âgés ont plus de difficultés à évaluer et sélectionner les résultats d'un moteur de recherche que les adultes jeunes (Chin & Fu, 2010 ; Chevalier *et al.*, 2015). En outre, en impactant le niveau d'activation des concepts pertinents en MDT et la mise à jour de la représentation mentale du but au fur et à mesure de l'activité de RI, le déclin du rafraîchissement en MDT pourrait causer des difficultés d'adaptations aux changements de la situation et ainsi dégrader la qualité des stratégies de recherche élaborées. En effet, les adultes âgés tendent à prendre des décisions moins adaptées en omettant des informations potentiellement pertinentes et utiles pour parvenir à l'information cible (Kitajima & Toyota, 2012).

Si l'impact du vieillissement sur ces trois composantes exécutives est bien démontré dans les travaux de recherche précédemment cités, la flexibilité cognitive, les processus d'inhibition et la mise à jour en mémoire de travail ne subissent pas des altérations identiques au cours du vieillissement (Etienne, Marin-Lamellet, & Laurent, 2008). Ces auteurs ont comparé les performances de 29 adultes âgés (âge moyen de 70 ans) à 30 adultes jeunes (âge moyen de 24 ans) dans une série d'épreuves cognitives évaluant : la flexibilité cognitive (Trail Making Test, épreuves de fluences verbales, double tâche barrage de lettres et empan chiffré), la mise à jour en MDT (n-back) et l'inhibition (Wisconsin card sorting test). Leurs résultats ont montré que les adultes âgés présentaient des performances significativement moins bonnes pour les épreuves de mise à jour en MDT et d'inhibition mais pas pour les épreuves de flexibilité. Si ces résultats peuvent être en désaccord avec les différences habituellement observées entre les jeunes et les âgés au niveau de la flexibilité cognitive, ils s'expliquent notamment par le fait que les mesures habituelles de la flexibilité cognitive incluent souvent une composante vitesse de traitement qui induit du bruit à la mesure de la flexibilité. En effet, certaines épreuves se réalisent parfois sous forte pression temporelle et ne prennent pas en compte le seul coût cognitif du « *shift* » (l'alternance) qui donne un indice fiable de la flexibilité cognitive. Le lecteur trouvera en annexe 3 (p265) un tableau présentant les épreuves cognitives les plus fréquemment utilisées pour étudier les facteurs modérateurs et médiateurs de l'âge sur la RI et les principaux résultats observés. De même, l'interprétation des effets modérateurs et médiateurs de chacune de ces fonctions exécutives sur la performance est à traiter avec précaution car celles-ci sont généralement corrélées entre elles et donc leur influence est perméable à la combinaison des effets plus généraux des fonctions exécutives (Salthouse *et al.*, 2003). Outre l'effet du vieillissement cognitif, les fonctions d'inhibition, de flexibilité et de

rafraichissement en MDT travail sont également sensibles à de fortes différences interindividuelles.

Par ailleurs, il est très intéressant de noter qu'en parallèle des changements démographiques de la société (notamment le vieillissement dans nos pays industrialisés), le travail lui aussi évolue (et par conséquent les tâches réalisées dans le milieu de travail tout au long de la vie) ainsi que les connaissances des méthodes de prévention du vieillissement sur l'organisme (et le cerveau). Ces changements tendent à modifier considérablement l'impact du vieillissement cognitif sur les différentes fonctions exécutives présentées ci-dessus :

- Les adultes âgés d'aujourd'hui sont souvent des individus ayant réalisé davantage de tâches cognitives que physiques tout au long de leur vie. Ainsi, ils ont donc davantage manipulé et traité des informations sur le plan cognitif, ce qui leur permet entre autre de maintenir un bon niveau d'accessibilité aux connaissances déclaratives stockées en mémoire (Craik & Bialystok, 2006),
- Ils ont un niveau d'éducation supérieur aux adultes âgés des générations précédentes (Baltes & Lindenberger, 1997 ; Park *et al*, 2002),
- Ils sont sensibilisés aux effets de l'exercice physique sur le ralentissement du déclin des fonctions exécutives (Boucard, Albinet, Bugajska, Bouquet, Clarys, & Audiffren, 2012).

Ces facteurs combinés peuvent expliquer pourquoi les récents travaux de recherche observent un plus faible déclin (voire dans certaines conditions une absence de différence significative entre adultes jeunes et âgés) des effets de l'âge sur des fonctions exécutives comme l'inhibition, la flexibilité cognitive ou la vitesse de traitement (Salthouse *et al.*, 2003).

2.1.3 Vieillesse, mémoire et recherche d'informations

L'impact du vieillissement cognitif dans la recherche d'informations est également étudié sous le prisme de la mémoire. Le présent travail de thèse investiguant, en outre de l'impact du déclin cognitif dû à l'avancée en âge, le rôle des connaissances antérieures comme ressources aidantes pour la RI, nous focaliserons nos investigations sur les travaux liés à la mémoire sémantique et l'accès au lexique. Nous pouvons brièvement rapporter que de précédents travaux ont montré que le déclin de la mémoire épisodique lié à l'âge peut impacter négativement la navigation et augmenter un sentiment de désorientation (Etcheverry *et al.*, 2011 ; Etcheverry, Terrier, & Marquié, 2012). En effet, les adultes âgés présentent davantage de difficultés que les jeunes à encoder les indices contextuels et à récupérer consciemment en mémoire ces détails épisodiques. Ils ont alors plus de difficultés que les adultes jeunes dans des tâches exigeant de

naviguer dans plusieurs pages web *via* des liens (menus par exemple) et trouvent moins de cibles que les jeunes (Etcheverry *et al.*, 2011, 2012).

Contrairement aux précédents phénomènes décrits dans la partie 2.1, les effets du vieillissement sur la mémoire sémantique sont généralement positifs. Avec l'âge, le niveau de vocabulaire et les connaissances apprises augmentent (Verhaeghen, 2003). Des travaux empiriques réalisés sur les effets de l'âge en RI ont d'ailleurs montré que de solides habiletés de vocabulaire permettaient de soutenir l'activité de production de requêtes des âgés en les aidant notamment à sélectionner des mots-clés pertinents à articuler dans leurs requêtes (Dommes *et al.*, 2011). De plus, l'accès aux représentations sémantiques des concepts (qui correspond à la récupération du sens des concepts présents en mémoire à long terme et à leur activation en mémoire de travail) s'améliore (Burke & Shafto, 2008 ; Dorot & Mathey, 2013). Toutefois, les mécanismes impliqués dans la récupération des concepts nécessitent également de récupérer la représentation lexicale des concepts (*i.e.* leur forme syllabique, le mot en lui-même). A l'inverse de la récupération du sens des concepts, accéder aux mots est plus difficile avec l'âge, ce qui génère une difficulté particulièrement connue : la sensation du « mot-sur-le-bout-de-la-langue » (Dorot & Mathey, 2013). Ce phénomène se produit lorsque le locuteur a le sentiment très fort de connaître un concept mais est incapable à un moment précis de produire le mot qui lui est associé (Dorot & Mathey, 2013). Pour mieux comprendre ce phénomène et son impact sur la RI, une présentation rapide du fonctionnement de l'accès au langage est utile. Pour cela, la *Node Structure Theory* (MacKay, 2012) postule que les informations langagières sont stockées dans un vaste réseau de représentations organisées en deux strates : une strate contenant les représentations sémantiques (représentations propositionnelles, le sens du mot) et une strate contenant les représentations phonologiques (représentations syllabiques, la forme du mot). Quand un concept est activé (*via* une tâche comme la recherche d'informations par exemple), l'activation initiée au niveau sémantique se propage, grâce aux connexions lexico-sémantiques, jusqu'aux représentations lexicales puis syllabiques de ce concept pour en récupérer sa forme (voire aux représentations phonologiques si la tâche implique une verbalisation orale du concept) (Burke, 2006 ; Brown, 1991 ; Gollan & Brown, 2006). Avec le vieillissement, le système de représentations sémantiques s'enrichit : les âgés possèdent davantage de vocabulaire, de connaissances antérieures, ce qui renforce le poids des connexions au sein de chaque réseau de concepts. En effet, l'exposition et la pratique accrue du langage augmentent les caractéristiques sémantiques qui unissent les concepts sémantiquement proches. Ce phénomène améliore à terme la capacité des âgés à récupérer des concepts sémantiques en

mémoire (Taylor & Burke, 2002). De plus, plusieurs connexions lexico-sémantiques peuvent converger vers une même représentation lexicale (ce qui en facilite l'accès et améliore la capacité à récupérer ce concept). L'enrichissement du système de représentations sémantiques et la multiplication des connexions lexico-sémantiques pour une même représentation lexicale pourraient compenser le déclin de la vitesse de transmission de l'activation observé avec l'âge. Selon la théorie de Burke (1991), ce déclin de la vitesse de transmission de l'activation serait dû à l'augmentation des délais synaptiques. Ainsi, l'accès en mémoire au sens des concepts serait amélioré avec l'âge. En revanche, dans la strate contenant les représentations phonologiques, une seule connexion lexico-phonologique lie chaque représentation lexicale à sa forme syllabique. Ainsi le déficit de transmission de l'activation ne pourrait pas être compensé, ce qui réduirait la capacité à récupérer la forme syllabique complète d'un mot (Burke & MacKay, 1997 ; Burke & Shafto, 2008). Les travaux testant formellement la capacité des adultes jeunes et des adultes âgés à accéder aux représentations sémantiques et phonologiques des concepts ont en effet montré que si l'accès aux représentations sémantiques se maintient voire augmente avec l'âge, l'accès aux représentations phonologiques décline (Dorot & Mathey, 2013 ; Gollan & Brown, 2006). Ces résultats sont particulièrement intéressants pour comprendre l'impact de l'âge sur la reformulation et l'évaluation des résultats des pages du moteur de recherche en RI. En effet, pour évaluer les résultats du moteur de recherche ou reformuler des requêtes, les utilisateurs doivent faire des inférences pour créer des liens sémantiques entre les concepts issus de la représentation qu'ils ont élaborée de leur but de recherche (concepts qu'ils articulent en une requête) et les concepts présents dans les pages du moteur de recherche ou des sites web. Après les traitements (plus ou moins approfondis) et la comparaison de la proximité sémantique entre les termes de l'environnement et ceux de leur requête, les utilisateurs doivent décider quels résultats contenus dans la page du moteur de recherche sont pertinents (il peut y en avoir plusieurs). Pour évaluer la pertinence des résultats du moteur de recherche et/ou sélectionner des informations pour reformuler leur requête depuis les résultats du moteur de recherche, les utilisateurs peuvent utiliser des indices contextuels (tels que le rang des résultats sur *Google*) ou leurs connaissances antérieures. Pour utiliser leurs connaissances antérieures, les utilisateurs doivent donc accéder aux concepts en mémoire à long terme et les activer en MDT. Comme décrit plus haut, les utilisateurs doivent accéder à la représentation sémantique puis syllabique des concepts impliqués (Burke & Shafto, 2008 ; Dorot & Mathey, 2013). Ainsi, la richesse accrue des réseaux sémantiques en mémoire pourrait représenter pour les adultes âgés une ressource particulièrement utile pour l'évaluation de la pertinence des informations rencontrées dans l'environnement. Toutefois, les difficultés des

âgés à accéder aux représentations syllabiques des concepts pourraient impacter leur capacité à reformuler leurs requêtes (notamment la capacité à produire de nouveaux mots-clés pertinents). Ce phénomène peut ainsi contribuer à augmenter le temps passé à traiter les résultats du moteur de recherche. Le déclin de la récupération des représentations syllabiques des concepts est d'autant plus critique qu'il pourrait donc expliquer en partie pourquoi les adultes âgés ne tirent pas toujours des bénéfices de leurs connaissances antérieures.

2.1.4 Effets du vieillissement cognitif en recherche d'informations : interactions entre âge et niveau d'exigence des tâches de recherche

Les difficultés des âgés en RI, liées au déclin des fonctions exécutives, de la vitesse de traitement et aux modifications de l'accès au lexique notamment, (Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Salthouse *et al.*, 2008) peuvent différer selon les exigences de la tâche de RI à accomplir. En effet, les travaux empiriques qui s'intéressent aux interactions entre les effets de l'âge et de la complexité sur la RI présentent des résultats empiriques différents selon que la tâche est plus ou moins complexe ou plus ou moins exigeante en processus de navigation par exemple. Il est à noter que ces travaux s'inscrivent le plus souvent dans une opérationnalisation *a priori* de la complexité objective des tâches. Dans les travaux de Dommes *et al.* (2011), des utilisateurs jeunes et âgés devaient résoudre des problèmes de recherche simples (les mots-clés pertinents sont fournis dans la consigne du problème), difficiles (les mots-clés pertinents sont remplacés par des mots-clés plus généraux et de nouveaux termes doivent donc être inférés par les utilisateurs) et impossibles (les participants devaient découvrir au fur et à mesure de la recherche qu'il n'existait aucune bonne réponse en dépit de la consigne qui leur a été donnée). Les résultats observés montrent bien des effets de la complexité : les utilisateurs avaient de moins bonnes performances (en termes de temps de complétion et de bonnes réponses trouvées) pour les problèmes de recherche impossibles et difficiles que pour les problèmes de RI simples. Des interactions entre âge et complexité ont également montré que les âgés étaient moins performants dans les problèmes simples (temps de complétion plus long) et qu'ils faisaient moins d'exploration dans les problèmes impossibles que les jeunes (moins de pages web visitées, de requêtes produites et de nouveaux mots-clés inférés). Les travaux de Chin, Fu et Kannampallil, (2009) ont également montré que les participants âgés sont plus efficaces dans des tâches de RI ouvertes, mal définies (exigeant davantage de construction de sens) que dans des tâches bien définies (exigeant plus de localisation d'une page web précise sur le net). Les tâches ouvertes, mal définies, permettraient ainsi aux utilisateurs âgés de tirer bénéfice de leurs habiletés cristallisées plus élevées (inférences et vocabulaire plus riches) pour compenser

certaines exigences de la RI qui peuvent les dérouter (masse d'informations, hétérogénéité des sites web, ...). Dans une autre étude, Chin et Fu (2010) ont manipulé le niveau de complexité d'une interface web d'un site expérimental sur la santé :

- Interface simple : les menus sont structurés par partie du corps (*poumons, cœur*). Ainsi traiter les différents menus ne nécessitait pas de connaissances antérieures particulières (*i.e.* la complexité supposée de ce type d'interface est relativement basse).
- Interface complexe : menus structurés par système (*e.g. système respiratoire, digestif*). Traiter les menus de l'interface complexe nécessitait un bon niveau de connaissances pour en inférer le contenu (*i.e.* la complexité supposée de cette interface est plus importante).

Les utilisateurs devaient trouver la réponse à des questions de recherche dans deux modalités de recherche : soit (i) congruente avec le type d'interface (situation de recherche plutôt simple) soit (ii) incongruente avec le type d'interface (situation de recherche plutôt complexe). Les résultats ont montré dans un premier temps des effets classiques de l'âge. Les âgés exploraient moins que les jeunes : ils ouvraient moins de pages web, cliquaient sur moins de liens au sein des menus et prenaient plus de temps avant de décider d'ouvrir ou de quitter une page web. De plus, les participants âgés étaient moins sensibles que les jeunes aux caractéristiques de l'interface du site web : le comportement de recherche des âgés ne changeait pas selon le type d'interface. A l'inverse, les participants jeunes effectuaient plus d'exploration que les participants âgés (ouvraient plus de liens) dans l'interface simple (structurée par partie du corps). Ce résultat intéressant met en avant que les âgés tendraient à moins s'adapter aux caractéristiques des tâches de RI (leurs stratégies de recherche n'évolueraient pas – ou très peu – en fonction des exigences de la tâche). Les auteurs relèvent ainsi une différence majeure dans le type de stratégies de recherche mobilisées par les jeunes et les âgés. Les jeunes développeraient plutôt des stratégies ascendantes dites « *bottom-up* » : ils seraient guidés par les caractéristiques de l'environnement avec lequel ils interagissent et consultent plus de liens plus rapidement. A l'inverse, les âgés auraient des stratégies plutôt descendantes, « *top-down* » : ils seraient plutôt pilotés par leurs connaissances antérieures, seraient moins sensibles aux caractéristiques de l'environnement de recherche et ouvriraient moins de liens pour davantage se concentrer sur des traitements approfondis du contenu.

Ces résultats empiriques relèvent du potentiel impact bénéfique des habiletés cognitives fluides (par exemple l'habileté à produire des inférences) et cristallisées (par exemple le niveau de vocabulaire ou de connaissances antérieures sur le domaine pour lequel les utilisateurs recherchent de l'information) sur l'activité de RI. En effet, de toutes les ressources disponibles en mémoire pouvant soutenir l'activité des utilisateurs, les connaissances antérieures figurent parmi les plus étudiées dans la littérature (Höslcher & Strube, 2000 ; Monchaux *et al.*, 2011 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Tabatai & Shore, 2005 ; Wildemuth, 2004). A l'inverse de certaines habiletés fluides qui tendent à décliner au cours du vieillissement (Eppinger *et al.*, 2007 ; Sharit *et al.*, 2008), les habiletés cristallisées tendent à augmenter avec l'avancée en âge, à mesure des expériences et des apprentissages des individus. Ainsi, l'évolution positive des habiletés cristallisées et le poids des stratégies descendantes nous amènent à investiguer plus en détails le rôle des connaissances antérieures dans la RI chez les adultes plus âgés.

2.2 Les connaissances antérieures du domaine comme ressources cognitives soutenant de l'activité de recherche d'informations

Outre la complexité des tâches de RI, les connaissances antérieures représentent un autre facteur connu pour influencer la RI (Höslcher & Strube, 2000 ; Monchaux *et al.*, 2011 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Tabatai & Shore, 2005 ; Wildemuth, 2004). On peut identifier 3 grands types de connaissances antérieures impactant la recherche d'informations avec un moteur de recherche :

- (1) les connaissances thématiques portant sur le domaine de contenus au sein duquel les utilisateurs recherchent de l'information.
- (2) les connaissances informationnelles ou méta-textuelles sur les documents, les sources *etc.*
- (3) les connaissances en recherche d'informations portant sur le fonctionnement des moteurs de recherche et sur les procédures à mettre en œuvre pour rechercher de l'information (*i.e.* le « comment »).

On peut également noter que les connaissances informationnelles relatives aux connaissances sur les documents et les connaissances en RI peuvent être considérées comme appartenant à une même catégorie. La présente thèse investiguant les ressources cognitives à disposition des âgés pour rechercher de l'information avec un moteur de recherche, nous nous attarderons sur

l'impact des connaissances antérieures dites thématiques (§ 2.3) et les connaissances en RI (§ 2.4)

2.2.1 Revue de l'impact des connaissances antérieures sur la recherche d'informations

Les connaissances antérieures thématiques représentent l'un des facteurs influençant le plus l'activité de RI (Duggan & Payne, 2008 ; Hölscher & Strube, 2000 ; Monchaux *et al.*, 2015 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Tabatai & Shore, 2005 ; Wildemuth, 2004). Les connaissances antérieures sur le domaine de recherche correspondent aux connaissances sur le domaine au sein duquel l'utilisateur effectue la recherche d'informations (Tabatai & Shore, 2005). Il est important de noter que les connaissances antérieures thématiques peuvent inclure différents types de connaissances liées à un domaine thématique spécifique:

- des connaissances déclaratives (*i.e.* contenu sémantique du domaine),
- des connaissances procédurales (*i.e.* des stratégies spécifiques pour traiter les concepts, connaissances opératoires pour traiter le contenu sémantique du domaine)
- des connaissances métacognitives (*i.e.* stratégies pour réguler ou auto-évaluer les opérations mises en œuvre par exemple).

Le présent travail de thèse s'est principalement intéressé aux connaissances thématiques déclaratives sur le domaine au sein duquel l'utilisateur recherche de l'information. Nous proposons en discussion de ce présent document de revenir sur l'opérationnalisation des connaissances antérieures choisie dans ce travail (voir paragraphe 12.5.2, p235).

Les travaux de recherche investiguant le rôle des connaissances antérieures en RI distinguent l'expertise du domaine de l'expertise en RI (qui correspond davantage à des connaissances procédurales ou des savoir-faire sur la tâche de RI elle-même). De précédents résultats empiriques ont montré que l'expertise du domaine (*i.e.* le niveau de connaissances antérieures sur le domaine) améliore la performance (Hölscher & Strube, 2000 ; Tabatai & Shore, 2005) et les stratégies de recherche d'informations élaborées par les utilisateurs dans les différentes étapes de la recherche (Monchaux *et al.*, 2015). Les connaissances antérieures sur le domaine de la recherche influencent par exemple l'allocation de ressources sur le traitement approfondi du contenu, le degré de spécificité sémantique des mots-clés utilisés ou la sélection de sites web plus pertinents. Les travaux sur les effets des connaissances dans le domaine en RI ont en effet montré que les novices (*i.e.* utilisateurs ayant des connaissances sur le domaine faibles) ont plus de difficultés à produire des mots-clés appropriés (sémantiquement spécifiques et/ou utiles pour

rechercher l'information cible) (Vakkari *et al.*, 2003 ; Wildemuth, 2004) et tendent à reformuler leurs requêtes par des changements mineurs, à tâtons, par essai-erreur (Sutcliffe, Ennis, & Watkinson, 2000). A l'inverse, les experts du domaine bénéficient de leur bon niveau de connaissances et produisent davantage de mots-clés nouveaux (Allen, 1991), de mots-clés plus pertinents (Shute & Smith, 1993 ; Vakkari, 2000, 2001) et ils formulent des requêtes plus efficaces (Vakkari *et al.*, 2003) et plus longues (Sutcliffe *et al.*, 2000 ; Aula, 2003). Les experts du domaine utilisent également des stratégies de reformulations plus élaborées que les novices (Hembrooke, Gray, & Granka, 2005 ; Zhang, Anghelescu, & Yuan, 2005). Hembrooke *et al.* (2005) ont par exemple montré que plus les utilisateurs ont de connaissances antérieures sur le domaine de connaissances de la RI, plus ils utilisent de nouveaux mots-clés dans leurs requêtes et plus ils utilisent des mots-clés uniques (*i.e.* les mots-clés de leurs différentes requêtes sont moins redondants que ceux utilisés par les novices). Ces résultats empiriques mettent en avant le rôle bénéfique des connaissances antérieures sur le domaine dans les activités de production et reformulation de requêtes. Les connaissances sur le domaine permettent aux utilisateurs d'articuler la représentation de leur besoin informationnel en une (ou plusieurs) requête(s) utile(s). En outre, les connaissances sur le domaine de la recherche soutiennent également la sélection de sites web plus pertinents (Hölscher & Strube, 2000) et la navigation (plus grand nombre de pages vues en moins de temps de recherche, Ihadjaden & Martins, 2004 ; Sihvonen & Vakkari, 2004 ; Wildemuth, 2004). Les experts du domaine sont plus rapides que les novices (Lazonder, 2000) et planifient davantage leur recherche (Navarro-Prieto, *et al.*, 1999).

Les résultats présentés ci-dessus pointent que les connaissances antérieures permettent aux utilisateurs d'élaborer un modèle mental de leur besoin informationnel plus cohérent et de le transformer en une requête de manière plus appropriée. Elaborer un modèle mental du but de recherche pertinent présente également l'avantage de soutenir des processus de compréhension plus élaborés et de favoriser l'intégration de nouvelles informations découvertes au cours de l'activité de recherche (sur des pages du moteur de recherche ou des pages web). Intégrer de nouvelles informations de manière plus cohérente à leur représentation mentale du but favorise ainsi la capacité des experts du domaine à s'adapter aux changements de l'environnement et aux contraintes de la tâche. Sur le plan cognitif, les connaissances antérieures soutiennent donc la régulation de l'activité (plus les utilisateurs sont experts du domaine, plus ils passent de temps à monitorer leur activité ; Hsieh-Yee, 1993) et la sélection de nouvelles informations depuis les pages du moteur de recherche ou les pages web (Shute & Smith, 1993 ; Vakkari, 2000 ; Vakkari *et al.*, 2003). Ce faisant, les novices du domaine sont doublement désavantagés, au démarrage

de la recherche et tout au long de l'activité. Ils débutent leur activité avec une représentation mentale du but de recherche plus flou, articulent un but de recherche en une requête moins pertinente (ce qui impacte la qualité des résultats du moteur de recherche) et disposent de moins de ressources pour évaluer la pertinence des informations nouvelles et prendre de bonnes décisions pour parvenir à l'information cible (*i.e.* quel site web ouvrir, quand reformuler, comment reformuler et passer à une autre partie de l'espace-problème de la recherche par exemple).

Tableau 2 : Synthèse des principaux résultats de l'effet des connaissances antérieures sur le domaine en RI (classés par méthode d'opérationnalisation des connaissances antérieures)

Opérationnalisation des connaissances	Principaux résultats obtenus	Etudes
Niveau de connaissances inféré par le domaine et le niveau d'étude	<ul style="list-style-type: none"> - Performance améliorée (plus de bonnes réponses trouvées et/ou temps de recherche plus court pour parvenir à la réponse) par de plus fortes connaissances antérieures - Les connaissances antérieures soutiennent la sélection de liens à ouvrir (experts accèdent plus rapidement à la première page web que les novices). - Les connaissances améliorent les stratégies de formulation de requêtes : Novices du domaine produisent des requêtes contenant des mots clés moins utiles que les experts - Les connaissances antérieures améliorent la navigation internet (pertinence des pages web ouvertes, nombre de pages web vues...) - Mais, pour (Hölscher & Strube, 2000), seulement avec un bon niveau d'habiletés en RI (Hölscher & Strube, 2000). 	<ul style="list-style-type: none"> - Downing <i>et al.</i>, - Wildemuth, 2003 ; 2004 - Hölscher & Strube, 2000 - Ihadjaden & Martins, 2004 - Vakkari <i>et al.</i>, 2003 - Lazonder, 2000
Niveau de familiarité (auto-évalué) avec le domaine de connaissances	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissances antérieures favorisent la production de nouveaux mots-clés uniques dans les requêtes. - Effets des connaissances sur les stratégies de formulation de requêtes : les novices du domaine conservent une structure identique dans toutes leurs requêtes. - Participants avec niveau d'expertise en RI plus important produisent plus de nouveaux mots clés lorsqu'ils ont plus de connaissances sur le domaine. - Pas d'effet des connaissances sur les novices en RI. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aula, 2003 - Hembrooke <i>et al.</i>, 2005 - Hsieh-Yee, 1993
Questionnaires pré-test des connaissances sur le domaine	<ul style="list-style-type: none"> - Connaissances antérieures améliorent le nombre de bonnes réponses trouvées. - Pas d'effet des connaissances antérieures sur le temps passé à rechercher l'information, mais les experts du domaine sont plus rapides que les novices sur des problèmes complexes. - Pas d'effet sur le nombre de reformulations produites, mais les experts produisent plus de nouveaux mots clés que les novices dans leur domaine d'expertise. - Connaissances antérieures réduisent le temps passé à traiter des pages web, le nombre de pages web consultées (domaine foot seulement) - Pas d'effet significatif sur la formulation de requêtes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Monchaux <i>et al.</i>, 2015 - Duggan & Payne, 2008

Cependant, les effets bénéfiques des connaissances antérieures sur la RI ne sont pas toujours évidents. Plusieurs travaux ne montrent en effet aucun impact significatif sur la formulation de requêtes (Hu, Lu, & Joo, 2013 ; Joo & Lee, 2011) ou l'efficacité de la recherche (temps mis

pour parvenir à l'information cible : Monchaux *et al.*, 2015). Certains travaux relèvent ainsi un effet du niveau de connaissances sur le temps passé à traiter les pages web (*i.e.* les connaissances sur le domaine de la recherche contribuent à réduire le temps passé à traiter les pages de contenu sur les sites web) mais pas sur le temps passé à analyser les pages de résultats du moteur de recherche (Liu, Cole, Belkin, Gwizdka & Zhang, 2011). On trouve dans la littérature des pistes intéressantes pour comprendre l'absence d'effet significatif des connaissances antérieures sur la RI :

- Pour observer un effet significatif des connaissances antérieures, il faut que les tâches de RI soient un minimum complexes. Dans le cas contraire, on observe plutôt un effet plateau où novices et experts ont tous des facilités à accéder à la bonne réponse et/ou élaborent des chemins de navigation plutôt optimaux (Chin, Anderson, Chin, & Fu, 2015).
- L'absence d'effet significatif peut s'expliquer si les tâches élaborées ne permettent pas (ou peu) aux utilisateurs de mobiliser leurs connaissances antérieures (Salméron, Canas, & Fajardo, 2005) ou si l'organisation/la structure de l'environnement avec lequel les utilisateurs interagissent (*i.e.* les sites web par exemple) n'est pas compatible avec l'organisation des connaissances antérieures en mémoire des utilisateurs (Brand-Gruwel *et al.*, 2005 ; Pak & Price, 2008).
- Les effets des connaissances antérieures se manifesteraient dès lors que les utilisateurs ont un certain niveau d'habiletés de recherche d'informations ou de connaissances procédurales sur le système avec lequel ils interagissent (Hölscher & Strube, 2000 ; Tu, 2005).
- Les groupes expérimentaux étudiés dans les travaux peuvent être considérés comme plus ou moins experts les uns en fonction des autres (*i.e.* le groupe expérimental A peut avoir plus de connaissances que le groupe expérimental B) sans pour autant avoir un niveau de connaissances antérieures suffisamment significatif pour permettre de développer des stratégies de recherche plus élaborées (comme la production de mots clés sémantiquement plus techniques par exemple).

2.2.2 Rôle modérateur des connaissances antérieures sur les effets de l'âge sur la RI

A ce jour, peu de travaux ont étudié les interactions entre connaissances antérieures et âge sur la RI. Dans une étude, Chevalier, Rozencwajg et Desjours (2011) comparent l'activité de navigation de vingt adultes jeunes (âge moyen 20 ans) et vingt âgés (âge moyen 73 ans) dans

deux domaines de connaissances différents et observent les stratégies élaborées lorsque les utilisateurs interagissent avec deux sites web organisés soit de manière hiérarchique soit en réseau. Les auteurs comparent l'activité des adultes jeunes et âgés dans le domaine des bandes dessinées japonaises (manga, domaine pour lequel les adultes jeunes avaient significativement plus de connaissances antérieures) et dans le domaine de la banque/assurance (pour lequel les adultes âgés avaient significativement plus de connaissances antérieures). Les résultats montrent des effets de l'âge sur la performance dans le domaine manga (*i.e.* les adultes âgés trouvent moins de bonnes réponses en manga que les jeunes) alors que dans le domaine banque/assurance, le pattern observé en manga n'est pas répliqué. Si les résultats tendent à montrer que les connaissances antérieures soutiennent l'activité des âgés et leur permettent d'améliorer leur performance, celles-ci n'ont pas d'impact significatif sur le temps passé à naviguer dans les sites web. En effet, dans les deux domaines, les âgés passent significativement plus de temps que les jeunes sur les sites. Ces premiers résultats semblent indiquer que de plus solides connaissances antérieures peuvent permettre aux âgés d'obtenir des performances similaires à celles des jeunes. On peut émettre l'hypothèse que les connaissances améliorent la performance des utilisateurs âgés en les aidant à élaborer des chemins de navigation plus pertinents ou en les aidant à formuler des requêtes plus pertinentes sur le plan sémantique (*i.e.* avec des mots-clés plus précis ou plus utiles pour obtenir *via* le moteur de recherche des résultats pertinents pour accéder à l'information cible) ou en évaluant plus efficacement la pertinence des résultats du moteur de recherche pour sélectionner des pages web utiles à ouvrir. Ces résultats, ainsi que ceux présentés dans la partie précédente (cf. §2.2.1), convergent vers un effet bénéfique des connaissances antérieures sur la performance en RI. Toutefois, des données empiriques sur l'activité en ligne des utilisateurs sont nécessaires pour comprendre quels aspects de la RI sont soutenus par les connaissances antérieures chez les adultes âgés et comment celles-ci influencent les stratégies de recherche développées par les adultes jeunes et plus âgés. Les hypothèses que nous pouvons émettre pour expliquer l'amélioration des performances des adultes âgés s'articulent autour de deux possibles pistes explicatives de recherche :

- Les connaissances antérieures soutiendraient l'activité des âgés en optimisant les stratégies de recherche liées aux processus de compréhension. Cette hypothèse impliquerait une série de processus qui pourraient agir comme modérateurs des effets de l'avancée en âge. Ainsi lorsque les utilisateurs âgés disposent de connaissances antérieures plus solides, ils pourraient élaborer un modèle mental plus pertinent de

l'espace-problème abordé par la tâche, seraient plus efficaces pour évaluer la pertinence des informations et sélectionneraient des sites web plus pertinents sur lesquels chercher l'information cible. Cette hypothèse n'implique pas forcément une compensation des difficultés cognitives des âgés (comme la difficulté à maintenir actif le but de recherche en MDT tout en le modifiant au gré des informations découvertes sur internet, ou encore les difficultés de flexibilité des âgés qui dégradent leurs stratégies de reformulation). Les résultats de Chevalier *et al.* (2011) présentés ci-dessus peuvent aller dans le sens de cette hypothèse : les âgés ont des performances meilleures quand ils sont de bonnes connaissances antérieures, toutefois les résultats ne montrent aucun impact sur le temps passé à chercher l'information cible. Ces temps de recherche plus longs (comparativement aux jeunes) peuvent signifier : (i) une hausse du temps causé mécaniquement par des temps de lecture plus longs liés à l'âge ou (ii) des stratégies de recherche spécifiques (les adultes âgés pourraient prendre plus de temps de recherche pour bien réguler leur recherche, vérifier les informations et être sûr de ne pas faire d'erreurs (Starns & Ratcliffe, 2010). Les connaissances antérieures pourraient ici s'apparenter à des ressources cognitives servant de guidage, de soutien pour l'élaboration de processus cognitifs « *top-down* ». Elles limiteraient indirectement les effets de l'âge sur la RI en soutenant l'élaboration d'un modèle mental plus cohérent, l'intégration des informations à ce modèle mental, l'évaluation de la pertinence des informations, *etc.*

- Les connaissances antérieures soutiendraient l'activité des âgés non seulement en optimisant les processus de compréhension mais également en compensant le déclin de certaines habiletés cognitives fluides comme la flexibilité cognitive. Dans cette hypothèse, les connaissances antérieures joueraient davantage un rôle de médiateur des effets de l'âge et soutiendraient l'activité *on-line* (l'exploration de l'espace-problème de la recherche et des stratégies plus élaborées par exemple). Elles agiraient en compensant le déclin de la flexibilité, de l'inhibition et de l'accès aux représentations syllabiques, en permettant, par exemple, aux utilisateurs âgés de reformuler davantage, d'utiliser plus de nouveaux mots-clés et d'élaborer des stratégies de reformulations plus riches.

Il est intéressant de considérer ces deux hypothèses explicatives sur l'effet des connaissances antérieures, qui ne s'excluent pas nécessairement l'une et l'autre, en relation avec les effets de la complexité des tâches de RI. En effet, les résultats présentés dans la partie 1.3 ont montré que les adultes âgés avaient moins de difficultés dans des tâches de recherche ouvertes, plutôt

mal définies, qui maximisaient le rôle des processus de compréhension (Chin *et al.*, 2009, 2010). Ces auteurs examinaient les stratégies de recherche d'informations dans des questions fermées, bien définies et des questions ouvertes, mal définies, dans le domaine santé pour lequel ils ont observés (questionnaire en pré-test évaluant les connaissances antérieures sur le domaine) que les adultes âgés avaient davantage de connaissances antérieures que les adultes jeunes. Les adultes âgés, qui seraient meilleurs pour collecter des informations, faire des inférences et intégrer de nouvelles informations, dans un domaine pour lequel ils ont plus de connaissances antérieures, obtenaient de meilleures performances dans les questions mal définies (alors que pour les questions bien définies, les adultes âgés avaient des performances plus faibles que les adultes jeunes). Les auteurs ont en outre investigué les stratégies de recherche des participants ayant de meilleures performances dans les deux types de questions. Leurs résultats ont montré que les stratégies analytiques (plus de temps passé à analyser les pages web, à décider quel lien ouvrir, à faire des inférences et mieux comprendre le contenu des pages) étaient les plus efficaces pour les questions mal définies. A l'inverse, pour les questions bien définies, les stratégies d'exploration (*switch* entre plusieurs pages web rapidement) étaient plus efficaces. Ces résultats tendent à montrer qu'un bon niveau de connaissances antérieures soutient l'activité de RI des adultes âgés dans des tâches orientées construction de sens, compréhension mais pas dans des tâches dont le but de recherche est plus fermé, qui sont plus gourmandes en navigation. Or, nous pouvons faire l'hypothèse que ces tâches de RI plus exigeantes sur le volet navigation subissent davantage le déclin de la flexibilité cognitive, de la vitesse de traitement et du rafraichissement en MDT. Ces tâches exigent davantage de passer d'une page web à une autre, de se souvenir des pages web visitées précédemment et risquent de désorienter les utilisateurs âgés. Ainsi si les connaissances antérieures semblent représenter une ressource cognitive utile pour soutenir l'activité des âgés de RI, davantage d'études sont nécessaires pour mieux comprendre leur rôle. La présente thèse s'attachera à investiguer de quelle manière les connaissances antérieures peuvent soutenir l'activité des adultes âgés dans des tâches de RI de complexité variée.

Par ailleurs, deux remarques rapportées dans la partie précédente nous ont conduit à investiguer l'impact d'une autre habileté cristallisée impliquée dans la RI : les habiletés de recherche d'informations. Premièrement, certains travaux ont postulé que l'absence d'effet significatif des connaissances antérieures pourrait être dû à de trop faibles connaissances procédurales sur la RI (habiletés de recherche sur la tâche de recherche elle-même) (Hölscher & Strube, 2000 ; Tu, 2005). Deuxièmement, les résultats de Chin *et al.* (2009) ont montré que les adultes âgés

auraient plus de difficultés dans les tâches de RI fermées, bien définies qui sont plus exigeantes en navigation et alourdissent le coût en flexibilité cognitive. Ces deux résultats empiriques orientent vers une nouvelle hypothèse explicative pour rendre compte des différences observées entre adultes jeunes et âgés en RI. Outre le déclin de la vitesse de traitement et des fonctions exécutives, de plus faibles habiletés de RI pourraient être à l'origine des difficultés des âgés ; particulièrement dans des tâches maximisant les stratégies de navigation et d'exploration de pages web. Ce dernier point suscite donc un intérêt particulier pour le présent travail de thèse. La question de l'impact des habiletés de RI sur les effets de l'âge dans la RI nous intéresse d'autant plus que cette hypothèse est souvent discutée dans de nombreux travaux de recherche ou de vulgarisation scientifique. Toutefois, il existe peu de résultats empiriques clairs et, à ce jour, aucune évidence empirique provenant de mesures objectives, basées sur des données de navigation réelles, pour analyser les habiletés de RI des âgés.

2.3 Les habiletés de recherche d'informations comme ressources cognitives pour l'activité de recherche d'informations

Les habiletés de recherche d'informations renvoient aux compétences et connaissances liées à la tâche de RI elle-même (en opposition aux connaissances déclaratives sur le domaine au sein duquel les utilisateurs recherchent de l'information). Smith (2015) décrit l'expertise en RI comme une combinaison de connaissances procédurales permettant d'allouer les ressources attentionnelles sur des éléments pertinents et de routines de progression qui supportent l'exploration de différents environnements. Ces connaissances procédurales et routines de progression seraient en outre transférables à tous les domaines. Ainsi, les habiletés de RI englobent plusieurs habiletés qui incluent mais ne se limitent pas aux connaissances procédurales sur la tâche de recherche d'informations (van Deursen *et al.*, 2011, 2012) et qui sont indépendantes d'un domaine de connaissances (Smith, 2015). Pour Van Deursen et Van Dijk (2009, 2010) les habiletés Internet intègrent des :

- (1) Habiletés opérationnelles : habiletés à interagir avec le média.
- (2) Habiletés formelles : habiletés à gérer et manipuler les contraintes du média (comme l'hétérogénéité des structures des sites web et les liens qu'ils contiennent par exemple).
- (3) Habiletés informationnelles : habiletés à traiter et sélectionner les informations.
- (4) Habiletés stratégiques : habiletés à traiter l'information au regard du but de recherche élaboré.

Cette définition à quatre composantes détaille de manière plus spécifique les habiletés de RI classiquement définies comme une combinaison d'habiletés de traitement de l'information et d'habiletés navigationnelles (Kroustallaki *et al.*, 2015). A l'instar de travaux sur l'expertise (Hatano & Inagaki, 1984), les conceptions des habiletés de RI présentées ci-dessus incluent également les notions de stratégies routinières et adaptatives. Les experts en RI (utilisateurs disposant d'habiletés en RI solides), disposent de schémas pertinents en mémoire à long terme qu'ils peuvent activer pour rechercher de l'information dans un environnement familier (sites web connus par exemple) ou dans des tâches de recherche familières ou peu complexes pour eux (rechercher un site web pour acquérir de l'information sur un cours pour un étudiant par exemple). Les habiletés de RI permettraient ainsi aux experts d'évaluer la pertinence et la crédibilité des informations de manière routinière (Lucassen *et al.*, 2013), à moindre coût cognitif, et d'explorer l'espace-problème de la recherche en le divisant en plus petits sous-espaces pertinents et en les explorant les uns après les autres (Smith, 2015). Lorsque les schémas contenus en mémoire ne permettent pas de réaliser la tâche, les experts en RI peuvent utiliser leurs habiletés (connaissances déclaratives sur le fonctionnement du système avec lequel ils interagissent et connaissances procédurales sur des actions à réaliser) pour élaborer des stratégies de recherche adaptatives (Smith, 2015). Ils seraient ainsi capables de développer des stratégies adaptées aux changements de l'environnement de recherche en régulant et monitorant leur activité plus souvent, en évaluant les sources d'informations de manière plus sélective (Smith, 2015 ; White & Morris, 2007).

Les travaux sur l'expertise en RI ont montré que plus les utilisateurs ont de fortes habiletés de recherche, plus ils ont des performances élevées et utilisent des stratégies de recherche pertinentes, et ce, dans tous les domaines. Contrairement aux connaissances antérieures sur un domaine de connaissances spécifique, les habiletés de RI représentent des ressources cognitives qui permettent aux utilisateurs de s'adapter aux exigences de la recherche d'informations et d'être moins sensibles au degré de familiarité avec l'environnement (Feltovich, Prietula, & Ericsson, 2006). Ainsi, les utilisateurs disposant d'habiletés de recherche d'informations plus solides :

- Produisent davantage de requêtes (*i.e.* ils reformulent plus) (Hölscher & Strube, 2000 ; Sutcliffe *et al.* 2000) ;
- Régulent leur recherche plus régulièrement, explorent davantage l'espace-problème de la tâche de recherche (Smith, 2015 ; Tabatai & Shore, 2005) ;

- Elaborent des stratégies efficaces pour évaluer la pertinence du contenu des pages du moteur de recherche ou des pages web (Smith, 2015 ; White & Morris, 2007).

En outre, les experts en RI planifieraient davantage leur activité que les novices (sur la base de leurs connaissances du web et de son fonctionnement), alors que les novices seraient davantage influencés par les caractéristiques du système (Navarro-Pietro *et al.*, 1999). Les experts en RI seraient également meilleurs pour localiser et discriminer les informations pertinentes, plus rapides, sélectionneraient des sites web plus pertinents et alloueraient plus de ressources attentionnelles à l'évaluation des sources (Bilal, 2000 ; Jenkins *et al.*, 2003 ; Lazonder *et al.*, 2000; Tu, Shih, & Tsai, 2008 ; White & Morris, 2007). Certains travaux montrent également que l'expertise sur la tâche de RI permet aux utilisateurs de planifier davantage leur recherche en développant des stratégies adaptées au fonctionnement du système : les experts en RI ouvrent plus d'onglets différents que les novices, dans un laps de temps très court, pour anticiper le temps de chargement des pages web. En d'autres termes, les stratégies de recherche développées par les experts en RI sont orientées par la tâche et ont pour principal objectif de maximiser le taux d'informations pertinentes obtenu en un minimum de temps. A l'inverse, l'expertise sur un domaine de connaissances spécifique soutiendrait l'élaboration de stratégies de recherche pertinentes principalement au sein de ce domaine et favoriserait des stratégies basées sur la pertinence factuelle (Lucassen, *et al.*, 2013). Toutefois, l'expertise sur un domaine de connaissances particulier ne permettrait pas aux utilisateurs de se comporter différemment de novices face à un domaine de recherche différent de celui pour lesquels ils ont un bon niveau de connaissances antérieures (Höslcher & Strube, 2000 ; White, *et al.*, 2009). Les habiletés de recherche d'informations peuvent également interagir avec la nature des tâches de recherche à effectuer. Ainsi, alors que les connaissances antérieures sur le domaine soutiennent l'activité dans des tâches de recherche ouvertes (exigeantes en processus de compréhension), alors que les habiletés de RI soutiennent l'activité dans des tâches fermées, de recherche de faits (plus exigeantes soit en processus de navigation soit en sélection de termes pertinents). Toutefois, de précédents travaux ont également montré que les habiletés de recherche d'informations peuvent être spécifiques à un système particulier (Borgman, 1996 ; Sit, 1998). Ainsi les connaissances conceptuelles et techniques sur la façon d'interagir avec un système (comme formuler des requêtes, comprendre le contenu des bases de données, les opérateurs booléens, *etc*) ne seraient pas toujours transférables à tous les systèmes de recherche d'informations.

L'examen de la littérature met à jour plusieurs leviers scientifiques permettant une mesure effective des habiletés de recherche d'informations. Le premier est dû à la grande hétérogénéité des définitions de ces habiletés. Les travaux de recherche investiguent des habiletés de recherche d'informations, de navigation, des habiletés Internet, la familiarité avec Internet, le sentiment d'auto-efficacité à utiliser Internet (Lin *et al*, 2013 ; van Deursen *et al.*, 2009). Afin de répondre à ce premier obstacle, la présente thèse investiguera l'impact de trois composantes des habiletés de recherche d'informations (basées sur les travaux de Van Deursen *et al.*, 2009, 2010) : (1) les habiletés d'interactions opérationnelles (correspondant aux habiletés à interagir avec un moteur de recherche et des sites web), (2) les habiletés navigationnelles (correspondant aux habiletés à élaborer un chemin de navigation cohérent et à éviter la désorientation) et (3) les habiletés de traitement de l'information (correspondant aux habiletés liées aux processus de compréhension). Le tableau 3 ci-dessous présente plus en détails le contenu de ces trois composantes.

Tableau 3 : Présentation des trois composantes des habiletés de recherche d'informations.

Composantes	Processus impliqués
Habiletés interactions opérationnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Habiletés (ou connaissances procédurales) liées à l'interaction avec un navigateur et moteur de recherche et des sites web: utilisation du bouton retour, validation des requêtes, ouverture de nouveaux onglets... (Hargittai, 2002 ; Sit, 1998 ; van Deursen & van Dijk, 2009,2010). • Connaissances déclaratives sur les outils et tâches de recherche d'informations.
Habiletés navigationnelles	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborer une représentation mentale cohérente de la structure d'un site web. • Sélectionner une source d'informations pertinente (Brand-Gruwel <i>et al.</i>, 2005). • Elaborer un chemin de navigation cohérent, s'orienter dans un environnement hypermédia (Park & Kim, 2000). • Scanner une page web. • Localiser des éléments pertinents (liens, menus...). • Switcher entre plusieurs pages web et/ou les pages du moteur de recherche (connaissances de routines procédurales sur la navigation ; Smith, 2015). • Adapter ses stratégies de navigation (navigation approfondie des sites web ou navigation exploratoire plus superficielle selon les exigences des tâches ; Hargittai, 2002).
Habiletés de traitement de l'information	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborer une (plusieurs) requête(s) pertinente(s) et utile(s) (habiletés à bien définir la tâche de RI, Salthouse <i>et al.</i>, 2008). • Sélectionner des mots-clés pertinents (en mémoire sémantique ou dans l'environnement) pour reformuler les requêtes (Aula & Nordhausen, 2006). • Processus de compréhension (élaboration d'un modèle mental cohérent de l'espace-problème de la recherche, intégration de nouvelles informations). • Habiletés liées au contenu (production d'inférences ; van Deursen, <i>et al.</i>, 2011) et à l'analyse du contenu des pages web (Bilal, 2000). • Allouer les ressources attentionnelles pour sélectionner les informations (textuelles notamment) pertinentes et inhiber les informations non pertinentes. • Evaluation de la pertinence (du contenu des pages du moteur de recherché, des pages web... (Kroustallaki, <i>et al.</i>, 2015 ; Smith, 2015). • Jugement de crédibilité (Lucassen, <i>et al.</i>, 2013).

Le second obstacle est lié aux méthodes utilisées pour mesurer les habiletés de recherche d'informations. En effet, la plupart des travaux investiguant l'expertise en RI utilisent des mesures *a priori* comme : le temps passé sur Internet par semaine ou le nombre d'années d'utilisation (Jenkins, *et al.*, 2003 ; Lin *et al.*, 2013 ; Thatcher, 2006), le niveau d'éducation (Brand-Gruwel, *et al.*, 2005; Hargittai & Hinnant, 2008), le type de formation universitaire reçue (Brand-Gruwel *et al.*, 2005 ; Navarro-Pietro *et al.*, 1999) ou des questionnaires d'auto-évaluation (Kroustallaki *et al.*, 2015 ; Lin *et al.*, 2013 ; Monoi, O'Hanlon, & Diaz, 2005 ; Tsai & Tsai, 2003 ; Vakkari, *et al.*, 2003). Bien que ces mesures fournissent des renseignements intéressants sur le niveau d'habiletés en RI, elles présentent également des inconvénients. En effet, les mesures d'auto-évaluation peuvent mener à des sous ou sur-estimations, particulièrement pour les âgés qui tendent à se sous-estimer davantage que les jeunes (Marquié, Jourdan-Boddaert, & Huet, 2002). En outre, la relation entre l'utilisation d'internet et les habiletés de RI n'est pas encore claire (Van Deursen & Van Dijk, 2010) et ne permet pas de discriminer entre des supposés novices et experts de la RI de manière fine (Thatcher, 2008). Ainsi un des enjeux majeurs de l'étude des habiletés de RI consiste à élaborer un outil d'évaluation fiable, basé sur des données comportementales réelles issues de l'activité et compatible avec la grande hétérogénéité des utilisateurs. En effet, de précédents résultats empiriques ont montré que l'évaluation des habiletés de RI avec des données réelles représentent une méthode plus fiable (Hargittai, 2002; Merritt, Smith, & Renzo, 2015; van Deursen, & van Dijk, 2010; van Deursen *et al.*, 2012). Le développement d'un outil d'évaluation des habiletés de RI fiable (*i.e.* basé sur des données *on-line* réelles) pourrait contribuer à l'élaboration d'outils d'aide ou de formation à la RI utiles pour des publics en difficultés (comme les utilisateurs âgés) ou pour des situations d'apprentissage exigeantes en ressources cognitives nécessitant de la RI.

2.4 Synthèse et conclusion des effets de l'âge et des connaissances sur la recherche d'informations

Le chapitre 2 s'est attaché à faire l'examen des effets de l'âge sur la RI ainsi que des ressources cognitives dont les âgés disposent pour réaliser cette activité (*i.e.*, connaissances du domaine et connaissances en RI). Les travaux rapportés ont montré que le déclin de la vitesse de traitement (Salthouse, 1996 ; Park, 2000), le déclin des fonctions exécutives comme la flexibilité, l'inhibition et la mise à jour en MDT (Eppinger *et al.*, 2007 ; Miyake *et al.*, 2000 ; Salthouse *et al.*, 2003 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Verhaeghen & Cerella, 2002) ainsi que la difficulté accrue de la récupération des représentations syllabiques des concepts en mémoire (Burke & Shafto, 2008 ;

Dorot & Mathey, 2013) dégradent les activités de formulations de requêtes, d'analyse des pages de résultats du moteur de recherche et l'exploration de l'espace problème de la recherche (Aula *et al.*, 2005 ; Chin *et al.*, 2015 ; Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Sharit *et al.*, 2008).

La revue de la littérature sur l'impact des connaissances antérieures sur le domaine pour lequel les utilisateurs recherchent de l'information a également montré que les connaissances peuvent contribuer à améliorer les interactions avec un moteur de recherche en RI (Duggan & Payne, 2008 ; Hölscher & Strube, 2000 ; Monchaux *et al.*, 2015 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Tabatai & Shore, 2005 ; Vakkari *et al.*, 2003 ; Wildemuth, 2004) et qu'elles pourraient soutenir la RI chez les âgés en améliorant notamment la performance (Chevalier *et al.*, 2011). Enfin, des travaux sur les habiletés de RI (connaissances déclaratives et procédurales sur la tâche de recherche elle-même) ont montré que l'expertise en RI pourrait contribuer à améliorer l'activité de recherche (Hölscher & Strube, 2000 ; Tabatai & Shore, 2005 ; White & Morris, 2007 ; Smith, 2015) et à soutenir le rôle des connaissances antérieures (Hölscher & Strube, 2000 ; Tu, 2005). La revue de littérature présentée a mis à jour plusieurs questionnements sur les effets de l'âge et des connaissances sur les activités de RI.

(1) La première question de recherche concerne l'utilisation des connaissances antérieures par les adultes âgés en RI. Les résultats mettent en évidence le constat suivant : les âgés ne bénéficient pas toujours de leurs connaissances antérieures pour soutenir les stratégies de recherche en ligne (Chevalier *et al.*, 2011). Plusieurs pistes d'investigations sont explorables pour comprendre ce résultat. Les âgés auraient parfois du mal à bénéficier de leurs connaissances antérieures parce que (i) les questions de recherche ne permettraient pas aux utilisateurs de tirer parti de leurs connaissances antérieures (Monchaux *et al.*, 2015 ; Salméron *et al.*, 2005), ou (ii) parce qu'ils manqueraient d'habiletés de RI leur permettant d'utiliser leurs connaissances antérieures de manière efficaces (Sit, 1998) ou (iii) parce qu'ils auraient des difficultés à récupérer en mémoire la représentation lexicale des concepts pertinents pour la RI en parallèle de la réalisation d'une activité aussi complexe que la RI (Dorot & Mathey, 2013).

(2) La deuxième question concerne le poids des tâches parallèles à réaliser pour rechercher de l'information. Comme présenté dans le chapitre 1, la RI nécessite de mettre en œuvre une série de tâches successives et parallèles (maintien du but en MDT, évaluation de la pertinence des informations, accès au lexique et récupération des connaissances antérieures, sélection puis traitement approfondi des informations, *etc*). Si les connaissances antérieures peuvent soutenir les processus de compréhension et l'élaboration d'un modèle mental de la recherche plus

cohérent, elles ne peuvent pas toujours compenser les difficultés induites par le déclin des fonctions exécutives. En outre, avec l'âge, le coût cognitif de l'alternance est plus lourd, particulièrement dans des activités complexes qui sollicitent de nombreuses ressources cognitives. Les adultes âgés auraient ainsi besoin de plus de temps pour réaliser ces opérations cognitives et les rafraîchir régulièrement en mémoire de travail pour maintenir les résultats des traitements antérieurs (Salthouse, 1996). Ainsi, en exigeant des utilisateurs qu'ils réalisent des opérations cognitives parallèles et de nouvelles opérations cognitives tout au long des différentes étapes de la RI, le temps alloué et les ressources cognitives disponibles pour le rafraîchissement en mémoire de travail est considérablement réduit. Ce phénomène peut être critique : il contribue à surcharger cognitivement la mémoire de travail (Camos & Barrouillet, 2013) et pourrait artificiellement faire croire à des performances de RI amoindries chez les adultes âgés. En effet, de nombreux travaux ont montré que les âgés sont plus lents et/ou moins performants en RI que les jeunes (Dommes *et al.*, 2011 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Slegers *et al.*, 2009). Toutefois, la plupart de ces travaux considèrent la performance au regard du temps nécessaire pour exécuter la tâche (*i.e.* temps de complétion). Lorsque les mesures de performance sont pondérées par le nombre de questions de recherches effectivement traitées (et non le nombre total de questions partiellement traitées par manque de temps ou abandon), l'effet de l'âge disparaît et seul le facteur vitesse de traitement a un effet significatif sur la performance (Sharit *et al.*, 2008). Ainsi, une piste de recherche essentielle pour les travaux de recherche sur l'impact de l'âge en RI semble résider dans le soutien temporel et/ou l'allègement du coût des opérations cognitives à réaliser en parallèle en début de RI (comme le maintien du but en MDT par exemple) pour soutenir la bonne réalisation des opérations cognitives plus tardives réalisées dans les dernières étapes de la RI et soutenir l'activité des âgés.

Les deux questions de recherche présentées ci-dessus nous ont ainsi amené à investiguer les effets de nouveaux dispositifs d'aide à la RI qui pourraient compenser le déclin de certaines habiletés cognitives fluides et soutenir les effets bénéfiques des connaissances antérieures pour les adultes plus âgés. Le chapitre 3 suivant s'attachera, dans un premier temps, à dresser un état des lieux des dispositifs d'aide à la RI avec moteur de recherche existants. Dans un second temps, nous présenterons les éléments théoriques sous-tendant nos dispositifs d'aide ainsi que leurs effets attendus sur les activités impliquées en RI avec moteur de recherche pour les utilisateurs plus âgés.

Chapitre 3. Les dispositifs d'aide à la recherche d'informations pour aider les adultes âgés à répondre aux exigences de traitement de la RI

Les précédents chapitres ont rapporté les résultats d'études empiriques démontrant les difficultés que les adultes âgés rencontrent lorsqu'ils recherchent de l'information avec un moteur de recherche. Cet examen de la littérature a pointé des difficultés critiques au niveau de la formulation des requêtes, l'évaluation des pages de résultats du moteur de recherche ou la sélection des pages web. Les adultes âgés ont en effet plus de difficultés à reformuler: ils produisent moins de requêtes, infèrent moins de nouveaux mots clés (Chevalier *et al.*, 2015 ; Dommes *et al.*, 2011) et passent plus de temps à évaluer les pages de résultats (Aula, 2005 ; Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Wagner *et al.*, 2014). Au regard de l'analyse de la tâche réalisée grâce à l'examen de la littérature, il nous semble intéressant de porter une attention particulière à la phase initiale de l'activité de RI. En effet, de précédents résultats ont montré que les adultes plus âgés s'appuient davantage sur des processus *top-down* alors que les adultes jeunes sont plus sensibles aux caractéristiques de l'environnement de RI et se basent plutôt sur des processus *bottom-up* (Chin & Fu, 2010). La figure 2 ci-dessous représente les facteurs impliqués en RI sur lesquels portent nos travaux de recherche ainsi que les grandes étapes de l'activité de RI.

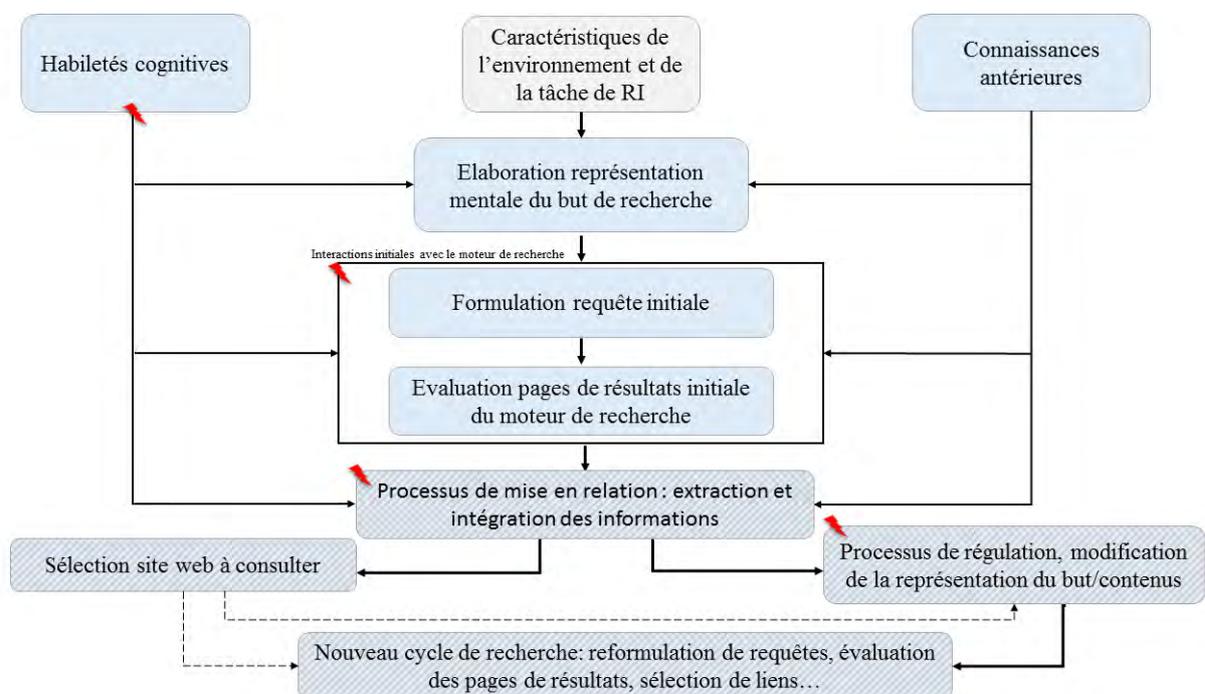


Figure 2 : Schéma des facteurs et des traitements impliqués dans la recherche d'informations avec un moteur de recherche (en bleu sont représentés les processus descendants, en gris les processus ascendants). En rouge sont représentées les difficultés supposées des âgés dues au déclin de certaines habiletés cognitives.

Ainsi les premières interactions avec le moteur de recherche lors de la phase initiale de la RI (*i.e.* première requête produite et première page de résultats analysée) semblent critiques pour les âgés. D'une part parce que la phase initiale de la RI est particulièrement sous-tendue par des processus descendants (s'appuyant sur les habiletés cognitives et les connaissances sur le domaine et sur la RI des utilisateurs). D'autre part, elle est critique pour le déroulement de l'activité (*i.e.* la phase initiale aboutit à la première page de résultats sur laquelle les utilisateurs vont pouvoir extraire des informations et les intégrer à leur représentation mentale du but de recherche). Le déclin de certaines habiletés cognitives fluides (*i.e.* flexibilité cognitive, vitesse de traitement et mise à jour en MDT) apparaît critique pour :

- les étapes initiales de la RI,
- les étapes impliquant des processus de mise en relation des informations provenant des pages web avec celles contenues dans la représentation mentale du but qu'élaborent les utilisateurs,
- les étapes impliquant des processus de régulation de l'activité et d'adaptation à l'évolution de la situation de recherche (*i.e.* modification de la représentation mentale du but, des requêtes liées aux nouvelles informations découvertes au fil de l'activité par exemple).

Une première partie de nos travaux investigate l'impact de l'évolution des habiletés cognitives, comme la flexibilité cognitive par exemple, des adultes plus âgés ainsi que le rôle des connaissances antérieures sur la RI. La seconde partie de nos recherches s'intéressent aux dispositifs d'aide à la RI qui pourraient soutenir les difficultés des adultes plus âgés. Pour répondre à cet objectif plus appliqué, les apports de l'ergonomie cognitive sont indispensables afin de cerner au mieux les difficultés réelles des âgés, les processus cognitifs en jeu et ainsi élaborer des dispositifs qui seraient adaptés à leurs besoins. Ainsi, pour soutenir l'activité de RI, et tenter de compenser, en partie au moins, certaines difficultés des utilisateurs plus âgés, plusieurs pistes d'outils d'aide sont investiguées dans la littérature sur le domaine. Parmi les fonctions que les outils d'aide à la RI existants proposent, trois types d'aides nous intéressent particulièrement ; du fait de leur pertinence et des résultats empiriques sur les effets de l'âge dans l'activité de RI avec moteur de recherche:

- Aider à la production et à la reformulation de requêtes en suggérant des termes.
- Proposer des outils de visualisation des structures des sites web.
- Aider à la sélection d'information en intégrant des signaux visuels sur des éléments clés pour la tâche (caractères gras par exemple),

La première partie de ce chapitre (§3.1) exposera (et questionnera) certains outils présents dans la littérature pour faciliter les interactions avec le moteur de recherche. Sur la base des dispositifs d'aide existants et de la revue de la littérature, les parties suivantes (§3.2 et §3.3) présenteront deux dispositifs d'aide à la RI ayant pour objectif de soutenir les processus cognitifs en jeu pour les utilisateurs âgés. La partie 3.2 abordera comment un dispositif d'aide à la recherche d'informations pourrait maximiser le rôle des connaissances antérieures pour modérer les effets de l'âge sur l'activité. La partie 3.3 proposera un nouveau dispositif d'aide centré sur le soutien du maintien du but de recherche en mémoire de travail.

3.1 Les outils d'aide à la recherche d'informations avec un moteur de recherche

La question des dispositifs d'aide à la RI a fait l'objet de nombreux travaux de recherche depuis quelques années. En psychologie, les premiers travaux sur des dispositifs de guidage en environnement informatisé ont étudié comment des dispositifs métatextuels peuvent soutenir les activités de navigation et de compréhension ou compenser les difficultés des utilisateurs. Les dispositifs de guidage étudiés sont de nature variée et prennent par exemple la forme de signaux structurant l'information, d'éléments de mise en saillance pour guider l'attention de l'utilisateur, de diagrammes (cartes conceptuelles présentant le contenu de l'hypertexte et sa structure), ou de systèmes de prévisualisation des contenus *via* des escamots (Caro & Bétrancourt, 1998 ; Bétrancourt & Caro, 2006).

Les recherches conduites se focalisent généralement sur la facilitation des processus de compréhension (aider les utilisateurs à repérer et extraire les informations pertinentes et à en élaborer une représentation mentale cohérente) (Bétrancourt & Caro, 2006) ou sur l'aide à la navigation (pour élaborer un chemin de navigation cohérent et permettre aux utilisateurs de naviguer entre des pages web sémantiquement liées et cohérentes entre elles) dans le cadre d'activités finalisées en situation d'apprentissage (Bétrancourt & Caro, 2006). De nombreux travaux se sont, par exemple, intéressés aux effets des outils d'aide à la RI pour de jeunes apprenants en classe (Gauducheau, Cuisinier, & Garitte, 2008). Toutefois, très peu de recherches ont à ce jour été menées auprès d'adultes âgés.

Puisque l'analyse de la tâche de RI avec moteur de recherche semble pointer que les difficultés des utilisateurs âgés sont principalement liées aux activités de reformulation et d'analyse des pages de résultats, le présent chapitre interroge deux types d'outils d'aide à la RI existants : les dispositifs d'aide à la reformulation (§3.1.1) et d'aide à l'élaboration d'une représentation mentale cohérente de l'environnement de recherche (§3.1.2)

3.1.1 Dispositifs d'aide à la reformulation de requêtes

En informatique, de nombreux dispositifs d'aide à la recherche d'informations avec moteur de recherche ont été investigués. Une grande partie des travaux menés s'articulent autour des dispositifs d'aide à la formulation et reformulation de requêtes (Anick, 2003 ; Jansen & Booth, 2009 ; Kim, Seo, Croft, & Smith, 2014 ; Martinsky & Navrat, 2012 ; Smith, Gwizdka, & Feild, 2017).

Les outils d'assistance à la reformulation consistent généralement en des suggestions de requêtes sémantiquement liées à celle(s) de l'utilisateur. Ces requêtes suggérées fournissent une extension sémantique de la requête en cours de l'utilisateur. Elles apparaissent à proximité de la barre de requête du moteur de recherche, et ce, soit après la validation de la requête par l'utilisateur, soit pendant que celui-ci entre sa requête (Martinsky & Navrat, 2012). Ces extensions se font sur la base de différentes méthodes (Chang, Ounis, & Kim, 2006 ; Jansen & Booth, 2009 ; Karisani, Rahgozar, & Oroumchian, 2015 ; Kim *et al.*, 2014 ; Martinsky & Navrat, 2012 ; pour une revue des techniques, cf. Silvestri, 2009) :

- Par expansion sémantique : le moteur de recherche rassemble de nouveaux termes liés à ceux de la requête en s'appuyant sur des données recueillies auprès d'autres utilisateurs.
- Par traitement des données : le moteur de recherche homogénéise les termes utilisés dans la requête de l'utilisateur (*e.g.* réduire les termes utilisés à la racine, corriger les fautes d'orthographe, enlever la ponctuation, ...)
- Par évaluation : le moteur de recherche évalue la pertinence des termes grâce à des règles internes (*i.e.* algorithmes) et propose de nouveaux termes jugés pertinents (en fonction des co-occurrences des termes, de la fréquence des termes, de la position des termes dans les résultats du moteur de recherche, du contenu des pages web et documents précédemment ouverts par l'utilisateur, *etc*).

L'objectif de ces différentes méthodes d'aide à la reformulation est de combler l'absence de termes pertinents dans la requête de l'utilisateur en lui suggérant des termes nouveaux qui pourraient ensuite l'aider à accéder à des documents web potentiellement pertinents pour lui. Il s'agirait donc de permettre aux utilisateurs de continuer à explorer de nouvelles pistes de l'espace-problème de la recherche en suggérant de nouvelles requêtes à moindre coût cognitif. Les résultats empiriques montrent cependant des résultats inconsistants sur les effets de ces outils d'aide sur l'activité. Pour certains travaux, ces techniques d'aide à la reformulation

améliorent les performances et le nombre de documents pertinents accessibles (Fonseca, Golgher, Possas, Ribeiro-Neto, & Ziviani, 2005), aident les utilisateurs à élaborer de nouvelles solutions et chemins de navigation pour trouver l'information cible (Kelly, Gyllstrom, & Bailey, 2009) et permettent l'élaboration de nouvelles stratégies de recherche (O'day & Jeffries, 1993 ; Teevan, Alvarado, Ackerman, & Krager 2004). Pour d'autres, ces techniques sont souvent mal utilisées par les utilisateurs et peu fructueuses (Meadow, Hewett, & Aversa, 1982 ; Anick, 2003 ; Smith *et al.*, 2017). Du point de vue de la psychologie cognitive et ergonomique, ces outils d'aide centrés sur le système et non sur l'utilisateur et ses besoins présentent de nombreux inconvénients :

- Ces outils ne prennent pas en compte les caractéristiques des utilisateurs, comme le niveau de connaissances sur le domaine de la recherche ou sur le système de recherche. Ainsi, les requêtes suggérées par l'outil peuvent être trop complexes pour les utilisateurs (termes sémantiquement techniques) ou les utilisateurs peuvent ne pas savoir comment utiliser ces outils ni à quel moment. Par exemple, voir une suggestion de requête s'afficher en parallèle de la sienne (et juste en dessous de sa propre requête) peut être perturbant pour un utilisateur ayant de faibles connaissances et peu d'expériences sur un système de recherche. Cet aspect serait particulièrement critique pour les adultes âgés qui sont moins flexibles et sont plus sensibles aux interférences provoquées par des informations compétitives que les adultes jeunes (Eppinger *et al.*, 2007).
- Ces outils ne prennent pas en compte le contexte de la recherche. L'absence de prise en compte du contexte peut générer quelques problèmes dans les requêtes suggérées comme par exemple dans le cas de termes polysémiques ou de synonymes (Zazo, Figuerola, Berrocal, & Rodriguez, 2005). En outre, du fait même de l'absence de contexte, ces outils d'aide à la (re)formulation ne proposent des suggestions pertinentes que lorsque les utilisateurs formulent des requêtes longues contenant beaucoup de mots-clés (Zazo *et al.*, 2005). Ainsi, plus les requêtes produites par les utilisateurs sont courtes, plus le moteur de recherche risque de mal interpréter son sens (Xu & Croft, 2000).
- Ces outils peuvent parfois prendre du temps et ralentir le fonctionnement du moteur de recherche (Martinsky & Navrat, 2012).
- Ces outils génèrent un coût cognitif supplémentaire pour son utilisateur. En effet, pour traiter la requête suggérée par l'outil d'aide, l'utilisateur doit allouer des ressources à

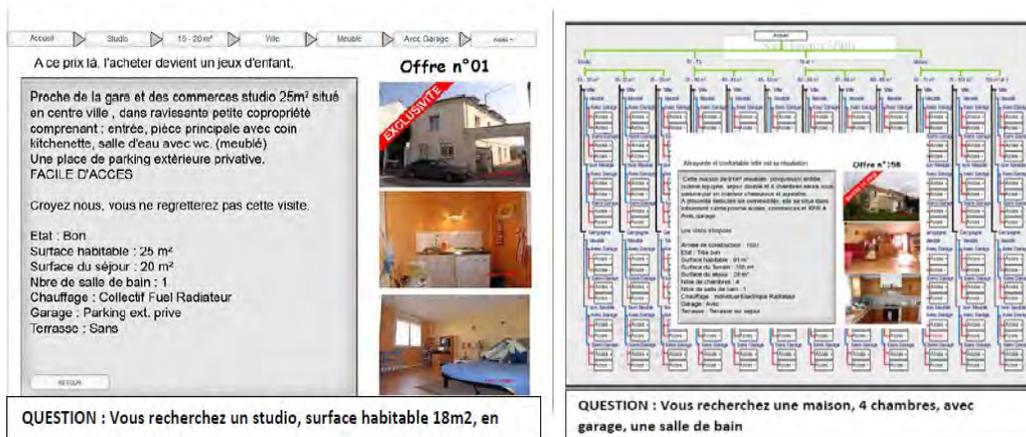
la compréhension de la requête et à l'évaluation du lien entre la requête suggérée par l'outil et celle formulée par l'utilisateur. L'évaluation de la proximité sémantique entre la requête de l'utilisateur et celle que le système d'aide à la reformulation lui suggère peut ainsi saturer les ressources disponibles en MDT et causer des difficultés, en particulier pour des utilisateurs novices (He, Erdelez, Wang, & Shyu, 2008) et/ou pour des utilisateurs âgés. De plus, la requête suggérée par ces systèmes d'aide peut ne pas être compatible avec le modèle mental du besoin informationnel élaboré par l'utilisateur. Cela pourrait entraîner une mauvaise utilisation de l'outil, une hausse de la frustration ressentie et nuire à l'activité (Jonassen & Erdelez, 2005 ; He *et al.*, 2008). Des travaux en informatique montrent en effet que lorsque le système de recherche modifie la requête d'un utilisateur ou suggère une requête qui interfère avec la représentation mentale que l'utilisateur a élaborée de son besoin informationnel, l'activité de RI est dégradée (Muramatsu & Pratt, 2001).

- Ces outils exigent en outre que les utilisateurs traitent des informations (*i.e.* les requêtes suggérées) qu'ils n'ont pas forcément demandées. Or les travaux en RI montrent que les âgés sont particulièrement sensibles aux distracteurs et aux éléments qui interfèrent avec la tâche principale du fait du déclin de l'inhibition (Connelly *et al.*, 1991). Ainsi, allouer des ressources au traitement des requêtes suggérées peut être une activité compétitive avec la tâche principale et peut augmenter la charge cognitive extrinsèque (Sweller, 1994) au détriment de l'activité de RI.
- Les travaux de recherche sur les outils d'aide à la reformulation de requêtes s'intéressent peu à l'utilisation effective de ces outils pendant l'activité de RI (*i.e.* comment et quand les utilisateurs se servent des requêtes suggérées). Niu et Kelly (2014) étudient l'évolution de l'utilisation des requêtes suggérées au fur et à mesure de l'activité de RI. Leurs résultats montrent que les utilisateurs se servent des outils d'aide à la reformulation en fin de RI (*i.e.* après avoir exploré par eux-mêmes leurs propres chemins de navigation). Des résultats contraires sont montrés dans les travaux de Smith et collaborateurs (2017) : les utilisateurs (jeunes étudiants) sont plus susceptibles d'utiliser les requêtes suggérées par le module d'aide en tout début de RI (lors de la première requête produite).

3.1.2 Dispositifs d'aide à la RI pour les adultes âgés par soutien aux interactions avec l'environnement de recherche

Une grande partie des travaux menés sur les dispositifs d'aide à la RI s'est intéressée aux dispositifs soutenant l'élaboration d'un modèle mental cohérent de l'hypertexte avec lequel les utilisateurs interagissent. Il s'agit alors de compenser les contraintes induites par la dématérialisation des documents électroniques qui imposent aux utilisateurs d'élaborer eux-mêmes un chemin de navigation le plus cohérent possible sans forcément disposer d'une structure linéaire (Amadiou, van Gog, Paas, Tricot, & Mariné, 2009 ; Dambreville, & Bétrancourt, 2001). Ces dispositifs prennent généralement la forme de cartes conceptuelles, de graphes, de plan ou tables des matières plutôt hiérarchisés et/ou sémantiquement cohérents (les cartes conceptuelles représentent les liens sémantiques entre les différentes pages web d'un hypertexte par exemple). Ces travaux de recherche sont intéressants car c'est une des rares pistes de recherche récemment développée pour soutenir l'activité de RI des adultes âgés. De récents travaux ont en effet investigué les effets d'un dispositif de prévisualisation des pages web sur les capacités des utilisateurs jeunes et âgés à planifier leur recherche (Djouani, Caro, Boucheix, Bugajska, & Bergerot, 2011 ; Djouani, Caro Dambreville, & Boucheix, 2014). L'objectif de la première expérimentation conduite était de réduire le coût en MDT du traitement et de la manipulation des informations sur internet en permettant aux utilisateurs de pré-visualiser les pages web d'intérêt en transparence sans avoir à naviguer entre plusieurs pages web (Djouani *et al.*, 2011). Dans cette étude, les auteurs demandaient à des participants (26 étudiants d'une moyenne d'âge de 20 ans et 10 adultes âgés d'une moyenne d'âge de 73 ans) de rechercher un appartement au sein d'un environnement hypertextuel expérimental présentant plusieurs logements. Le matériel consistait en un sommaire et une série de pages web structurées par critères de recherche d'appartement (ville, superficie, *etc*), dans des menus plus ou moins profonds. La tâche des participants était de trouver un appartement correspondant à plusieurs critères (jusqu'à 7 critères pour les tâches les plus complexes). Les utilisateurs recherchaient l'information cible soit de manière classique (groupe contrôle) en naviguant depuis le sommaire à travers les différents menus, soit grâce à une souris développée spécifiquement pour permettre les nouvelles interactions de prévisualisation (groupe expérimental). Cette souris expérimentale permettait, en pressant la paume de la main sur le corps et en effectuant un déplacement latéral de la souris sur un hyperlien, d'afficher une fenêtre escamotable présentant en transparence un aperçu du contenu de la page web. En relâchant la

pression de la main, la page web s'affichait comme si l'utilisateur avait classiquement cliqué sur le lien pour l'ouvrir.



Figures 3a et 3b : présentation de la modalité d'accès aux pages par prévisualisation en transparence du contenu d'une page web; tirées de Djouani et al. (2011)

Les résultats n'ont pas mis en évidence d'interaction entre l'âge et la modalité de recherche (pré-visualisation en transparence vs contrôle) sur le temps passé à rechercher l'information et sur le nombre de pages web consultées. Toutefois, dans la condition « recherche en modalité de pré-visualisation en transparence », les utilisateurs étaient plus rapides, visitaient plus de pages web et déclaraient ressentir moins de charge mentale (évaluée par le Nasa TLX) que ceux du groupe contrôle. Ces résultats intéressants présentent des limites (outre le petit nombre de participants âgés) pointées par les auteurs. En effet, dans cette expérience, le seul fait d'accéder à l'information via un sommaire général (ici un plan global de l'hypertexte) permettait à moindre coût d'élaborer une représentation mentale du contenu et de l'organisation de l'hypertexte (ce qui n'était pas le cas de la condition contrôle où les utilisateurs ne pouvaient élaborer de représentation mentale de l'hypertexte qu'en naviguant à l'intérieur). Pour approfondir leurs investigations et pallier ces limites, les auteurs ont répliqué cette étude auprès de 31 jeunes adultes ($M = 20$ ans) et 28 adultes âgés ($M = 70$ ans) en manipulant trois conditions de recherche (Djouani *et al.*, 2014) :

- Condition 1 : L'utilisateur naviguait dans l'hypertexte depuis un sommaire hiérarchique général présenté sur la gauche de l'écran. Il naviguait ensuite dans l'hypertexte en ouvrant un ou plusieurs hyperliens (navigation classique proche d'une situation écologique).
- Condition 2 : L'utilisateur naviguait dans l'hypertexte depuis un plan détaillé présentant la structure de l'hypertexte (*i.e.* arborescence hiérarchique de toutes les pages web). Il

pouvait afficher à la demande (*via* un escamot) le contenu d'un lien en transparence en enfonçant le corps de la souris lorsque le curseur de la souris était sur un lien.

- Condition 3 : L'utilisateur naviguait dans l'hypertexte depuis un plan détaillé présentant la structure de l'hypertexte (*i.e.* arborescence hiérarchique de toutes les pages web). Mais il ne pouvait pas pré-visualiser le contenu d'un lien. Pour naviguer, il devait cliquer sur un lien (qui ouvre cette page web) et retourner en arrière s'il souhaitait consulter une autre page web.

Les auteurs ont ajouté à leur protocole des mesures des mouvements oculaires pour analyser en détails le parcours d'exploration visuelle de l'hypertexte. Les résultats ont montré que les adultes âgés passaient plus de temps que les adultes jeunes sur les pages web (temps de fixations oculaires plus longs) mais n'ont pas montré d'interaction entre l'âge et la modalité de navigation dans l'hypertexte. Les résultats ont également montré un effet principal de l'âge sur la charge mentale ressentie (plus importante pour les âgés) ainsi qu'une interaction. Dans la modalité recherche avec un plan détaillé mais sans possibilité de prévisualiser le contenu des liens, les adultes âgés déclaraient ressentir plus de charge mentale que les adultes jeunes (alors qu'aucun effet de l'âge n'apparaissait dans les conditions d'interaction classique ou avec plan et prévisualisation des pages web).

A l'inverse de précédents résultats (Caro, 2007) ces observations ne présentent donc pas d'effet facilitateur d'un plan (seul) du site pour les adultes âgés. Le plan du site (cf. figures 3a et 3b ci-dessus) a peut-être été trop complexe pour les adultes âgés (trop grand nombre de pages par menu et menu large) ou ne ciblait peut-être pas assez spécifiquement les difficultés des adultes âgés.

3.1.3 Synthèse des principaux enjeux des dispositifs d'aide à la RI pour les adultes âgés

Les recherches présentées sur les dispositifs d'aide à la RI mettent à jour un défi majeur : tout dispositif d'aide à la RI, qui a pour objectif de soutenir l'activité, exige de l'utilisateur des traitements supplémentaires. En effet, tout nouveau dispositif exige à minima de l'utilisateur des ressources supplémentaires pour se familiariser correctement avec l'outil, mais également d'allouer des ressources cognitives à l'utilisation de ce dispositif (ressources qu'il aurait pu consacrer au traitement de la tâche principale). Le risque de ces dispositifs est donc d'être trop complexes (par exemple un trop grand nombre d'interactions à réaliser et/ou une interface peu utilisable) et/ou de générer une hausse de la charge cognitive en augmentant la charge cognitive extrinsèque (inutile) (Sweller, 1994). Cette hausse de la charge cognitive en mémoire de travail risquerait en effet de saturer les ressources cognitives disponibles des utilisateurs et de dégrader

l'activité et la performance de la RI. Ce risque est critique pour les âgés qui font déjà face à de nombreuses difficultés en recherchant de l'information. Il est donc crucial pour ces outils de limiter au maximum leur coût cognitif (en minimisant les exigences de traitement, en étant utilisable, avec peu de fonctionnalités et des interactions claires, abordables et faciles à comprendre) et de se focaliser sur les processus de la recherche qui posent le plus de problèmes pour les adultes âgés.

Suite à l'examen de la littérature sur les effets de l'âge en RI et les dispositifs d'aide à la RI existants, et puisque le rôle des connaissances en RI pour les âgés est au cœur de notre problématique, la première piste d'investigation que nous développerons dans ce travail de thèse concerne l'optimisation du rôle des connaissances antérieures dans la recherche d'informations pour soutenir les interactions avec le moteur de recherche (§3.2).

3.2 Nouveau dispositif d'aide supportant l'utilisation des connaissances antérieures et les changements dans l'accès au lexique en mémoire pour les adultes âgés

3.2.1 Revue des effets de l'âge en RI avec un moteur de recherche soutenant l'élaboration d'un outil d'aide par pré-activation des connaissances antérieures

Lorsque les utilisateurs recherchent de l'information avec un moteur de recherche, ils doivent tout d'abord élaborer une représentation mentale cohérente de leur but de recherche et l'articuler en une requête. Cette requête initiale peut contenir des mots-clés issus des connaissances antérieures des utilisateurs ou des informations fournies par le contexte de la recherche. Tout au long de l'activité de RI, les utilisateurs vont mener une série d'opérations cognitives en parallèle telles que : maintenir actif en mémoire de travail ce but de recherche, évaluer la pertinence des résultats du moteur de recherche au regard de la représentation mentale de leur but actuel (*i.e.* la requête en cours, qui peut être un sous-but de recherche plus ou moins spécifique) et de leur but général de recherche (*i.e.* le but général de la recherche d'informations). Comme précédemment explicités dans la partie 3.1, toutes ces opérations combinées causent des difficultés pour les adultes âgés qui sont moins flexibles que les jeunes (Eppinger *et al.*, 2007 ; Sharit *et al.*, 2008), traitent les opérations plus lentement et ont plus de mal à conserver actif en mémoire le résultat des premières opérations mentales réalisées (Salthouse, 1996). En outre, les travaux sur l'accès au lexique ont également montré que les adultes âgés ont plus de difficultés à récupérer en mémoire de travail les représentations

syllabiques des concepts qu'ils ont en mémoire sémantique (Dorot & Mathey, 2013). En conséquence, les adultes âgés reformulent moins leurs requêtes, produisent moins de nouveaux mots-clés et passent plus de temps sur les pages du moteur de recherche que les adultes jeunes (Dommes *et al.*, 2011). Par ailleurs, les résultats empiriques rapportés dans les précédents chapitres de ce document ont montré que les connaissances antérieures sur le domaine de la recherche peuvent contribuer à améliorer l'activité des adultes âgés en soutenant l'élaboration d'un modèle mental plus cohérent qui faciliterait les processus de compréhension, d'intégration, d'évaluation et de sélection des informations. Toutefois, les effets bénéfiques des connaissances sur la RI n'apparaissent pas toujours.

Les interactions avec le moteur de recherche étant particulièrement difficiles pour les adultes âgés, le travail de recherche mené dans cette thèse s'est attaché à élaborer un dispositif de soutien aux activités de formulation de requêtes et d'évaluation des pages web maximisant l'impact des connaissances antérieures. L'examen de la littérature rapporté précédemment a conduit à plusieurs réflexions :

- Les outils de suggestion de requêtes (comme aide à la reformulation) semblent être trop complexes pour les adultes âgés et peu adaptés en l'état. En effet, les requêtes suggérées pourraient être difficiles à traiter pour les adultes âgés. En risquant, d'être trop éloignées du modèle mental en cours qu'ils ont élaboré de leur recherche, ces requêtes suggérées pourraient être beaucoup trop exigeantes en ressources cognitives. En conséquence, traiter ces suggestions pourrait avoir un double effet néfaste. D'une part, en alourdissant l'impact du déclin de la flexibilité cognitive et d'autre part en accentuant l'interférence provoquée par la requête suggérée et l'obligation d'alterner entre le modèle mental de la recherche en cours et le nouveau modèle mental à élaborer pour faire le lien entre la requête suggérée et sa propre requête. Cet argument pourrait d'ailleurs être soutenu par certains résultats empiriques montrant que les utilisateurs préfèrent les systèmes d'aide à la reformulation proposant des requêtes entières (« prêtes à l'emploi ») plutôt que de nouveaux termes (Kelly *et al.* 2009). En effet, ce résultat tend à montrer qu'il peut être difficile pour un utilisateur de comprendre des mots-clés suggérés par l'outil et de bien les intégrer à son modèle mental pour reformuler une requête pertinente. Les utilisateurs auraient souvent une idée un peu floue de comment articuler les concepts abordés par la recherche en une requête pertinente (Jansen *et al.*, 2009).
- Elaborer un modèle mental cohérent de l'espace-problème de la recherche est la première étape impérative pour soutenir l'évaluation des informations sur les pages de

résultats du moteur de recherche et l'intégration de nouvelles informations prises au fil de l'activité. Or, les effets du vieillissement, notamment les mécanismes de temps limité et de simultanéité décrits par Salthouse (1996), pèsent sur cette étape de l'activité et peuvent dégrader le modèle mental élaboré ou son bon maintien en MDT.

- Les difficultés de récupération des représentations syllabiques des concepts posent un réel problème à l'optimisation de l'utilisation des connaissances antérieures. Les adultes âgés pourraient bénéficier de leurs connaissances antérieures sur le domaine pour évaluer la pertinence des informations mais auraient plus de difficultés à mobiliser leurs connaissances pour formuler de nouveaux mots-clés.

Ces réflexions écartent l'idée de proposer un dispositif d'aide à la RI pour les adultes âgés qui serait basé sur des ressources externes à l'utilisateur (*i.e.* un algorithme de moteur de recherche proposant des mots-clés sémantiquement pertinents choisis par un expert du domaine par exemple). Pour être adapté aux utilisateurs âgés, le dispositif doit impérativement limiter le coût de l'alternance entre plusieurs modèles mentaux, les interférences avec des éléments inattendus distrayeurs et plus généralement ne pas alourdir les traitements à exécuter pendant l'activité. Ces recommandations, élaborées à la suite de la revue de la littérature, nous ont amenés à imaginer un dispositif d'aide à la recherche d'informations basé sur la pré-activation des connaissances antérieures en amont de la RI (cf. chapitre 9, p. 164).

3.2.2 Présentations des effets supposés de l'outil d'aide à la RI par pré-activation des connaissances antérieures chez les utilisateurs âgés

L'objectif de la pré-activation est de renforcer les effets des connaissances antérieures sur le domaine en permettant aux adultes âgés d'avoir un temps dédié à la récupération de concepts utiles en mémoire (sans avoir à réaliser d'autres tâches en parallèle pendant l'activité de RI). Dans ce but, préactiver les connaissances antérieures sur le domaine permettrait de soutenir l'élaboration d'un modèle mental plus cohérent et de renforcer les liens sémantiques entre concepts en mémoire. Pour reformuler une requête en produisant de nouveaux mots clés (grâce à des inférences *via* ses connaissances antérieures ou grâce aux informations trouvées sur internet), les utilisateurs doivent prendre une décision sur la proximité sémantique entre le(s) concept(s) cible(s) (*i.e.* la représentation du but de recherche telle qu'elle est articulée *via* une requête) et le(s) concept(s) en cours de traitement (*i.e.* informations lues sur internet ou nouveaux concepts activés grâce aux connaissances antérieures). Comme précédemment présenté dans la partie 3.3, cette décision nécessite notamment d'accéder à ses connaissances

antérieures en mémoire (et donc d'activer les concepts pertinents et d'inhiber les concepts non pertinents). La récupération des connaissances antérieures présente une double difficulté pour les adultes âgés. D'une part, allouer des ressources cognitives pour la récupération des connaissances antérieures en mémoire est très coûteuse, en particulier lorsque cela est effectué en parallèle de la RI (*i.e.* en parallèle de toutes les autres activités effectuées pendant la recherche et qui sont exigeantes en ressources). Ce postulat est notamment supporté par les travaux de Salthouse (1996) sur les effets des mécanismes de temps limité et de simultanéité en jeu dans le déclin de la vitesse de traitement. D'autre part, plusieurs processus cognitifs en jeu dans la récupération des connaissances antérieures sont impactés négativement par le vieillissement. En effet, l'accès au lexique est influencé par :

- L'évolution de la diffusion de l'activation au cours du vieillissement. La diffusion de l'activation se propage correctement dans les réseaux de concepts et permet une excellente récupération des représentations sémantiques, mais pas des représentations syllabiques où elle tend à décliner (Collins & Loftus, 1975; Dorot & Mathey, 2013).
- Le déclin de l'inhibition lié à l'âge: l'accès au lexique procède par l'inhibition de concepts sémantiquement non pertinents qui peuvent entrer en compétition avec les concepts d'intérêt (La Heij, 1988 ; Lev-Ari & Keysar, 2014). Or, avec le déclin de l'inhibition lié à l'âge, ce mécanisme peut être dégradé. Ainsi, des représentations lexicales non pertinentes pourraient être activées (ou maintenues actives) avec les concepts cibles. Cela pourrait également expliquer pourquoi les adultes âgés persévèrent à utiliser davantage de mots-clés issus des consignes des problèmes de recherche plutôt que d'en inférer de nouveaux (Dommes *et al.*, 2011).
- Le rappel de l'association sémantique entre concepts peut également se dégrader avec l'âge (Naveh-Benjamin, 2000; Gilchrist, Cowan, & Naveh-Benjamin, 2008). Ce déclin peut impacter la formulation de requêtes ainsi que l'analyse des pages web. En effet, il peut être plus difficile pour les adultes plus âgés de reformuler des mots-clés en inférant de nouveaux mots-clés sémantiquement liés à ceux qu'ils ont utilisés précédemment. De plus, parce que la force d'association sémantique entre concepts impacte les processus d'évaluation des pages web (*i.e.* analyse du contenu sémantique des liens par comparaison avec le contenu de la représentation mentale du but) et de sélection des liens (Fu & Pirolli, 2007), le déclin du rappel de l'association entre concepts peut dégrader et ralentir la prise de décision de sélectionner un lien à visiter depuis les pages

du moteur de recherche (et ainsi augmenter le temps passé sur les pages du moteur de recherche).

Le dispositif d'aide à la RI (que nous proposons) basé sur la pré-activation des connaissances antérieures sur le domaine ambitionne de pallier toutes ces difficultés pour soutenir les activités de reformulation et d'évaluation des pages de résultats du moteur de recherche. Le concept de ce dispositif d'aide par pré-activation des connaissances antérieures est simple. Il s'agit pour les utilisateurs de produire, à partir de leurs connaissances antérieures, des mots-clés (*i.e.* articulation lexicale de concepts) sémantiquement proches des concepts abordés dans le problème de RI avant d'aller rechercher l'information sur Internet. Cette phase de pré-activation offrirait ainsi aux utilisateurs un temps spécifiquement dédié avant la RI pour élaborer un modèle mental plus cohérent. L'outil d'aide par pré-activation permettrait ainsi d'éviter de saturer les ressources disponibles en MDT pendant la RI. En pré-activant les connaissances antérieures liées à l'espace-problème du besoin informationnel des utilisateurs, ce dispositif d'aide permettrait de soutenir la reformulation (en favorisant la production de nouveaux mots-clés et des stratégies de reformulation plus riches) et l'évaluation des résultats du moteur de recherche (en améliorant l'intégration des nouvelles informations et les mécanismes d'appariement entre les représentations mentales du but et des nouvelles informations). Ce dispositif d'aide cible une série de processus cognitifs critiques impactés par l'âge qui sont centraux pour la RI :

- Pré-activer les concepts permet de renforcer les liens entre ceux-ci dans les réseaux sémantiques impliqués. Les poids des liens entre concepts devraient être plus forts et compenser le déclin de la vitesse de diffusion de l'activation avec l'âge (Collins & Loftus, 1975). En outre, le problème informationnel (*i.e.* consigne) procure aux utilisateurs un contexte riche (finalisé par le but de la recherche) qui contribue à renforcer les associations sémantiques entre concepts (Naveh-Benjamin & Craik, 1995 ; Bayen, Phelps, & Spaniol, 2000 ; Castel & Craik, 2003).
- En produisant eux-mêmes des mots-clés *via* l'outil de pré-activation, les utilisateurs devraient bénéficier de l'effet de génération (Jacoby, 1978) pour consolider le renforcement des liens entre concepts dans les réseaux sémantiques. L'effet de génération correspond au mécanisme suivant : lorsqu'un individu génère lui-même une partie ou la totalité d'un stimulus (*i.e.* dans notre cas des mots clés), ceux-ci sont mieux retenus en mémoire et mieux rappelés que si l'individu l'avait lu ou entendu (Jacoby, 1978). Bien que l'effet de génération soit moins fort chez les adultes âgés (Taconnat,

Froger, Sacher, & Isingrini, 2008 ; Taconnat & Isingrini, 2004), le dispositif de pré-activation est finalisé par rapport à la tâche de recherche d'informations. Ainsi, les mots-clés générés par les utilisateurs sont enrichis par le contexte sémantique du problème informationnel. Les liens entre concepts cibles et concepts générés sont plus forts que s'ils avaient été basés par des caractéristiques de surface (par exemple générer un nouveau mot-clé commençant par la même lettre que le concept cible). Des travaux ont en effet montré que lorsque l'association entre concept cible et concept généré est sémantiquement forte, le déclin de l'effet de génération causé par l'âge disparaît (Hirshman & Bjork 1988 ; Jonhson, Schmitt, & Pietrukowicz, 1989 ; Naveh-Benjamin, 2000 ; Naveh-Benjamin, Guez, Kilb & Reedy, 2004).

- Les associations sémantiquement fortes entre concepts cibles (issus du problème informationnel) et concepts générés (issus des connaissances) devraient permettre de mieux récupérer *a posteriori* les concepts générés pendant la phase de RI (Naveh-Benjamin, 2000 ; Naveh-Benjamin *et al.*, 2004) et ainsi soutenir la reformulation des requêtes par la production de nouveaux mots-clés sémantiquement pertinents.

En agissant sur ces mécanismes, le dispositif d'aide par pré-activation devrait permettre aux utilisateurs de produire des mots-clés utiles pour la phase de recherche sur Internet et soutenir l'évaluation des résultats du moteur de recherche. Ce dispositif devrait ainsi compenser le déclin de la récupération des représentations syllabiques des concepts pour permettre aux utilisateurs âgés de faire preuve de plus de flexibilité et d'optimiser leurs connaissances antérieures en reformulant davantage et en intégrant de manière plus cohérente les informations rencontrées sur Internet. La figure 4 ci-dessous présente les effets hypothétiques attendus de ce dispositif.

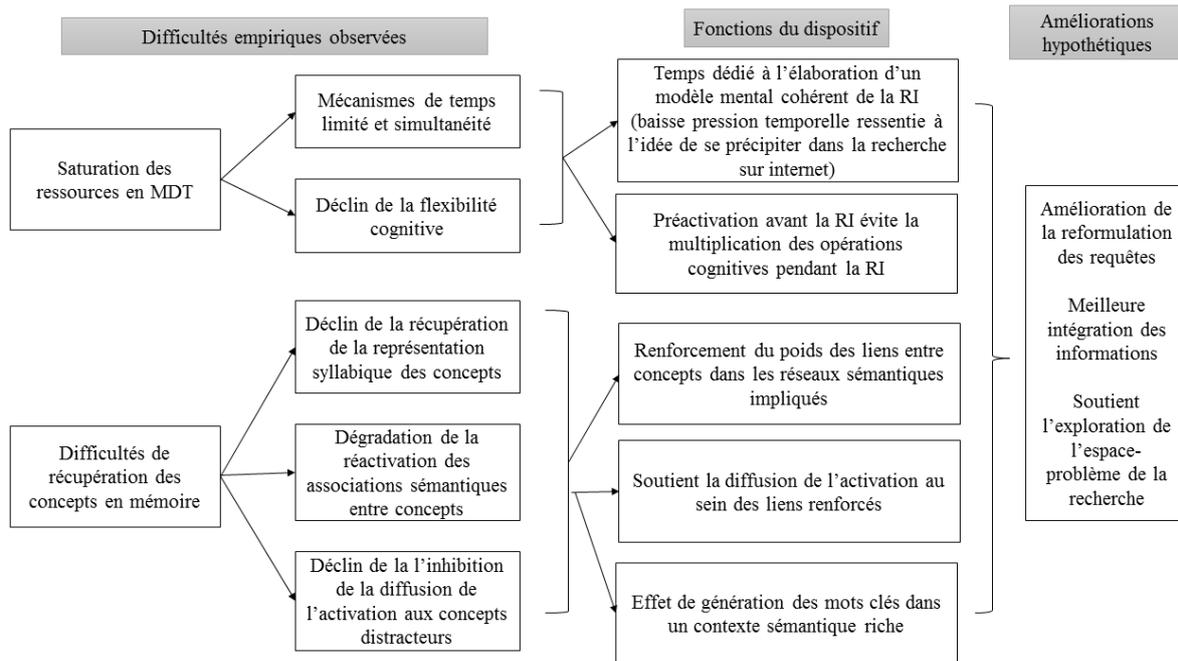


Figure 4 : schéma des effets hypothétiques attendus du dispositif de pré-activation sur la compensation des effets de l'âge dans l'optimisation des connaissances antérieures en RI

Le premier dispositif présenté dans ce chapitre se focalise sur l'optimisation de l'effet des connaissances antérieures en compensant les difficultés de flexibilité et d'accès au lexique des âgés. L'examen de la littérature sur les effets du vieillissement cognitif dans la recherche d'information m'a aussi permis d'élaborer une deuxième piste d'investigation pour élaborer un dispositif d'aide à la RI adapté aux âgés. Ce deuxième dispositif se focalise sur une aide au maintien du but de recherche en mémoire de travail et la compensation du déclin des processus de rafraichissement.

3.3 Nouveau dispositif d'aide à la RI par maintien du but de recherche en mémoire de travail

3.3.1 Revue des effets de l'âge en RI avec un moteur de recherche soutenant l'élaboration d'un outil d'aide par aide au maintien du but de recherche en MDT

Comme exposé dans le chapitre 3.1.2, les investigations expérimentales conduites sur les outils d'aide à l'élaboration d'une représentation mentale cohérente du but et à l'accès à l'environnement de recherche par pré-visualisation ne semble pas répondre à certains besoins des âgés concernant les interactions avec un moteur de recherche (Djouani *et al.*, 2011). En

effet, outre la difficulté des adultes âgés à élaborer une représentation mentale cohérente de l'hypertexte avec lequel ils interagissent (résultats présentés entre autres par Aula, 2005 ; Wagner *et al.*, 2010), ces résultats semblent montrer que c'est le passage d'une page web à une autre, combiné aux exigences en ressources du maintien des informations en MDT (but de recherche et traitements réalisés sur les différentes pages web précédemment vues par les âgés) qui pose le plus de difficultés aux adultes âgés. Aula (2003) pointe par exemple qu'il est plus difficile pour les adultes âgés que pour les adultes jeunes de maintenir actives en MDT des requêtes produites plus tôt dans l'activité (après avoir exploré plusieurs pages web ou reformuler ses requêtes). Ce résultat montre bien une des conséquences du déclin du rafraîchissement cognitif lié au vieillissement. Certains concepts pertinents activés en mémoire dans les phases initiales de l'activité, les requêtes précédemment produites ou encore le fruit des opérations cognitives réalisées plus précocement peuvent disparaître et dégrader l'activité de RI. Ces phénomènes pourraient être liés au déclin de la vitesse de traitement par les mécanismes de temps limité et de simultanéité (Salthouse, 1996) ainsi qu'au déclin de la mise à jour en MDT (Miyake *et al.*, 2000). Il serait alors particulièrement coûteux pour les adultes âgés de récupérer ces informations sans indices contextuels pendant qu'ils réalisent d'autres traitements en parallèle pour rechercher de l'information. Ainsi, il apparaît qu'un dispositif d'aide à la RI efficace pour les adultes âgés devrait cibler le maintien du but de recherche en mémoire de travail et/ou le maintien en mémoire de travail des résultats des différents traitements réalisés (par exemple, les requêtes produites).

Suite à ces recommandations, la présente thèse investiguera les effets d'une interface du moteur de recherche contenant un module affichant en permanence la requête produite par l'utilisateur (cf. chapitre 10, p.183).

3.3.2 Présentations des effets supposés de l'outil d'aide à la RI par aide au maintien du but de recherche en MDT

Le schéma 5 ci-dessous synthétise les résultats empiriques soutenant l'élaboration de cet outil et comment il pourrait aider les adultes âgés à rechercher de l'information *via* un moteur de recherche.

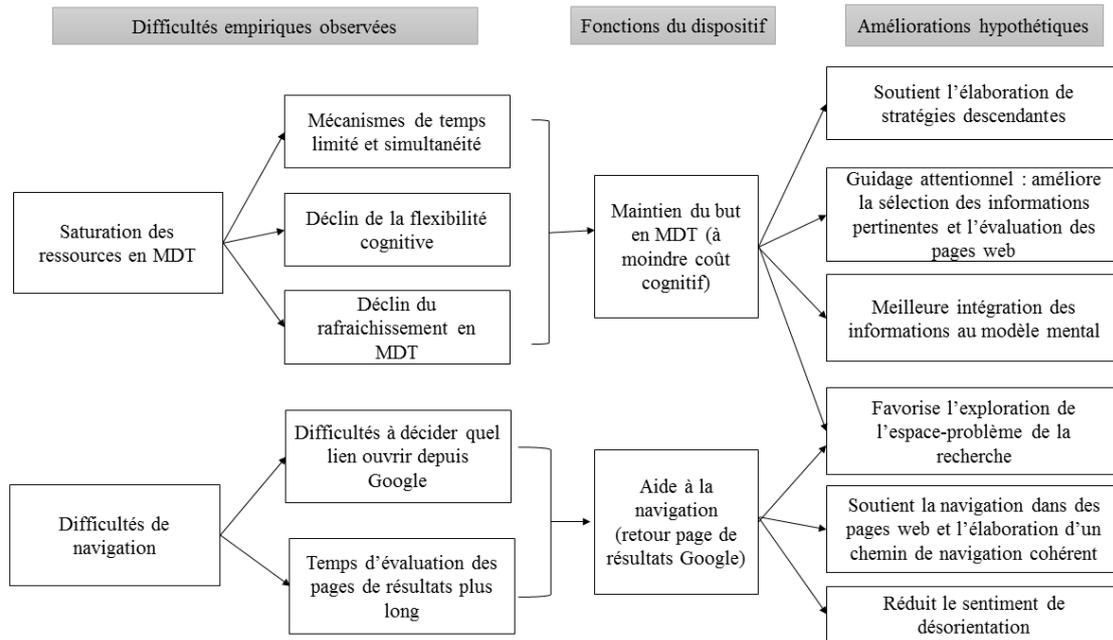


Figure 5 : schéma des effets hypothétiques attendus du dispositif de maintien du but en MDT sur la compensation des effets de l'âge en RI

Ce travail de recherche postule ainsi que la requête produite correspond au sous-but de recherche que l'utilisateur a élaboré. Il s'agit donc d'aider l'utilisateur à maintenir actif en MDT le sous-espace de l'espace problème de la recherche qu'il est en train d'investiguer, et de l'aider à maintenir son but de recherche actif à moindre coût. Ce dispositif d'aide à la RI devrait compenser le déclin de la flexibilité cognitive, du rafraîchissement en MDT et les conséquences des mécanismes de temps limité et de simultanété pour améliorer l'activité des utilisateurs âgés (Salthouse, 1996 ; Sharit *et al.*, 2008). Les adultes âgés pourraient ainsi à moindre coût garder actif en MDT le résultat des opérations cognitives précédentes qui ont abouti à l'élaboration d'un nouveau sous-but de recherche sous la forme de la requête produite. La fonction d'aide au maintien du but de recherche en MDT devrait, en outre, favoriser l'élaboration de stratégies de recherche descendantes, guidées par les connaissances antérieures et les habiletés cristallisées des adultes âgés (comme les habiletés inférentielles). La fonction d'aide au maintien du but de recherche permettrait de guider l'allocation des ressources attentionnelles vers les éléments pertinents liés au but de recherche et de favoriser l'intégration des informations découvertes sur les pages web au modèle mental élaboré.

3.4 Synthèse du chapitre 3 sur les outils à la RI

Le chapitre 3 s'est attaché à dresser un bilan des dispositifs d'aide à la RI existants au regard de leurs contributions empiriques et de leur compatibilité avec des utilisateurs âgés. Le travail de recherche mené dans cette thèse s'intéressant plus spécifiquement aux interactions avec le moteur de recherche, pour lesquelles les adultes âgés ont plus de difficultés que les adultes jeunes, les dispositifs d'aide à la RI que nous souhaitons investiguer ont pour but de soutenir les activités de production de requêtes et d'évaluation des résultats du moteur de recherche. Une rapide revue de la littérature sur le domaine a montré que l'enjeu principal d'un outil d'aide à la RI est de ne pas alourdir les traitements à effectuer en parallèle de l'activité afin d'éviter une saturation des ressources en MDT qui ne ferait qu'accentuer les difficultés des utilisateurs âgés. Les outils d'aide à la RI avec un moteur de recherche qui seront examinés ont pour objectif :

- De supporter l'élaboration de stratégies de recherche pertinentes.
- De favoriser la formulation et reformulation de requêtes pertinentes.
- D'aider à l'évaluation des résultats du moteur de recherche et à la sélection de pages web pertinentes depuis le moteur de recherche.
- De permettre aux adultes âgés de mieux gérer l'évolution de leur but de recherche, en maintenant actif en MDT la représentation mentale qu'ils en ont élaborée, en les aidant à intégrer de nouvelles informations et en lui permettant de modifier à moindre coût cognitif la représentation mentale de leur but de recherche.

Deux pistes de recherches ont été présentées : l'une visant à optimiser les effets bénéfiques des connaissances antérieures *via* un outil d'aide à la pré-activation des connaissances antérieures (étude 3), et l'autre *via* un module d'aide au maintien du but en MDT et à la navigation qui affiche la requête en cours de l'utilisateur en permanence (étude 4). En compensant les difficultés, liées notamment au déclin de la flexibilité cognitive et au rafraîchissement en MDT, ces deux dispositifs devraient, permettre aux adultes âgés d'explorer davantage d'informations, en visitant plus de pages web ou en explorant plus en profondeur de façon pertinente les pages web ouvertes. A terme, en soutenant l'exploration, ces outils devraient améliorer la qualité des décisions prises lors de l'élaboration des chemins de navigation et ainsi soutenir les activités de planification de la recherche qui sont dégradées par le vieillissement (Chevalier *et al.*, 2015 ; Mata & Nunes, 2010).

Chapitre 4. Problématique et hypothèses générales

4.1 Rappel des arguments empiriques présentés

La revue de la littérature conduite dans les précédents chapitres de cette thèse a exposé les grandes lignes des travaux réalisés sur les effets de l'âge en RI avec un moteur de recherche. Cette activité complexe, qui met en œuvre de nombreux processus cognitifs de haut niveau, exige des utilisateurs d'élaborer une représentation mentale cohérente de leur but de recherche puis d'effectuer plusieurs traitements parallèles pour produire des requêtes, analyser les pages de résultats du moteur de recherche, sélectionner des sites web à ouvrir et en traiter le contenu (Sharit *et al.*, 2008). Les résultats empiriques sur les effets de l'âge ont mis à jour plusieurs difficultés pour les utilisateurs âgés lorsqu'ils interagissent avec un moteur de recherche dont :

- La formulation des requêtes

Les utilisateurs âgés rencontrent plus de difficultés que les jeunes à produire des requêtes utiles et pertinentes pour parvenir à l'information cible, à produire de nouveaux mots-clés, inhiber les mots-clés utilisés dans les précédentes requêtes, les mots-clés issus des questions de recherche à résoudre, et à reformuler leurs requêtes de manière pertinente (Chevalier *et al.*, 2015 ; Dommes *et al.*, 2011 ; van Deursen & van Dijk, 2009).

- L'analyse des pages de résultats du moteur de recherche et la sélection de sites web

Les utilisateurs âgés passent plus de temps sur le moteur de recherche (Dommes *et al.*, 2011), ont davantage de difficultés que les jeunes à élaborer un modèle mental cohérent de l'environnement avec lequel ils interagissent (Wagner *et al.*, 2014), à sélectionner les pages web à ouvrir depuis un moteur de recherche (Aula, 2005 ; Dommes *et al.*, 2011) et à adapter leurs stratégies de recherche pour faire face aux exigences de la tâche (Chin & Fu, 2010 ; Stronge *et al.*, 2006).

Dans la plupart de ces études, les effets de l'âge sont investigués comme un déclin général des performances en RI ou de l'efficacité des utilisateurs âgés (temps de recherche plus longs) (Aula *et al.*, 2005 ; Chevalier *et al.*, 2015 ; Chin *et al.*, 2009 ; Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011). Les modèles cognitifs du vieillissement ainsi que les travaux empiriques en RI semblent montrer que les effets observés de l'âge seraient dus à plusieurs phénomènes incluant :

- Le déclin de la vitesse de traitement (Salthouse, 1996), qui par les mécanismes de temps limité et de simultanéité, dégrade à la fois le temps disponible pour effectuer les

opérations mentales les plus tardives dans l'activité ainsi que la qualité des décisions prises (parce que le fruit des opérations mentales réalisées précocement disparaît au fur et à mesure de l'activité).

- Le déclin des fonctions exécutives (Eppinger *et al.*, 2007 ; Miyake *et al.*, 2000 ; Sharit *et al.*, 2008), qui par le déclin de la flexibilité cognitive, de l'inhibition et du rafraichissement en mémoire de travail, impacte les activités de formulation de requêtes, d'évaluation des pages de résultats du moteur de recherche et de l'évolution de la représentation mentale du but de recherche en MDT.
- L'accès au lexique, qui, par la baisse de la récupération en mémoire des représentations syllabiques des concepts (Dorot & Mathey, 2013), pourrait être impliquée dans les difficultés de reformulation chez les utilisateurs plus âgés.

Outre les effets de l'âge, la présente thèse investigate également le rôle des connaissances antérieures relatives au domaine pour lequel les utilisateurs recherchent de l'information (*i.e.* connaissances dites thématiques). En effet, les connaissances antérieures sur le domaine figurent parmi les ressources cognitives à disposition des utilisateurs qui peuvent soutenir l'activité de RI. Elles contribuent à améliorer la performance, la pertinence des stratégies de recherche élaborées ainsi que les requêtes produites (Höslcher & Strube, 2000 ; Monchaux *et al.*, 2015 ; Sharit *et al.*, 2008 ; Tabatai & Shore, 2005 ; Wildemuth, 2004). Plus un utilisateur a de connaissances antérieures dans le domaine pour lequel il recherche de l'information, plus il produit de mots clés pertinents (Vakkari, 2001) et reformule ses requêtes avec de nouveaux mots-clés (Hembrooke *et al.*, 2005). Les effets des connaissances sur la qualité des requêtes produites et les stratégies de reformulation déployées par les utilisateurs peuvent s'avérer cruciaux en RI, notamment parce qu'ils vont permettre au moteur de recherche de fournir un plus grand nombre de résultats (*i.e.* plus de sites web différents à visiter depuis la page de résultats du moteur de recherche) qui seront plus pertinents pour parvenir à l'information cible. Ainsi, les connaissances antérieures sur le domaine de la recherche pourraient s'avérer utiles pour les âgés en améliorant leur efficacité et en soutenant l'activité de RI (Chevalier *et al.*, 2011). Les connaissances sur le domaine pourraient représenter une ressource cognitive utile pour permettre aux âgés de compenser, en partie, les difficultés dues au déclin des habiletés fluides comme la vitesse de traitement, la flexibilité cognitive et le rafraichissement en mémoire de travail. Celles-ci pourraient ainsi améliorer la production de requêtes et l'analyse des pages de résultats du moteur de recherche grâce à des stratégies plutôt descendantes (Chin *et al.*, 2010). Conformément aux travaux empiriques sur l'impact des habiletés de RI (*i.e.*

connaissances déclaratives et procédurales sur la tâche de recherche elle-même) sur les effets bénéfiques des connaissances antérieures sur le domaine (Hölscher & Strube, 2005 ; Sutcliffe, Ennis, & Watkinson, 2000, van Deursen *et al.*, 2009), la présente thèse s'intéresse (de manière secondaire) au rôle des habiletés de RI dans les interactions entre l'âge et les connaissances sur l'activité de RI.

Enfin, l'interaction entre le déclin de certaines habiletés cognitives lié à l'âge et les ressources cognitives apportées par les connaissances antérieures sur le domaine de la recherche sera étudiée dans des situations de RI plus ou moins exigeantes. Comme présenté dans le chapitre (1.3), les contraintes plus ou moins fortes imposées aux utilisateurs par le niveau de complexité des tâches de RI (par exemple, la quantité d'informations à traiter ou la quantité d'informations utiles fournie par le contexte de la recherche) impactent grandement la façon dont les utilisateurs jeunes et âgés interagissent avec un moteur de recherche (Chin *et al.*, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Salthouse *et al.*, 2008). Ainsi, la complexité des tâches de recherche (les contraintes et exigences qu'elle engendre) est investiguée comme facteur expérimental et non conceptuel dans ce travail de thèse. Il s'agit en effet d'étudier l'interaction entre l'âge et les connaissances dans des situations de recherche variées plutôt que d'étudier plus finement les effets de la complexité des tâches en tant que telle.

4.2 Objectifs principaux de la thèse

Le présent travail de thèse puise ainsi dans les domaines de la psychologie cognitive et de la psychologie ergonomique, dont les champs d'étude recouvrent l'analyse des processus mentaux de l'humain dans des situations de travail (Sperandio, 1980), et plus largement dans les situations complexes de la vie quotidienne qu'il rencontre (Darses & Hoc, 2004). Ainsi, notre objectif est de comprendre les effets de l'âge sur cette « activité mentale finalisée » et de répondre à la question : comment les utilisateurs jeunes et plus âgés se comportent avec un moteur de recherche lorsqu'ils recherchent de l'information (*i.e.* quelles similitudes et différences peut-on relever dans les stratégies qu'ils mettent en place). Il s'agit donc d'analyser les interactions entre l'humain et l'environnement cognitif qui l'entoure pour réaliser des tâches (*i.e.* dans notre cas le moteur de recherche utilisé pour rechercher de l'information). L'objet de recherche de ce travail de thèse (l'activité de RI) et sa finalité (développement de nos connaissances sur les effets de l'âge dans les interactions avec un moteur de recherche en RI et évaluation de dispositifs d'aide à l'activité) nous conduisent à mener quatre recherches en laboratoire. Bien que cette méthodologie conduise à analyser une activité de RI moins

contextualisée, elle nous permettra de contrôler plus finement les stratégies de recherche des utilisateurs jeunes et âgés dans des tâches de RI plus ou moins exigeantes sur le plan cognitif. Cette approche ambitieuse ainsi, d'une part, d'améliorer nos connaissances sur les processus cognitifs explicatifs de l'impact du vieillissement dans la RI (et notamment d'enrichir les modèles computationnels de la RI présentés dans le chapitre 1.2) et, d'autre part, à plus long terme, d'améliorer l'accessibilité et l'utilisabilité des moteurs de recherche pour les utilisateurs plus âgés. La double visée fondamentale et appliquée de ce travail de thèse, inscrit plus largement dans le projet ANR Mission (2014-2018), comporte ainsi à la fois des retombées appliquées et sociétales pour répondre à l'enjeu fort de l'accès du web pour les séniors. Sur le plan fondamental, l'objectif de la thèse menée est donc de comprendre les interactions entre l'évolution de certaines habiletés cognitives liée à l'âge et les ressources cognitives apportées par les connaissances antérieures impactent le comportement de recherche des utilisateurs jeunes et âgés dans des tâches plus ou moins exigeantes.

Sur le plan appliqué, l'objectif est d'étudier de nouveaux dispositifs d'aide à la RI adaptés aux utilisateurs plus âgés. En effet, les outils d'aide existants (présentés dans le chapitre 3), qui consistent généralement en des dispositifs d'aide à la reformulation de requêtes (Annick, 2003 ; Fonseca *et al.*, 2005 ; Jonassen & Erdelez, 2005 ; Kelly *et al.*, 2009 ; Smith *et al.*, 2017) ou d'aide à l'élaboration d'une représentation mentale cohérente de l'environnement de recherche et à la navigation (Djouani *et al.*, 2011) ne sont pas toujours bénéfiques et peuvent même représenter une source de charge cognitive extrinsèque supplémentaire pour des utilisateurs âgés. Deux pistes seront explorées dans ce travail de thèse pour développer des outils d'aide à la RI qui répondraient aux besoins des utilisateurs âgés. Le premier consiste en un outil de pré-activation des connaissances antérieures maximisant le rôle des connaissances antérieures. L'objectif est d'essayer de compenser le déclin de la flexibilité cognitive et de l'accès aux représentations lexicales des concepts (étude 3). Le second dispositif d'aide consiste en un module de support au maintien du but de recherche en MDT et d'aide à la navigation qui afficherait la requête de l'utilisateur en permanence (étude 4). L'objectif de cet outil d'aide est de faciliter le maintien du but de recherche en MDT pour soutenir l'exploration des pages web, l'intégration de nouvelles informations et améliorer les chemins de navigations élaborés depuis les pages du moteur de recherche.

4.3 Principales hypothèses de la thèse sur les effets de l'âge et des connaissances sur l'activité de recherche d'informations en fonction de la complexité des tâches de recherche.

Le travail de recherche réalisé investigate l'impact de l'âge (au travers du déclin de certaines habiletés cognitives comme la flexibilité cognitive) et des connaissances antérieures sur le domaine dans des activités de RI aux exigences variables. Les hypothèses postulées se basent principalement sur le modèle de la RI de Sharit et ses collaborateurs (2008) qui décrit le rôle des habiletés cognitives fluides et des connaissances sur les activités de formulation et de navigation. La figure 6 ci-dessous représente les principales hypothèses formulées sur les effets potentiels du déclin des habiletés cognitives liées à l'âge (vitesse de traitement, flexibilité cognitive et rafraichissement en MDT) et des ressources apportées par les connaissances antérieures sur les activités impliquées en RI.

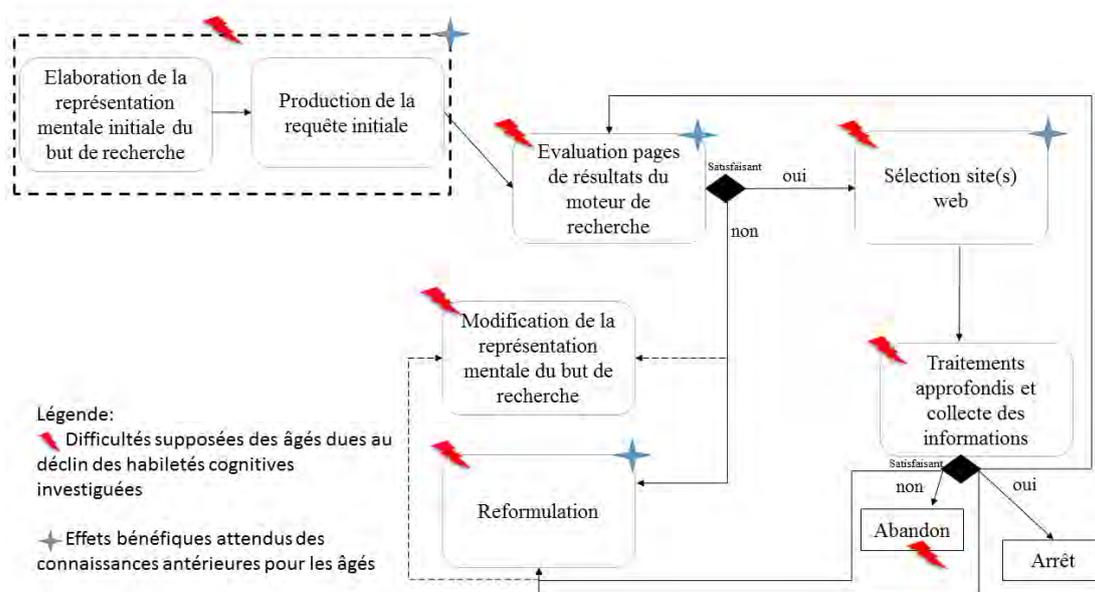


Figure 6: synthèse des effets attendus du déclin des habiletés cognitives lié à l'âge et des connaissances antérieures sur les activités impliquées en recherche d'informations (modèle détaillé adapté de Sharit *et al.*, 2008)

4.3.1 Hypothèses liées aux activités de formulation et reformulation de requêtes

Hypothèses sur les effets de l'âge sur la formulation et la reformulation de requêtes

Le déclin de la flexibilité cognitive, de la vitesse de traitement ou du rafraichissement en MDT (Eppinger *et al.*, 2007 ; Myiake *et al.*, 2010 ; Salthouse, 1990 ; Sharit *et al.*, 2008) ainsi que le

déclin de l'accès aux représentations lexicales des concepts en mémoire (Dorot & Mathey, 2013) devraient causer davantage de difficultés à reformuler les requêtes pour les adultes âgés. Ainsi, les utilisateurs âgés devraient produire moins de requêtes (*i.e.* reformuler moins), utiliser un plus grand nombre de mots clés issus des consignes des problèmes de recherche et produire moins de nouveaux mots clés que les jeunes. En outre, le déclin de la flexibilité et les difficultés d'inhibition plus fortes (Eppinger *et al.*, 2007 ; Sharit *et al.*, 2008), devraient conduire les âgés à produire des requêtes initiales sémantiquement moins précises et contenant plus de mots clés issus de la question de recherche que les jeunes.

Hypothèses sur l'influence de l'âge et des connaissances sur la formulation et la reformulation de requêtes en fonction du niveau d'exigence des tâches de RI

Les connaissances antérieures devraient soutenir les activités de formulation et reformulation des âgés et compenser le déclin des habiletés cognitives fluides (Sharit *et al.*, 2008) en favorisant le développement de stratégies descendantes basées sur les connaissances (Chin *et al.*, 2010). Lorsque les âgés ont de faibles connaissances sur le domaine (*i.e.* connaissances thématiques), ils devraient présenter les difficultés de reformulation postulées. À l'inverse, un bon niveau de connaissances antérieures devrait soutenir la reformulation des requêtes (*i.e.* la production de plus de requêtes différentes), la production de nouveaux mots clés (inférés *via* les connaissances antérieures ou recueillies sur les pages web) et l'utilisation d'un plus petit nombre de mots clés issus des questions de recherche par les âgés. Les effets postulés de l'âge dans les activités de reformulation devraient s'alourdir et être plus forts lorsque les tâches de recherche sont plus complexes et exigent plus de traitements (*i.e.* plus grande quantité d'informations à traiter, moins d'informations utiles fournies et plus de navigation nécessaire, Dommes *et al.*, 2011).

4.3.2 Hypothèses liées à la navigation depuis un moteur de recherche : analyse des pages de résultats du moteur de recherche et sélection des sites web à visiter

Hypothèses sur les effets de l'âge sur la navigation depuis un moteur de recherche

Les utilisateurs âgés, de par le déclin des habiletés fluides et de l'accès aux représentations lexicales des concepts, devraient avoir plus de difficultés à évaluer les résultats des pages du moteur de recherche (en début de RI et tout au long de l'activité) et ainsi consacrer plus de temps sur les pages du moteur pour sélectionner moins de sites web à visiter (Aula *et al.*, 2010 ; Chevalier *et al.*, 2015 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Dorot & Mathey, 2013 ; Sharit *et al.*,

2008). En outre, la difficulté des âgés à élaborer une représentation mentale cohérente du système avec lequel ils interagissent devrait leur causer plus de difficultés à analyser la première page de résultats du moteur de recherche (Aula *et al.*, 2010 ; Wagner *et al.*, 2014). Ces mêmes contraintes devraient également causer pour les utilisateurs âgés un moindre niveau d'exploration de l'espace problème de la recherche (*i.e.* moins de sites web visités et davantage de temps passé sur les pages web ouvertes que les jeunes, Chin *et al.*, 2010).

Hypothèses sur l'influence de l'âge et des connaissances sur la navigation depuis un moteur de recherche en fonction du niveau d'exigence des tâches de RI

Les connaissances antérieures devraient particulièrement favoriser l'élaboration de stratégies descendantes utiles et soutenir l'évaluation des pages de résultats du moteur de recherche pour les utilisateurs âgés (*i.e.* moins de temps passé à analyser la première page de résultats du moteur de recherche et l'ensemble des pages de résultats). En outre, de solides connaissances antérieures devraient soutenir la sélection de plus de sites web à ouvrir (*i.e.* aider les âgés à ouvrir un plus grand nombre de sites web depuis le moteur de recherche). Les effets postulés de l'avancée en âge dans la navigation depuis les pages du moteur de recherche devraient s'alourdir et être plus forts lorsque les situations de recherche sont plus complexes et exigent plus de ressources cognitives (Dommes *et al.*, 2011).

4.3.3 Hypothèses liées à la performance

Hypothèses sur les effets de l'âge sur la navigation depuis un moteur de recherche

En lien avec les effets attendus de l'âge sur les activités de formulation et de navigation depuis les pages du moteur de recherche, les adultes plus âgés devraient obtenir de moins bonnes performances que les jeunes (*i.e.* moins de bonnes réponses trouvées et temps de complétion pour y parvenir plus long) (Aula *et al.*, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011).

Hypothèses sur l'influence de l'âge et des connaissances sur la performance en fonction du niveau d'exigence des tâches de RI

Les connaissances antérieures devraient également compenser les effets attendus de l'âge (du au déclin de certaines habiletés cognitives, Salthouse *et al.*, 2008) et améliorer la performance des utilisateurs plus âgés. En revanche, plus les tâches de RI sont complexes et exigeante en ressources, plus les effets de l'âge sur la performance devraient s'alourdir.

4.4 Hypothèses liées aux dispositifs de guidage/ d'aide à la recherche d'information

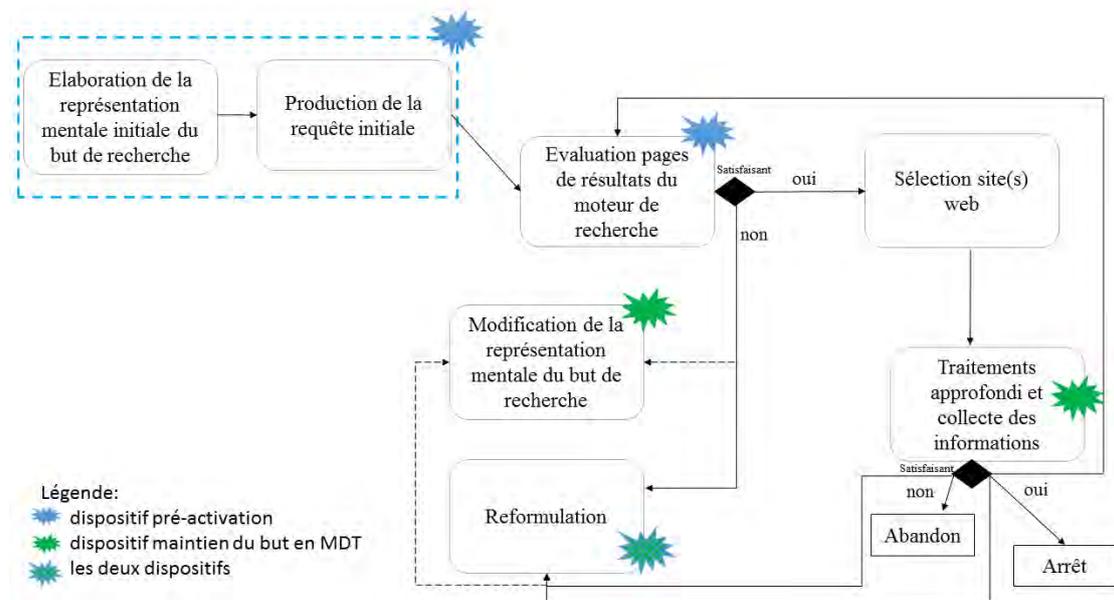


Figure 7 : synthèse des effets attendus des dispositifs d'aide à la RI par pré-activation des connaissances antérieures (bleu, étude 3) et par maintien du but en MDT (vert, étude 4) sur les activités impliquées en recherche d'informations (modèle détaillé adapté de Sharit *et al.*, 2008).

La figure 7 ci-dessous présente de manière schématique les effets attendus des deux dispositifs d'aide à la RI sur les activités de formulation de requêtes et de navigation depuis le moteur de recherche impliqués en RI.

4.4.1 Dispositif d'aide à la RI par pré-activation des connaissances antérieures sur le domaine (étude 3) :

Hypothèses sur les effets du dispositif d'aide par préactivation des connaissances sur la formulation de requêtes pour les utilisateurs âgés

En permettant aux utilisateurs de pré-activer leurs connaissances pour élaborer un modèle mental plus cohérent de la recherche et en soutenant l'accès aux concepts en mémoire pendant la phase de recherche (Dorot & Mathey, 2013), le dispositif d'aide devrait soutenir l'élaboration de requêtes sémantiquement plus riches et la reformulation pour les âgés (*i.e.* la production de plus de requêtes et de plus de nouveaux mots-clés inférés depuis leurs connaissances antérieures ou recueillis sur les pages web).

Hypothèses sur les effets du dispositif d'aide par préactivation des connaissances sur la navigation depuis les pages du moteur de recherche pour les utilisateurs âgés

En permettant aux âgés d'élaborer un modèle mental plus cohérent du but de la recherche et en renforçant les liens entre les concepts de la tâche de RI et leurs connaissances, le dispositif de pré-activation devrait compenser le déclin des habiletés cognitives (comme la vitesse de traitement et la flexibilité) et la difficulté à élaborer un modèle mental cohérent (Wagner *et al.*, 2014). Ainsi, la pré-activation des connaissances antérieures devrait particulièrement soutenir l'analyse des pages de résultats du moteur de recherche et l'élaboration de stratégies descendantes permettant d'explorer plus en profondeur les sites web ouverts des utilisateurs âgés.

Hypothèses sur les effets du dispositif d'aide par préactivation des connaissances sur la performance pour les utilisateurs âgés

Ces effets devraient en outre soutenir la performance des utilisateurs, particulièrement des utilisateurs plus âgés, et les aider à trouver davantage de bonnes réponses et plus rapidement.

4.4.2 Dispositif d'aide à la RI par maintien du but de recherche en MDT (étude 4) :

Hypothèses sur les effets du dispositif d'aide par maintien du but en MDT sur la formulation et la reformulation de requêtes pour les utilisateurs âgés

Le dispositif d'aide par maintien du but en MDT, en compensant le déclin du rafraîchissement en MDT (Miyake *et al.*, 2000) et des habiletés cognitives dû à l'âge (Dommes *et al.*, 2011 ; Salthouse *et al.*, 2008) devrait particulièrement permettre aux adultes âgés de mieux intégrer les nouvelles informations recueillies sur les pages web et ainsi améliorer les stratégies de reformulation. Les adultes âgés devraient ainsi reformuler davantage, produire un plus de mots-clés sémantiquement pertinents, plus de mots-clés nouveaux et utiliser moins de mots clés issus des consignes des problèmes de recherche. Le dispositif devrait particulièrement soutenir la reformulation des requêtes dans des tâches de RI plus exigeantes.

Hypothèses sur les effets du dispositif d'aide par maintien du but en MDT sur la navigation depuis les pages du moteur de recherche pour les utilisateurs âgés

Le dispositif d'aide devrait également améliorer l'analyse des pages de résultats du moteur de recherche (*i.e.* page initiale et l'ensemble des pages) et les traitements des pages web ; et ce, en guidant l'attention des plus âgés vers les informations pertinentes (au regard du but de

recherche). Le dispositif devrait ainsi soutenir une plus exploration des sites web ouverts depuis le moteur de recherche plus profonde pour les adultes âgés. Le dispositif devrait particulièrement soutenir l'évaluation des pages de résultats du moteur de recherche et la navigation dans des tâches de RI plus exigeantes.

Hypothèses sur les effets du dispositif d'aide par maintien du but en MDT sur la performance pour les utilisateurs âgés

Enfin, le dispositif d'aide au maintien du but en MDT devrait également soutenir la performance des utilisateurs, particulièrement des utilisateurs plus âgés, en leur permettant de trouver davantage de bonnes réponses plus rapidement. Les effets du dispositif devrait être plus forts lorsque les tâches de RI sont plus exigeantes

PARTIE 2 TRAVAUX EMPIRIQUES

Les travaux empiriques conduits sont présentés sous format articles : publiés dans des revues à comité de lecture (articles 1 et 2 intégrés en version pdf) ou soumis (articles 3, 4 et 5 copiés-collés dans de ce document). Le tableau 4 ci-dessous présente une vue d'ensemble des expérimentations réalisées et des facteurs étudiés.

Chapitre 5 Méthodologie générale

Tableau 4 : récapitulatif du travail expérimental conduit pendant la thèse

Expériences	VI manipulées	Facteurs additionnels mesurés	Participants	Articles n°
Etude 1 : données recueillies par Jessie Chin et Aline Chevalier par une bourse Chateaubriand (France, 2013)	<ul style="list-style-type: none"> - Âge - Domaines de connaissances (V.I. intra-sujet, manga vs santé) - Complexité des questions (V.I. intra-sujet : simples, inférentielles, ouvertes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilité cognitive - Connaissances antérieures - Vitesse de traitement - Mini Mental State Examination (MMSE) 	39	1 Information Processing & Management (publié)
Etude 2 : Expérience conduite en France (Univ. Toulouse Jean Jaurès, 2014)	<ul style="list-style-type: none"> - Âge - Domaines de connaissances (V.I. intra-sujet, films fantastiques vs santé) - Complexité des questions (V.I. intra-sujet : simples, inférentielles, multicritères) 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilité cognitive - Connaissances antérieures - Familiarité - Vitesse de traitement - Habiletés de RI - MMSE - SAE en RI 	40	2 et 3 Computers in Human Behavior (publié) Et Interacting with Computers (soumis)
Etude 3 : Expérience conduite en séjour de recherche (Université de l'Illinois, UIUC, août-nov. 2015)	<ul style="list-style-type: none"> - Âge - Domaines de connaissances (V.I. intra-sujet, films fantastiques vs santé) - Pré-activation des connaissances antérieures (V.I. en inter-sujet) 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilité cognitive - Connaissances antérieures - Familiarité - Vitesse de traitement - Habiletés de RI - MMSE 	48	4 Applied Ergonomics (soumis)
Etude 4 : Expérience conduite en France (Univ. Toulouse Jean Jaurès, juillet 2017)	<ul style="list-style-type: none"> - Âge - Complexité (VI intra-sujet, simples, inférentielles, multicritères) - Dispositif de maintien du but (VI en inter-sujet) 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexibilité cognitive - Auto-évaluation de la familiarité avec le domaine - Intérêt - Vitesse de traitement - Rafraîchissement en MDT - Habiletés de RI - Intérêt pour la tâche - MMSE - SAE en RI 	48	5 Applied Cognitive Psychology (soumis)

Le premier chapitre de cette partie empirique présentera la méthodologie générale de nos expérimentations ; suivront les 5 articles. Nous invitons le lecteur à consulter les différents

articles en débutant par la partie méthodologie afin d'éviter les redondances entre les parties théoriques des articles et celle lue en début du présent document. La partie empirique se terminera par une analyse groupée de l'impact de nos facteurs d'intérêt sur l'ensemble de nos études.

5.1 Facteurs investigués : variables indépendantes et mesures secondaires

5.1.1 V.I. 1 : Age (V.I. invoquée, en inter-sujets)

Dans chacune des expériences conduites, deux groupes d'âge étaient considérés :

- Des adultes jeunes de 18 à 32 ans : les jeunes étaient des étudiants recrutés sur les campus (université de Toulouse Jean Jaurès ou le campus d'Urbana-Champaign pour l'étude 3).
- Des adultes âgés de 60 à 80 ans : les adultes plus âgés étaient tous retraités, recrutés *via* des clubs de loisirs, l'université du Temps Libre de Toulouse ou *via* la newsletter du campus d'Urbana Champaign (étude 3).

Les participants étaient recrutés sur la base des critères suivants :

- Adultes (jeunes et âgés, dans les critères d'âge cités ci-dessus) utilisant internet régulièrement en autonomie depuis plusieurs années.
- Niveau d'étude équivalent entre jeunes et âgés (a minima le bac avec une expérience professionnelle assimilée à des cadres ou professions intellectuelles supérieures ou adultes ayant achevé des études supérieures).
- Francophones (ou anglophones pour l'étude 3).

5.1.2 V.I. 2 : Domaine de connaissances (V.I. en intra-sujets)

Pour chaque expérience conduite (à l'exception de l'étude 4), deux domaines de connaissances étaient sélectionnés : l'un plutôt en faveur des adultes jeunes (bandes dessinées manga ou films fantastiques) et l'autre plutôt en faveur des âgés (santé). L'étude 4 utilisant un dispositif technique réalisé spécialement pour l'expérience par Julien Cegarra (Pr. Université d'Albi, centre Champollion) et Pierre-Vincent Paubel (Dr. Université Toulouse Jean Jaurès) nous a conduits à écarter le domaine films fantastiques (les problèmes informationnels de ce domaine nécessitaient de visiter des sites web contenant de nombreuses images cliquables au format MP4 comme *Allociné* qui ne pouvaient s'afficher correctement sur notre dispositif). Aussi, dans

l'étude 4, nous avons décidé de ne pas manipuler de façon stricte deux domaines de connaissances. Les participants avaient ainsi à résoudre des problèmes informationnels de domaines divers pouvant intéresser tantôt les jeunes (musique rap, animaux, littérature fantastique) tantôt les plus âgés (anecdotes politiques de la cinquième République) (voir Annexes 4 à 8, p. 266-277, pour l'ensemble du matériel utilisé dans les expérimentations).

5.1.3 V.I.3. : Complexité des tâches de recherche (V.I. en intra-sujets)

Conformément aux travaux empiriques présentés dans la partie précédente de la présente thèse (Chin *et al.*, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011) ainsi qu'aux travaux sur la complexité des tâches (Barsky & Bar-Ilan, 2012 ; Bell & Ruthven, 2004), trois niveaux de complexité étaient manipulés dans nos expérimentations (à l'exception de l'étude 3). La manipulation de la complexité effectuée nous permettait d'étudier de manière plus contrôlée des situations de recherche d'informations plus ou moins exigeantes sur le plan cognitif.

- Problèmes informationnels simples. Dans les problèmes de RI simples, les mots clés utiles pour parvenir à l'information cible étaient fournis dans les consignes des problèmes. En outre, la réponse à trouver était directement accessible sur les pages du moteur de recherche.
- Problèmes informationnels inférentiels. Dans les problèmes de RI inférentiels, les mots clés utiles pour parvenir à l'information à trouver étaient remplacés par des synonymes vagues (ex : *habitation* au lieu de *ruche* ou *moyen de locomotion* au lieu de *vaisseau*). Ainsi, pour parvenir à trouver la bonne réponse sur Internet, les utilisateurs devaient produire de nouveaux mots-clés (soit en les inférant grâce à leurs connaissances antérieures soit en les prenant sur les pages web parcourues) et donc naviguer sur le web.
- Problèmes informationnels complexes (multicritères ou ouverts selon les études conduites). Les problèmes de RI les plus complexes consistaient soit : (a) en des problèmes de RI ouverts, plutôt mal définis (*i.e.* dont le chemin navigationnel pour parvenir à la bonne réponse est moins précis), avec plusieurs réponses possibles (étude 1), soit (b) des problèmes présentant une série de critères à remplir pour trouver une bonne réponse. Dans les deux cas, les problèmes de RI plus complexes exigeaient des utilisateurs de traiter une plus grande quantité d'informations et de naviguer dans plusieurs pages web en élaborant un chemin de navigation cohérent pour trouver une bonne réponse.

Le tableau 5 ci-dessous présente des exemples de problèmes informationnels (se reporter à l'annexe 4, p. 266 pour l'ensemble des problèmes de recherche utilisés dans toutes les expérimentations). Nous y détaillons également la procédure optimale à suivre pour parvenir à la réponse.

Tableau 5: exemples de problèmes informationnels issus des expérimentations (classés par niveau de complexité). Les concepts clés pour parvenir à la réponse sont en italique pour le besoin de la présentation de la méthodologie utilisée (*i.e.* aucun élément n'est présenté en italique aux participants)

		Procédure (optimale) à suivre pour parvenir à la réponse
Problèmes de RI simples	<ul style="list-style-type: none"> • Quelles <i>parties du corps</i> sont affectées par l'<i>arthrose</i> ? • Qui est le <i>frère de Freezer</i> dans <i>Dragon Ball</i> ? • Quel était le <i>métier de Peter Venkman</i> dans le film <i>SOS Fantômes</i> ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Sélectionner les concepts clés de la question, les entrer dans une requête (termes en italiques). • Analyser la page de résultats du moteur de recherche pour localiser la réponse sur Google.
Problèmes de RI inférentiels	<ul style="list-style-type: none"> • Quelle <i>action teinte le sang</i> ? • Quel est le nom du <i>moyen de locomotion</i> utilisé par <i>Luke Skywalker</i> pour <i>détruire l'Etoile Noire</i> dans <i>Star Wars</i> ? • Comment a été <i>parodiée</i> la phrase clé du discours donné par le <i>Président de la République française</i> à Alger en 1958 ? 	<ul style="list-style-type: none"> • Sélectionner les concepts clés de la question, (termes en italiques), reformuler les mots clés vagues (en gras) pour produire une requête plus utile. • Sélectionner depuis la page de résultats Google un site web pertinent pour parvenir à la réponse.
Problèmes de RI complexes	<ul style="list-style-type: none"> • Antoine est passionné par les animaux et le cinéma fantastique. Il souhaite acheter une <i>série de films fantastiques ou de science-fiction faisant la part belle aux animaux</i>. Même s'il est un peu rebuté par les films en noir et blanc, il a très envie de découvrir de <i>vieux films du genre</i>. • Alexandre, âgé de 7 ans, <i>chute souvent et souffre de problèmes d'audition</i> depuis peu. Alexandre a également souffert eu une <i>otite il y a peu</i>. A votre avis, de quelle maladie souffre-t-il ? Essayez de trouver la maladie qui paraît la plus probable au vu des éléments donnés. • Sam, 13 ans, recherche un costume pour Halloween. Il souhaiterait trouver un <i>costume de personnage plutôt vert</i>, qui tiendrait une <i>épée ou un arc et des flèches</i> et qui aurait des <i>pouvoirs spéciaux</i>. Conseillez-lui un costume respectant ses critères. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sélectionner les concepts clés de la question, (termes en italiques), produire une requête qui rassemble tous les critères de recherche. • Explorer les différentes pistes de recherche en découpant en sous-butts la recherche et en visitant des sites web (<i>i.e.</i> trouver des informations qui correspondent à chaque critère puis les agglomérer pour en trouver une qui les remplissent tous).

5.1.4 Facteurs additionnels mesurés

D'autres variables ont été investiguées dans les différentes études menées pour déterminer les facteurs pouvant modérer les effets de l'âge observés sur la RI. Ils sont succinctement présentés dans ce paragraphe. Le lecteur est invité à lire les parties méthodologiques de chaque article pour plus de détails.

- **Vitesse de traitement** (X-O comparaison, Salthouse, 1996). Dans cette épreuve (format papier crayon), la tâche des participants consiste à identifier si les paires de lettres sont identiques ou différentes le plus rapidement possible (temps limite de 30 secondes) en cochant une case prévue à cet effet. La moitié des paires proposées sont identiques (XX ou OO) et la moitié sont différentes (XO). La présentation de ces paires est aléatoire. Le nombre de paires de lettres correctement identifiées est ensuite collecté.
- **Flexibilité cognitive** (Trail Making Test part A et/ou B, Spreen & Sprauus, 1998). Dans cette épreuve, les participants doivent relier des cercles présentant des chiffres (partie A) ou des chiffres et des lettres (partie B) en étant chronométrés. Dans la partie A, les participants doivent relier le plus rapidement possible les chiffres dans l'ordre numérique. Dans la partie B, les participants doivent relier alternativement un chiffre puis une lettre en respectant l'ordre numérique et alphabétique alternativement (1-A-2-B-3-C ...). Le temps mis ainsi que le nombre de bons mouvements (*i.e.* liens correctement tracés) et d'erreurs de persévérations (*i.e.* mouvements incorrects comme A-B) sont collectés.
- **Niveau de vocabulaire** (version française du Mill Hill, parties A et B Deltour, 1998). Dans la partie A de cette épreuve, les participants doivent définir *via* un synonyme ou une petite phrase une série de termes. La partie B consiste à sélectionner le synonyme d'un terme parmi une liste de mots.
- **Habilités de recherche d'informations** (études 2 et 4, nouvelle tâche élaborée pour mesurer les habiletés de RI avec des données sur l'activité réelle des utilisateurs, *cf* annexes 9a, b et c, p. 278-279). Dans ces tâches, élaborées spécifiquement pour nos travaux de recherche, les participants devaient suivre des consignes et exécuter une série d'opérations sur Internet. Ces opérations consistaient soit en des interactions élémentaires avec le moteur de recherche Google (*ouvrir un nouvel onglet par exemple*), soit en l'élaboration de requêtes pour rechercher une information précise (*rechercher le plus haut looping du monde par exemple*), soit en l'élaboration d'un parcours de navigation cohérent (*rendez-vous sur le site d'amazon et commandez une friteuse à 60 euros par exemple*). Ces épreuves (durée de 5 à 15 min) se

basent sur la conceptualisation des habiletés de recherche d'informations de différents auteurs dont van Deursen et ses collaborateurs (2012).

- **Sentiment d'auto-efficacité en RI** (Rodon & Chevalier, 2017 ; Rodon & Meyer, 2012, études 2 et 4, cf annexe 7, p.274). Ce questionnaire de 8 items demande aux participants d'autoévaluer leurs compétences à interagir avec Internet pour rechercher des informations. Les items sont liés à la capacité à faire face et à s'adapter aux imprévus et à élaborer des stratégies de recherche pertinentes.
- **Mesure du déclin cognitif pour les adultes âgés**: Mini Mental State Examination (MMSE de Folstein & Folstein, 1975). Ce test, utilisé pour identifier de potentiels déficits cognitifs précoces dus à l'avancée en âge, évalue des habiletés langagières (répétition de phrases, dénomination d'objets), d'orientation dans le temps et l'espace (nommer le lieu où l'on se trouve, ou la date par exemple), de rétention d'information et rappel ou de calcul.
- **Rafraichissement en mémoire de travail** (n-back Kirchner, 1958, étude 4). Dans cette épreuve, les participants doivent retenir une série de lettres données oralement et déterminer pour chacune d'entre elles si la lettre donnée deux lettres plus haut était identique ou non.

5.2 Méthodes de recueil des données expérimentales

La présente thèse s'est attachée à analyser les effets de l'âge (au travers du déclin de certaines habiletés cognitives) et des ressources apportées par les connaissances antérieures sur le domaine de la recherche sur l'activité de RI dans des tâches de complexité variable. Ainsi le travail mené a investigué finement les grandes activités impliquées dans la RI : la production et la reformulation de requêtes, l'analyse de pages de résultats du moteur de recherche et la navigation depuis le moteur de recherche en lien avec la performance.

A cette fin, le travail de recherche mené combine des méthodes *on-line* en recueillant les traces de l'activité réelle des utilisateurs pendant la RI (sur la formulation et reformulation de requêtes, l'analyse des pages du moteur de recherche et la sélection de sites web depuis le moteur de recherche), des mesures d'efficience en sortie de l'activité (performance) ainsi que des méthodes *off-line, a posteriori* de la RI pour recueillir des informations (subjectives) sur l'effort, les difficultés ressentis des utilisateurs ainsi que le sentiment d'auto-efficacité (*via* des questionnaires). L'intérêt de combiner ces deux types de mesures est double pour le présent travail de thèse. D'une part, les résultats empiriques recueillis sur l'activité en ligne devraient enrichir nos connaissances sur les effets de l'âge dans la RI et permettre de rendre compte de

manière plus fine de l'effet des variables cognitives étudiées sur les activités impliquées en RI, et ce au regard de la dynamique de l'activité de RI (*i.e.* en prenant en compte les différentes étapes de l'activité). D'autre part, la combinaison de l'analyse de l'activité, des performances en sortie et des mesures subjectives nous permet de mettre en relation les résultats observés et de les analyser au regard d'un modèle psychologique (Tricot & Chevalier 2009).

5.2.1 Méthodes *on-line* : analyse de l'activité de RI

Les données de l'activité seront recueillies soit par le programme expérimental créé spécifiquement pour les études (étude 1 et étude 4), soit par le module libre de droit *Chrome History View* du navigateur web *Google Chrome* (étude 2 et 3). Ces deux outils permettent de recueillir les mots-clés entrés au clavier par les participants, ainsi que les pages web visitées et le temps passé sur chacune d'entre elles. La dernière étude (étude 4) utilisera en plus des mesures présentées dans ce paragraphe des mesures oculométriques (voir chapitre 11 pour un détail de la méthodologie utilisée pour cette étude).

5.2.1.1 Activités de production de requêtes et reformulation(s)

En lien avec les travaux en RI (Chevalier *et al.*, 2015 ; Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011), la présente thèse a relevé plusieurs indicateurs utilisés pour rendre compte des activités de production et de reformulation des requêtes de manière fine :

- Le nombre de requêtes produites (*i.e.* nombre total de reformulations effectuées plus la première requête). Pour rappel, le présent travail de thèse défend l'idée selon laquelle chaque nouvelle reformulation correspond à l'élaboration d'un nouveau chemin d'exploration de l'espace problème de la recherche (*i.e.* d'une nouvelle sous-partie de l'espace problème de la recherche investiguée).
- Le nombre de mots clés utilisés issus des consignes des problèmes informationnels (*i.e.* nombre de mots clés directement prélevés sur la consigne).
- Le nombre de nouveaux mots clés (*i.e.* mots clés inférés grâce aux connaissances antérieures ou prélevés sur les pages web parcourues).
- Le niveau d'élaboration sémantique des requêtes (*i.e.* proportion de mots clés sémantiquement spécifiques/liés au domaine thématique et sémantiquement généraux. Par exemple, pour une question sur *Star Wars*, « *moyen de locomotion* » relève du domaine général alors que « *vaisseau* » relève du domaine spécifique).

Une attention particulière a été portée sur la toute première requête produite par les utilisateurs. Nous postulons dans ce travail que la toute première requête produite traduit la représentation initiale du but de recherche élaborée par les utilisateurs. En outre, la requête initiale est principalement basée sur des stratégies descendantes (*i.e.* activation de connaissances antérieures ou l'utilisation d'habiletés de vocabulaire) ainsi que les informations issues du contexte (*i.e.* consigne du problème informationnel).

- Nombre de mots clés issus des consignes dans la première requête
- Nombre de nouveaux mots clés dans la première requête
- Niveau d'élaboration sémantique de la première requête

Des variables dépendantes supplémentaires ont pu être utilisées pour répondre aux spécificités de chaque étude. Le lecteur trouvera dans les parties méthodologiques de chaque article une présentation des V.D. investiguées pour chacune.

5.2.1.2 Analyse des pages de résultats du moteur de recherche et navigation

Les principaux indicateurs relevés pour investiguer les interactions avec le moteur de recherche relevant de l'analyse des pages de résultats et de la navigation étaient les suivants :

- Temps passé sur les pages de résultats du moteur de recherche (*i.e.* temps passé sur les pages *Google* entre chaque site web ouvert ou entre chaque requête produite et nouveau site web ouvert).
- Nombre de sites web ouverts depuis les pages du moteur de recherche. Pour rappel, sur la base des travaux de Chin et ses collaborateurs (2015), nos travaux de recherche défendent l'idée que les sites web ouverts depuis le moteur de recherche correspondent à de nouveaux chemins d'exploration spécifiques (*i.e.* de nouvelles sous-parties plus fines de l'espace-problème de la recherche).
- Nombre de pages web consultées (*i.e.* nombre de pages web différentes ouvertes une fois sur un site web ainsi que le nombre de pages web re-consultées). Les pages web ouvertes au sein d'un site web reflètent, selon nous, le niveau d'approfondissement de traitement des différents chemins d'exploration initiés.

Conformément au travail d'investigation mené sur la requête initiale des participants, nous avons également investigué le temps passé à analyser la première page de résultats du moteur de recherche. Nous défendons l'idée dans ce travail de thèse que le temps passé sur la première page de résultats reflète la façon dont les utilisateurs mobilisent leurs connaissances antérieures

(ainsi que les informations du contexte de la recherche) pour analyser les premiers résultats et choisir ou non d'ouvrir un site web.

5.3 Performance

Les indicateurs évaluant la performance étaient les suivants :

- Le nombre de bonnes réponses : pour chaque problème informationnel, 1 point était accordé lorsque la bonne réponse était trouvée et 0 point lorsque l'utilisateur ne parvenait pas à la bonne réponse ou abandonnait (*i.e.* ne trouvait aucune réponse). Les scores étaient ensuite transformés en pourcentage.
- Le Temps de Complétion (*task completion speed*). Basé sur les travaux d'Aula et Nordhausen (2006), cet indicateur prend en compte le temps mis pour résoudre les problèmes informationnels (*i.e.* pour trouver la bonne réponse). Le temps mis pour réaliser la tâche est classiquement utilisé en RI pour évaluer l'efficacité des utilisateurs dans la tâche (Amadiou, Bastien & Tricot, 2009). Toutefois il convient de traiter cette mesure avec prudence dans le cas de nos travaux de recherche. En effet, comme abordé dans les précédents chapitres, le déclin de la vitesse de traitement (Salthouse, 1996) ainsi que l'évolution des capacités de la mémoire de travail avec le vieillissement peuvent causer de fait des temps de recherche plus long pour les âgés. Le temps de complétion relevé dans nos études permet de limiter en partie le bruit causé par ces phénomènes car il tient compte du temps mis pondéré par le nombre de problèmes informationnels effectivement résolus.

5.4 Méthodes *off-line* : questionnaires post-activité de recherche d'informations

Les questionnaires d'auto-évaluation ou d'évaluation subjectives (post activité) de l'effort et des difficultés ressenties par l'utilisateur reposent sur la façon dont l'utilisateur a appréhendé et vécu l'activité qu'il vient d'effectuer (Jamet, Lemercier, & Février, 2009). Ces mesures faciles à utiliser et non intrusives nous permettent de recueillir des informations sur la difficulté des participants à mener à bien la recherche, à produire des mots-clés utiles ou encore à reformuler les requêtes. Ces données devraient apporter un éclairage supplémentaire sur l'activité des utilisateurs et nous permettre de mieux comprendre le comportement des utilisateurs mais également le rôle des connaissances antérieures sur l'activité de RI des adultes jeunes et âgés. Un questionnaire a ainsi été élaboré et administré après chaque question de recherche pour

l'ensemble des études (sauf pour l'étude 1 effectuée en 2013 dont les résultats ont été traités pour ce travail de thèse). Les items de ce questionnaire (voir annexes 6a, b et c, p. 271-272) ciblaient les difficultés supposées des utilisateurs (particulièrement des utilisateurs plus âgés) liées à la production et la reformulation de requêtes, la sélection de sites web ou encore la navigation dans des pages web. Ces items étaient spécifiquement construits pour les expériences menées et pour répondre à nos hypothèses de recherche.

5.5 Procédure expérimentale générale

Les passations étaient effectuées sur un ordinateur expérimental soit au domicile des participants, en particulier pour les adultes âgés (étude 2) soit au laboratoire (étude 1, 3 et 4) et se déroulaient en 3 phases (cf. figure 8 ci-dessous).

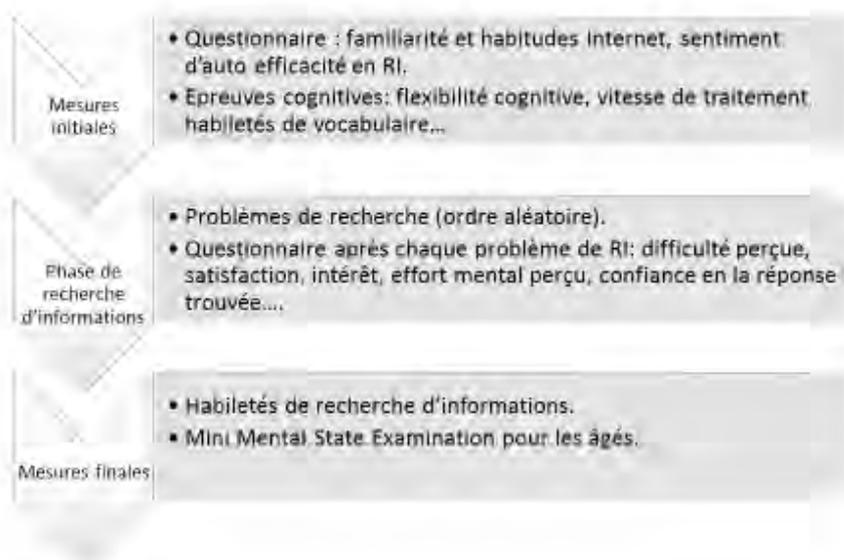


Figure 8: Vue schématique du protocole expérimental conduit dans les expérimentations réalisées (selon l'objectif de chaque étude, quelques différences peuvent s'ajouter, se référer au tableau récapitulatif 4 ainsi qu'aux chapitres suivants).

Lors de la première étape, un questionnaire (administré *via* Qualtrics) recueillait des informations démographiques sur les participants (âge, niveau d'étude, profession actuelle ou passée) ainsi que des informations sur leurs habitudes internet (temps moyen sur Internet par semaine, outils utilisés, tâches habituellement réalisées ainsi que leur sentiment d'auto-efficacité en RI (Rodon & Meyer, 2012, voir Annexe 7, p. 274, pour la présentation de l'échelle

utilisée). Les participants réalisaient ensuite une série d'épreuves cognitives mesurant la flexibilité cognitive, la vitesse de traitement et les habiletés de vocabulaire. Selon l'expérimentation, d'autres épreuves étaient réalisées : fluence (lexicale et sémantique) rafraîchissement en mémoire de travail (n-back) : pour un détail plus complet se référer au tableau récapitulatif 4 ci-dessus. Lors de la seconde étape, les participants complétaient les problèmes informationnels (entre 6 et 12 selon les expérimentations) dans un ordre aléatoire. Après chaque problème informationnel, les participants répondaient à un questionnaire évaluant : l'effort mental perçu, leurs difficultés (à produire des requêtes, à sélectionner un/plusieurs site(s) web à ouvrir *etc.*, voir annexe 6a, b et c, p. 271-272). Les études 2 et 4 se terminaient par une tâche mesurant les habiletés de recherche d'informations. Pour finir, les adultes âgés réalisaient une évaluation du déclin cognitif par le MMSE.

5.6 Analyse des données collectées

Les données sur l'activité *online* étaient enregistrées grâce à l'outil libre de droit du navigateur *Google Chrome* : *Chrome History View*. Cet outil propose des fichiers logs détaillant l'activité de l'utilisateur (*i.e.* mots clés entrés au clavier, pages web vues, temps passé par pages *etc.*). Les données étaient ensuite traitées via excel puis SPSS (version 21). Lorsque le protocole expérimental impliquait un traitement plus qualitatif (comme par exemple pour le traitement de l'activité des tâches mesurant les habiletés de recherche d'informations), la grille de codage était validée par plusieurs juges et un codage en double aveugle était réalisé sur quelques participants aléatoires pour en vérifier la robustesse.

Les prochains chapitres présentent sous format article les résultats des 4 expérimentations conduites pour ce travail de thèse (voir tableau récapitulatif 4 page 99) (articles publiés et intégrés dans ce document pour les chapitres 6 et 7 et articles soumis pour les chapitres 8 à 10).

Les chapitres 6, 7 et 8 (articles 1, 2 et 3) investiguent les effets de l'âge et des ressources apportées par les connaissances sur l'activité de RI selon le niveau de complexité des tâches. Les chapitres 9 et 10 (articles 4 et 5) traitent des deux outils d'aide à la RI élaborés (pré-activation des connaissances antérieures et aide au maintien du but de recherche en MDT).

Nous invitons les lecteurs à consulter les articles en démarrant par la partie méthode (pour éviter les redondances entre les parties introductions et la partie théorique de la thèse).

Chapitre 6 Article 1: Sanchiz, M., Chin, J., Chevalier, A., Fu, W. T., Amadiou, F., & He, J. (2017). Searching for information on the web: Impact of cognitive aging, prior domain knowledge and complexity of the search problems. *Information Processing and Management*, 53(1), 281-294.



Contents lists available at ScienceDirect

Information Processing and Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/infoproman

Searching for information on the web: Impact of cognitive aging, prior domain knowledge and complexity of the search problems

M. Sanchiz^{a,*}, J. Chin^b, A. Chevalier^a, W.T. Fu^c, F. Amadiou^a, J. He^d^a Laboratoire Cognition Langues Langage Ergonomie (UMR-CNRS 5263, Toulouse University, EPHE), France^b Beckman Institute for Advanced Science and Technology, University of Illinois at Urbana Champaign, USA^c Department of Computer Science, University of Illinois at Urbana-Champaign, Cascade laboratory, Urbana-Champaign, IL, 61801, USA^d Department of Psychology, Wichita State University, Wichita, KS, 67206, USA

ARTICLE INFO

Article history:
Available online 28 September 2016

Keywords:
Information searching
Aging
Prior domain knowledge
Problem complexity
Reformulation
Navigation

ABSTRACT

This study focuses on the impact of age, prior domain knowledge and cognitive abilities on performance, query production and navigation strategies during information searching. Twenty older adults and nineteen young adults had to answer 12 information search problems of varying nature within two domain knowledge: health and manga. In each domain, participants had to perform two simple fact-finding problems (keywords provided and answer directly accessible on the search engine results page), two difficult fact-finding problems (keywords had to be inferred) and two open-ended information search problems (multiple answers possible and navigation necessary). Results showed that prior domain knowledge helped older adults improve navigation (i.e. reduced the number of webpages visited and thus decreased the feeling of disorientation), query production and reformulation (i.e. they formulated semantically more specific queries, and they inferred a greater number of new keywords).

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

With the wide development of the Web and the aging of population, a greater number of older adults use the Internet for their daily activities to search for information (Dommes, Chevalier, & Lia, 2011; Slegers, Van Boxtel, & Jolles, 2012). Even though search engines (such as Google, Yahoo!) try to provide information searching tools to help users (e.g. query suggestions), these tools do not cope with older adults' needs and difficulties. Previous studies showed that older adults experienced difficulties when reformulating queries, when navigating the web (Aula, 2005; Chevalier, Dommes, & Marquié, 2015) and when browsing websites (Aula, 2005; Chevalier et al., 2015). Among the factors impacting information searching performance, many studies have reported the role of cognitive flexibility (Czaja, Sharit, Ownby, Roth, & Nair, 2001; Dommes et al., 2011; Sharit, Hernández, Czaja, & Pirolli, 2008; Wagner, Hassanein, & Head, 2014), prior domain knowledge (Hölscher & Strube, 2000; Wildemuth, 2004; Willoughby, Anderson, Wood, Mueller, & Ross, 2009) and problem complexity (Barsky & Bar-Ilan, 2012; Dommes et al., 2011). These studies showed that cognitive flexibility, which corresponds to the ability to switch from one way of processing information to another (Chevalier & Chevalier, 2009), explained most of older adults' difficulties when switching from one web page to another (i.e. when navigating), or when reformulating query

* Corresponding author.

E-mail addresses: mylene.sanchiz@univ-tlse2.fr, mylene.sanchiz@gmail.com (M. Sanchiz).<http://dx.doi.org/10.1016/j.ipm.2016.09.003>

0306-4573/© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

(Dommes et al., 2011). Prior domain knowledge (i.e. knowledge on the topic of the search) was reported to enhance search performance and to improve the relevance of the queries produced (Hölscher & Strube, 2000; Lei, Lin, & Sun, 2013). Problem complexity can impact both the actions to perform and how users have to implement these actions to complete the problem (Barsky & Bar-Ilan, 2012; Dommes et al., 2011), which can eventually decrease search performance. However, effects of prior domain knowledge only appeared when the information searching problem required users to use their prior knowledge (Monchaux, Amadieu, Chevalier, & Mariné, 2015; Salmerón, Cañas, & Fajardo, 2005). Hence, studying the role of domain knowledge on information searching also requires studying the level of complexity of the search problem itself. Indeed, information searching involves a great variety of information-solving problems: from the most specific fact-finding problems, to the most ill-defined and open-ended ones. This variety requires users to adapt to different constraints and requirements, which can be complicated for older adults as they tend to be less flexible (Czaja et al., 2001; Dommes et al., 2011).

Very few studies have analyzed both the role of prior domain knowledge and search complexity on the age-related differences on information searching. We argue that examining the effects of domain knowledge on the impact of age on information searching with search engines would improve our understanding of the cognitive difficulties encountered by older adults. The present study aimed at analyzing how age impacts reformulation and navigation when searching for information, and how prior domain knowledge could cope with the age-related difficulties. The level of search problem complexity was taken into account because it required different levels of prior knowledge activation. In the following two sections, we will present related works on the impact of cognitive aging (Section 2.1), domain knowledge (Section 2.2) and problem complexity (Section 2.3). Then we will point out the objectives and hypotheses (Section 3), the method (Section 4), and the results we obtained (Section 5). This article will be concluded with the discussion (Section 6) as well as the limitations and further works (Section 7).

2. Related work

2.1. Impact of cognitive aging on information searching

Most cognitive models highlighted that information searching first requires users to elaborate a mental representation of their information needs (e.g., their goals), and to keep it active in working memory (see CoLiDes model developed by Kitajima, Blackmon, & Polson, 2000; EST model developed by Rouet & Tricot, 1998, for an overview see Dinet, Chevalier, & Tricot, 2012). Then, users have to produce a query, to process the results retrieved by the search engine and to evaluate them. If no results are satisfactory enough, users can modify their initial query, keeping the goal the same or modifying it. Sharit et al. (2008) developed a model that is particularly interesting for our objectives, as it includes a wide range of cognitive abilities and query production. This model, which considers information searching as a problem-solving and decision-making activity, divides information searching into three stages, which may be iterative.

- The first stage deals with query planning and formulation. Users elaborate a mental representation of the problem to be solved, internalize the search problem statement and extract or infer useful keywords to formulate a query (and then type their query into the search engine text box).
- The second stage involves planning operations to complete the search goal. Users have to analyze and evaluate the search results by comparing them with the goal they elaborated (based on keywords analysis for example). If no results match the users' information need, users may decide to reformulate the query they produced and go back to stage 1 to produce a new query. Back to stage one, users may modify their mental representation of the search goal, or some keywords contained in their query, or their entire query.
- The last stage involves the selection of a relevant link, the deeper processing of the information contained in websites and the carrying out of the planned operations made in stage 2. This final stage involves the processing of the webpage selected by the user, but may also involve navigation if the user browses several webpages within the website he selected. If the webpages selected are not satisfying enough to carry out his/her goal, the user may go back to stage 2 by switching from the website opened to the search engine pages to analyze new search engine results, select new results to open up, or reformulate.

The present study focused on the age-related differences found in query formulation and reformulation on stage 1 and on navigation strategies developed during stage 2 (i.e. during the planning of operations defined by Sharit et al., 2008). Regarding query production and reformulation at stages 1 and 2, prior works reported that because of the age-related declines of cognitive flexibility and other fluid abilities such as inhibition processes, older adults use more keywords extracted from the search statement problems (Dommes et al., 2011), stick to the keywords they initially select, reformulate less (i.e. produce fewer queries), and produce fewer new keywords than young ones (Dommes et al., 2011). Fluid abilities (or fluid intelligence), which refer to the ability to think, reason abstractly and solve problems, independently of learning, experience and education (Cattell, 1971), are reported to impact web navigation and the ability of users to adapt to environment changes (Pak & Price, 2008). Prior works also showed that when planning their search at stage 2, older adults use different information searching strategies (van Deursen & Van Dijk, 2009) and also have difficulties interacting with search engines and websites. Older adults are slower, they spend longer time analyzing the search engine results (Chevalier et al., 2015; Matsuda, Uwano, Ohira, & Matsumoto, 2009), and they take longer to decide which website they want to visit (Sharit, Taha, Berkowsky, Profita, & Czaja, 2015). These results might be accounted for by older adults' difficulties to elaborate a

Table 1
Impact of older adults' cognitive abilities and empirical findings on information searching.

Cognitive abilities	Empirical results	References
Decrease of flexibility	Fewer queries produced Less relevant reformulation strategies Focus on search problem instructions keywords	Dommes et al., 2011 Dommes et al., 2011; Chevalier et al., 2015
Verbal skills	Selection of relevant keywords to use Support navigation when websites are semantically structured	Pak & Price, 2008
Decrease of attention, visuospatial abilities	Difficulties to explore websites and to adapt to environment changes	Chin & Fu, 2010
Decrease in working memory	Difficulties remembering information previously read and information source. Difficulties maintaining active in working memory a mental model.	Mead, Spaulding, Sit, Meyer, and Walker, 1997

coherent mental representation of the websites and search engine they are interacting with (Wagner et al., 2014). This often causes older adults to be more disoriented than young ones. Previous results also showed that the age-related development of crystallized abilities can cope with the decline of fluid abilities and improve older adults' search performance (Sharit et al., 2008). Crystallized abilities correspond to the skills and knowledge learnt throughout individuals' lifetime (such as reading comprehension, vocabulary skills and prior domain knowledge (Cattell, 1971; Verhaeghen, 2003)). At stage 3, when carrying out navigation, prior works showed that older adults are less efficient: they are slower, visit a larger number of websites (Van Deursen, 2012), have greater difficulties remembering which information they had just previously seen (Mead, Spaulding, Sit, Meyer, & Walker, 1997) and take longer time to decide which web page they are going to open up next (Chin & Fu, 2010). Older adults also mostly use top-down strategies to search for information (Chin & Fu, 2010): they open up fewer links to visit, they stay on a webpage longer than young adults and they take more time before switching to a different webpage. In contrast, young adults use more bottom-up interface-driven navigation strategies: they open up a greater number of links, visit more within-category hyperlinks and leave webpages faster than older adults. Older adults are also less efficient with tasks that require more navigation: they explore less (e.g. they click on fewer hyperlinks for instance) and they have more difficulties locating a target than young ones (Chin & Fu, 2010). However, previous findings showed that when navigation is more demanding in verbal processing (for instance inference-making), than in exploration and spatial skills, search performance improves for older adults (Pak & Price, 2008). In other words, older adults tend to perform better for problem-solving search problems as compared to problems that require users to navigate more and access information through several menus and hyperlinks. Hence, crystallized intelligence (such as reading comprehension, vocabulary and prior domain knowledge, Cattell, 1971; Cattell & Horn, 1978) may represent an interesting leverage to cope with older adults' difficulties when searching for information. Table 1 below presents the main findings related to cognitive abilities (fluid and crystallized) reported in literature.

2.2. Impact of prior domain knowledge on information searching

Prior domain knowledge (i.e. knowledge of the search topic itself and not knowledge of the search task, Tabatabai & Shore, 2005) enhances search performance (in terms of number of target answers found), navigation efficiency (shorter searching time, more relevant webpages visited, etc.), and navigation planning (Ihadjadene & Martins, 2004; Navarro-Prieto, Scaife, & Rogers, 1999; Sihvonen & Vakkari, 2004; Wildemuth, 2004). Domain experts are more efficient and accurate than novices or non-experts (people without much domain knowledge) (Hölscher & Strube, 2000; Tabatabai & Shore, 2005): experts visit more relevant webpages (Hölscher & Strube, 2000), and discriminate between relevant and non-relevant results more efficiently (Tabatabai & Shore, 2005). Query production is also affected by domain knowledge. Domain experts produce a higher number of queries than novices and more relevant ones. Indeed, prior works showed that domain experts select more relevant keywords related to the topic of the search and have better chances of retrieving more useful search engine results (Vakkari, 2002; Vakkari, Pennanen, & Serola, 2003). Indeed, domain knowledge supports and improves the semantic specificity of the queries produced: experts use fewer ambiguous terms and produce more relevant keywords (Lei et al., 2013), whereas novices have difficulties producing successful queries (Wildemuth, 2004). Hence, domain knowledge provides both richer vocabulary and flexibility to allow users to reformulate queries more efficiently (Hölscher & Strube, 2000). However, some works also reported that experts did not simply outperform novices, but they used different search strategies (Monchaux et al., 2015). Indeed, domain experts tend to be more exploratory (i.e. they visit a greater number of webpages), more adaptive to the evolution of the search context, and allocate more time to process the new keywords provided by the search engine (e.g. the keywords contained in the search engine result pages, either on the label of websites or in the description) which might help them produce more useful query afterwards (Dinet et al., 2012). In contrast, low domain knowledge users reformulate their queries by changing synonyms and do not take advantage of new keywords provided by the search context.

2.3. Impact of search problem complexity on information searching

Search problem complexity can be defined by three different features. The first feature involves the nature of the problem itself and the amount and type of elements (e.g. the difficulty of the domain knowledge to understand) the user will have to process. The second feature deals with the cognitive requirements of the problem (e.g. the amount of resources required to complete the search problem). The last feature involves the interaction between the problem's features and the user's characteristics (the user's domain knowledge and experience for instance). These three features are consistent with a wide range of previous works on task complexity (for a review see Liu & Li, 2012). They are also consistent with the discrepancy suggested by Campbell (1988) between intrinsic, objective problem complexity (independent to the problem performer) and subjective problem complexity (i.e. how the problem performer perceives the complexity of the problem). Previous works analyzed the impact of several factors weighting on problem complexity: the complexity of the domain knowledge to understand (Bell & Ruthven, 2004), the amount of relevant keywords provided by the problem (Bell & Ruthven, 2004), the level of preciseness of the information to be found (Bell & Ruthven, 2004) and finally how easily accessible and retrievable the information to be found is (Campbell, 1988; Chin, Fu, & Kannampallil, 2009). Bell and Ruthven (2004) developed a three-level model of complexity. At level 1, the information to be found is clearly stated, the way to find it and assess concepts' relevance are also clear to the user. At level 2, the search process becomes less determinable and requires the user more decision-making and navigation (i.e. navigation is more demanding and requires users to visit more websites for instance). The final level of complexity involves a certain degree of impreciseness. The information to be found and the way to find it are not clear to the user. That last level is consistent with the dichotomy between well-defined problems (fact-find problems in which users have to find a fact), and ill-defined problems (problems that require users to browse several webpages to gather multiple pieces of information). Previous studies focused on the interaction between aging and problem complexity (Chevalier et al., 2015; Dommes et al., 2011). In Dommes et al. experiment (2011), participants (young and older adults) had to perform simple information problems (e.g., relevant keywords included in the search problems statement), difficult (e.g., relevant keywords to infer), and impossible ones (no answer could be found despite what participants were told). Results showed that participants had better search performance for simple problems as compared to difficult and impossible ones (no answer existed). They were faster and retrieved more correct answers in the simple search problems. In addition, older adults performed poorer than young ones for simple problems (found the answers in more time). As compared to young adults, older adults reformulated less (i.e. they produced fewer queries), and produced fewer new keywords for difficult and impossible search problems. Other works also reported that older adults perform better with open-ended search problems that allow older users to use top-down driven strategies and rely on their inferences abilities, vocabulary skills and domain knowledge more than internet-knowledge or internet skills (Chin & Fu, 2010). Prior works also showed interaction between domain knowledge and problem complexity. In Monchaux et al. (2015), participants had to perform six information search problems (in psychology) of increasing complexity in the Universalis website. Results showed that domain experts (psychology students) outperformed non-expert (students from other disciplines), especially in the more complex search problems. Experts displayed particular reformulation strategies: they produced more queries and reformulated more frequently than novices. Experts also used a greater number of domain related keywords than non-experts. In sum, the effects of age and prior knowledge were mostly observed for complex search problem rather than simple ones. In line with these findings, the present experiment manipulated complexity both in terms of cognitive processes required by the search problems (e.g. inference-making for useful keywords, web navigation necessary or not) and the nature of the search problem (fact-finding or open-ended search problems). In line with prior works (Bell & Ruthven, 2004), we determined a priori that open-ended problems would be the more difficult ones with regards to the amount of information that was necessary for searching. Indeed, open-ended problems are closer to problem-solving problems and require participants to process a larger amount of information, engage extra resources to reduce uncertainty (multiple possible paths, multiple possible answers, information gathering and so on).

3. Rationale and hypotheses of the study

As presented above, a growing number of research focused not only on the age-related differences on performance, but also on the searching strategies older adults use (e.g., Chevalier et al., 2015; Holsch er & Strube 2000; Stronge, Rogers, & Fisk, 2006; Thatcher, 2008; Thatcher, 2006; van Deursen, 2012). But most of these studies mainly focused on a small range of the activities at stake in information searching (e.g. navigation or query production). The present study aimed at studying the interactions between age and prior domain knowledge on information searching problems of varying complexity.

Three questions motivated this experiment, as follow:

- (1) How age can impact older adults' information searching activities?
- (2) Can domain knowledge cope with the difficulties older user may experience while searching for information on the web?
- (3) How does search problem complexity impact the effect of age and domain knowledge on navigation and reformulation?

Based on these questions, we formulated the following hypotheses (only main hypotheses are described in the following paragraph).

H1. Hypotheses on age

H1a. As older adults take more time before selecting a webpage to open up, because they use more top-down and analytic strategies and have more difficulties selecting a link to open up than young ones (Chin & Fu, 2010; Dommès et al., 2011), older adults were expected to spend more time on the search engine result pages than young ones.

H1b. Due to the age related decline in flexibility (Salthouse, 2012), we expected older adults to experience more difficulties when reformulating queries as compared to young adults. Older adults should reformulate less (i.e. produce fewer queries), use more keywords provided in the search problem statements and produce fewer new keywords.

H2. Interaction hypotheses on age and prior domain knowledge

H2a. Prior domain knowledge should also support older adults' navigation. Hence, older adults should select more relevant websites in the health domain (and thus visit fewer webpages than in the manga domain) and spend shorter time on the search engine pages (Hölscher & Strube, 2000).

H2b. Prior domain knowledge should cope with the age-related decline in flexibility and support older adults' query production activity. Older adults should reformulate more, use fewer search problem statement keywords (Dommès et al., 2011) and produce queries that are semantically more specific and produce shorter queries for the health domain knowledge as compared to the manga domain.

H3. Interaction hypotheses on age and search complexity

H3a. Because crystallized abilities tend to increase with age, older adults should be more efficient for open-ended and difficult search problems, more demanding in comprehension processes, than for simple problems (as compared to young adults).

H3b. Older adults' navigation difficulties should also increase as search problem complexity increases. Hence, older adults should spend more time on the search engine pages and visit more webpages for open-ended problems as compared to the simple and difficult fact finding ones, but also for difficult problems as compared to simple ones. In our study, difficult and open-ended problems were cognitively more demanding in navigation and comprehension processes than simple search problems.

H3c. Because of the age-related decline in flexibility, we expected older adults to produce fewer queries (i.e. reformulate less often). However, crystallized abilities, such as inference-making, should help older adults use fewer keywords from the search problem statements for open-ended problems, as compared to young adults.

4. Method

4.1. Participants

Thirty nine participants volunteered to take part in the study: twenty older adults ($M_{age} = 66.00$, $SD = 3.45$, 11 males and 9 females, ranging from 60 to 77 years) and nineteen young adults ($M_{age} = 21.28$, $SD = 1.78$, 7 males and 12 females, ranging from 20 to 24 years). Participants were all French speakers. Young adults were undergraduate students recruited at the University of Toulouse. Older adults were retired and in good health (Mini Mental State Examination (MMSE) for older adults was: $M = 29.26$ $SD = 1.10$). Both groups had completed upper studies in college (in years, including secondary school and college years: $M = 8.56$ $SD = 2.41$ for young adults and $M = 12.79$ $SD = 5.36$ for older adults, $(t(36) = -3.07$, $p = .01$). Familiarity with Internet was also assessed in terms of number of hours spent on internet ($M = 5.89$, $SD = .32$ for young adults and $M = 5.79$ $SD = .42$ for older ones). No significant differences were found between the two age groups ($t(36) = .88$, $p = n.s.$).

4.2. Design

4.2.1. Material

Participants completed the experiment on a computer with a 17 inch screen and used Firefox navigator and Google search engine to solve the information problems. Activity was recorded via log files and screen captures with a specific program designed especially for the experiment by He Jibo. Paper-based questionnaires were given to participants so that we did not influence the activity by asking them to switch from one window to another one, or by opening multiple tabs. Raw data were next treated with Microsoft excel and IBM SPSS Statistics (v.20).

4.2.2. Information search problems

Twelve search problems of three complexity levels were created on two knowledge domains: health domain and Japanese comic books (manga) domain (see Table 2 for the presentation of these 12 problems). Those two domains were chosen to obtain different levels of prior knowledge. More precisely, health domain was supposed to be more interesting for older adults and manga for young adults. We manipulated three levels of complexity as described in Bell and Ruthven's model of search complexity (2004). In line with complexity level 1, participants had to perform simple fact-finding problems, in which the target information to be found (i.e. the search goal) was clear, and the useful keywords were provided in the problem statement. At complexity level 2, participants had to solve difficult fact-finding problems. The information to be found was still clear, but the way to find the answer required participants to make more inferences (i.e. useful keywords were switched with vague synonyms). At complexity level 3, participants had to solve open-ended search problems: the goal and the way to find the target information were less clear (i.e. multiple answers were possible and participants had to

Table 2
Assignments of the twelve information search problems.

Problems	Health domain	Manga domain
Simple	-Which body parts can be affected by arthritis? -What is the name of a partial necrosis of the cardiac muscle?	-What is Eikichi Onizuka's job? -Who is Freezer's brother in Dragon Ball?
Difficult	-Which action tints blood ? -What disease causes pulmonary embolism?	-What is the name of the blunt item that Marechyio Omaeda uses in Bleach? -What is the theme of the manga Gundam?
Open-ended	-M. Martin, 60 years old, suffers from chest pain and has trouble breathing. In your opinion, what disease could she be suffering from? -Alexander, 7 years old, often falls off his feet. He also has hearing problems. In your opinion, what disease could she be suffering from?	-Antoine is interested in cooking and likes reading comic books. Advise him 2 comic books for boys on gastronomy that he may like. -Sophie is interested in baseball. Advise her 2 comic books for girls about baseball that she may like.

navigate more than for the other two types of problem). We considered open-ended problems more complex than inferential ones because these problems tackled a larger problem space and required users: to process a greater number of pages, to make inferences and to navigate more (i.e. browse several webpages to gather useful information to find the target answer).

4.3. Procedure

Participants first completed a questionnaire on Internet habits and familiarity. They were asked to estimate how much time they spent browsing the internet to search for information at home, how often do they use the internet, and which devices do they use (i.e. laptop, computer, smartphone). They next completed two multiple choice questionnaires on Manga and Health. Manga questions tackled a variety of well-known Japanese comic books released in France whereas health questions tackled body functioning and diseases. Both questionnaires were validated by domain experts. For each problem, participants had to choose between three possible answers or "I don't know". Then, they performed several cognitive tests:

- Trail Making Test (part B; [Spreeen & Strauss, 1991](#)) to measure cognitive flexibility: participants had to draw lines to join alternatively a list of letters (from A to L) and numbers (from 1 to 12) as quickly as possible. The time spent to complete the problem was retrieved, there was no maximum score.
- French version of Raven Mill Hill Vocabulary scale task part A and B (part A and B; [Deltour, 1998](#)). In this vocabulary test, participants had to produce a brief definition of a list of keywords and select from a set of given keywords the two synonyms (maximum score was 88).
- Mini Mental State Examination for older adults ([Folstein, Folstein, & McHugh, 1975](#)) which is used to assess possible cognitive impairment.

Eventually, participants performed the twelve search problems (in a randomized order). They all performed the 12 problems. Participants were told that they could stop at any time once they believed they had found the correct answer, or if they could not find a satisfying answer, or no answer at all (they all at least tried to find the target answer to every search problem).

4.4. Variables and data analyses

Three independent variables were manipulated in this experiment:

- Age of participants (young vs older) as between-subject factor.
- Domain knowledge (health vs manga) as a within-subject factor.
- Information search problem complexity (simple, difficult, open-ended) as a within-subject factor.

Several dependent variables were selected to analyze search performance, navigational behavior and query formulation. Performance was measured with two dependent variables:

- DV1: Number of correct answers found per problem. For each problem, 1 point was granted when the correct answer was found. For each false answer or missing answer (e.g. when participants gave up), participants scored 0.
- DV2: Task completion Speed. This score, based on [Aula and Nordhausen's work \(2006\)](#), takes into account the number of successfully solved search problems and the time taken. The TCS corresponds to the number of search problems correctly completed divided by the total problem time for all problems x 3600. The higher the TCS score was, the better the search performance was.

Navigation behavior was measured with three dependent variables:

- DV3: The percentage of time spent on Google search engine (and websites, respectively). Time was recorded from the moment participants started entering their first query to the moment they ended their search.
- DV4: Number of web pages visited. We computed all web pages opened up even if several web pages were part of the same website.

Queries produced by participants were analyzed based on:

- DV5: The number of queries produced. For each problem, we counted the first query produced and the number of reformulations entered in the search engine text box after the unsuccessful first query.
- DV 6: the number of keywords contained per query. We counted how many keywords (operators, full keywords...) were contained in each query produced and calculated means for each search problem.
- DV 7: The number of keywords extracted from the search problem. For each problem, the number of keywords extracted from the statement and used in queries by participants was calculated.
- DV 8: The number of new keywords produced. These new keywords could either be inferred by participants, or read in the different web pages visited, but were not part of the search problem statement. We argue that new keywords allow us to analyze how flexibility and domain knowledge can help users modify their queries by changing reformulation strategies (i.e. produce new keywords to access a new set of search engine results) or by modifying their search goal.
- DV 9: Semantic specificity of the queries. This DV reflected to what extent the queries produced by participants were narrow (i.e. semantically specific to the domain knowledge) or broad (i.e. semantically more general and not specific to the domain knowledge). The goal of this DV was to measure the use of prior domain knowledge in query production and reformulation. Indeed, the more prior knowledge participants had, the more they should produce specific queries, whereas participants with low prior knowledge should produce queries that are semantically more general. It is also to be noted that the semantic specificity of queries did not necessarily cover relevance. In line with [McCrudden and Schraw's work \(2007\)](#), queries that were semantically specific might contain keywords related to important information (i.e. information essential to understand the domain) but these keywords might not be relevant with regards to the search goal (i.e. specific keywords might not lead to the target answer). However, the more semantically specific the queries were, the more useful the results retrieved by the search engine were. In other words, when participants produced semantically specific queries, the search engine *Google* provided results that either contained the search answer to be found or information closely related to it (that might help search for the answer). In contrast, with semantically more general queries (i.e. not semantically specific) *Google* would retrieve less useful search engine results (i.e. that contain general or broad information). To this purpose, we computed a semantic specificity score by calculating a ratio between the number of narrow and broad terms and the number of keywords contained in the query (so that the semantic specificity score was not biased by the length of the query). To assess the semantic nature (narrow vs broad) of keywords, we conducted a component analysis on semantic of all the semantic terms contained in all the queries produced (for the two domain knowledge separately). For each domain knowledge, we elaborated a diagram that contained every keywords used by all participants and ranked those keywords from the broadest keywords (i.e. semantically general), to the narrowest keywords (semantically specific). Broad keywords included keywords belonging to multiple semantic fields (for example, "book" in the manga domain or "body parts" in the health domain), whereas narrow terms included only terms specific to the domain (such as "shojo" which means manga for girls in the manga domain, or names of diseases in the health domain). In between broad terms (the most general terms) and narrow terms (the most specific terms), we included keywords that belonged to the domain knowledge, but did not require much knowledge to know them (for example "heart" or "bloodstream" in the health domain, or "manga" for the manga domain). To calculate the semantic specificity score, we coded 1 point per broad keyword, 2 points for in-between keywords and 3 point per narrow keywords, and finally divided the score obtained by the total number of keywords included in the query. For instance, the query "manga about baseball for girls" would have a lower semantic specificity score (1.4) than the query "shojo about baseball" (2).

5. Results

Mixed $2 \times 3 \times 2$ MANOVAs were performed with age as a between-subject factor and domain knowledge and problem complexity as within-subject factors. Analyses were made on each dependent variable linked to search performance, navigation and reformulation. Homogeneity assumption was respected (Levene's test $p > .05$) but sphericity assumption was on the line. To prevent any type I error, we followed recommendations suggested by previous works ([Howell, 2012](#)) and used the Epsilon value calculated by SPSS (ϵ) to reduce the degree of freedom from any distribution of F . Epsilon value was close to .70 for each dependent value, we used the Huynh & Feldt ($\hat{\epsilon}$) measure. Wilk's lambda (Λ) statistic test was used with a significant value of .05. Partial (η^2) was used as an index of effect size.

5.1. Differences between young and older participants: domain knowledge, cognitive and verbal abilities

t tests confirmed that older adults had significantly higher vocabulary skills ($t(36) = -6.97, p < .001$) and lower cognitive flexibility (TMT time completion) than young ones ($t(36) = -2.37, p = .02$). Older adults also had more health domain

Table 3

Means and standard deviations of vocabulary skills, cognitive flexibility, health prior knowledge and manga prior knowledge.

Measures	Young adults	Older adults
Mill Hill (vocabulary skills)	36.79 (8.72)	51.42 (4.23) ^a
TMT (in seconds) : cognitive flexibility	53.79 (23.01)	77.05 (34.17) ^a
% of correct answer health domain knowledge test	46.3 (1.67)	65.8 (1.35) ^a
% of correct answer manga domain knowledge test	65.3 (1.50) ^a	48.4 (1.57)
Perceived time spent on the internet per week (in hour)	5.89 (.32)	5.79 (.42)

^a $p < .05$ **Table 4**

Means and standard deviations of the percentage of correct answers found and task completion speed. Y means Younger participants, O means Older participants.

		Domain knowledge and search problem complexity					
		Simple		Difficult		Open-ended	
		Manga	Health	Manga	Health	Manga	Health
% of correct answers	Y	89.5 (.54)	67.5 (.75)	58 (.90)	29 (.67)	85.5 (.45)	65 (.47)
	O	75 (.62)	48.5 (.67)	29 (.77)	48.5 (.67)	55 (.54)	40.5 (.68)
Time completion speed	Y	5.06 (1.11)	4.70 (.94)	1.13 (.41)	.85 (.20)	.64 (.17)	.56 (.26)
	O	2.24 (1.11)	4.06 (.94)	.67 (.41)	.79 (.20)	.67 (.17)	.42 (.26)

knowledge than young ones ($t(36) = -4.04, p < .001$) whereas young adults had more manga domain knowledge than older ones ($t(36) = 3.43, p < .01$). See Table 3 above for means and SD.

5.2. Performance: percentage of correct answers and time completion speed

5.2.1. Percentage of correct answers

Results of the mixed MANOVAs showed that effects of age did not reach significance on the percentage of correct answers provided ($F(1,36) = 3.26, p = .08, p = n.s.$). Complexity had a significant effect ($\Lambda = .29, F(2,70) = 43.47, p < .001, \eta^2_p = .71$). Post-hoc Bonferroni tests showed that participants found more correct answers for simple problems than for difficult ($p < .001$) open-ended ones ($p < .01$), and for open-ended problems as compared to difficult ones ($p < .001$). Effect of domain also reached significance ($\Lambda = .88, F(1,36) = 4.26, p = .05, \eta^2 = .11$): participants found more correct answers in the manga domain ($M = 65.3\% SD = .07$) than in the health domain ($M = 56.5\% SD = .07$). Interaction between domain and complexity was not significant ($p = n.s.$). As we expected, results revealed a significant interaction between age and domain ($\Lambda = .74, F(1,36) = 6.10, p < .01, \eta^2_p = .26$). In the manga domain, older adults found fewer correct answers than young ones ($F(2,34) = 5.89, p < .001, \eta^2_p = .26$), but in the health domain, effects of age disappeared ($F(2,34) = .50, p = n.s.$). An age and complexity interaction also revealed that young adults outperformed older adults in open-ended problems ($\Lambda = .71, F(1,36) = 14.73, p < .001, \eta^2_p = .29$), whereas effects of age disappeared in the two other types of problems ($F(2,34) = .94, n.s.$ and $F(2,34) = .34, p = n.s.$), which did not confirm hypothesis (H3a). Interactions between age, complexity and domain was not significant ($p = n.s.$).

5.2.2. Task completion speed

As a reminder, task completion speed corresponded to the time taken to successfully complete the search problems. Results of the mixed MANOVAs showed that effect of age did not reach significance ($F(1,36) = 1.38, p = n.s.$). Complexity had a significant effect ($\Lambda = .47, F(2,72) = 35.11, p < .001, \eta^2_p = .49$). Post hoc tests showed that participants had shorter TCS for simple problems as compared to difficult ($p < .001$) and open-ended ones ($p < .001$), as well as, for open-ended problems as compared to difficult ones ($p = .01$). Effect of domain knowledge did not reach significance ($F(1,36) = .32, p = n.s.$). Interaction between age and complexity was not significant ($F(1,36) = 2.02, p = n.s.$). Interaction between age and domain was not significant ($F(1,36) = 1.94, p = n.s.$). The interaction between age, domain and complexity was not significant either ($F(2,72) = 2.32, p = n.s.$) (Table 4).

5.3. Navigation

5.3.1. Percentage of time spent on google

Results of the mixed MANOVAs showed no significant effect of age ($p = n.s.$) or domain ($p = n.s.$) on the percentage of time spent on the search engine, which did not confirm hypothesis (H1a). However, effect of complexity reached significance ($\Lambda = .66, F(2,74) = 7.60, p < .01, \eta^2_p = .17$). Participants spent a greater percentage of time on Google for simple problems ($M = 62.52 SD = 8.88$) than for difficult ($M = 38.77 SD = 3.78$) and open-ended ones ($M = 36.84 SD = 2.61$). Unlike what we expected (H3b), the interactions between age and complexity ($p = n.s.$) and between age and domain did

Table 5
Means and standard deviations of the percentage of time spent on Google and the number of webpages visited. Y means Younger participants. O means Older participants.

		Domain knowledge and problem complexity					
		Simple		Difficult		Open-ended	
		Manga	Health	Manga	Health	Manga	Health
% of time spent on Google	Y	65.44 (8.49)	71.30 (58.89)	38.49 (10.16)	35.38 (9.96)	25.47 (21.49)	35.43 (60.42)
	O	49.05 (8.49)	66.16 (28.89)	43.77 (10.16)	10.81 (9.96)	43.79 (21.49)	51.02 (60.42)
Number of webpages	Y	.45 (.44)	.64 (.59)	1.42 (1.09)	1.33 (.95)	2.81 (2.07)	4.61 (2.75)
	O	1.24 (1.21)	.55 (.72)	1.61 (.86)	1.32 (.75)	4.05 (3.04)	3.63 (2.43)

Table 6
Means and standard deviations of the number of queries produced and the number of keywords contained per query (i.e. query length). Y means Younger participants. O means Older participants.

		Domain knowledge and problem complexity					
		Simple		Difficult		Open-ended	
		Manga	Health	Manga	Manga	Health	Manga
Number of queries produced	Y	1.17 (.33)	1.29 (.45)	1.71 (1.42)	2.33 (1.35)	2.67 (1.37)	3.67 (2.72)
	O	1.53 (.53)	1.03 (.12)	1.58 (.55)	1.64 (.89)	1.94 (.99)	1.03 (.12)
Number of keywords per query	Y	3.29 (.97)	4.21 (1.70)	3.54 (1.69)	6.64 (2.88)	7.71 (2.66)	9.50 (2.46)
	O	4.36 (1.49)	3.14 (1.54)	3.31 (1.50)	4.25 (2.14)	7.28 (3.10)	9.06 (3.48)

not reach significance ($p = n.s.$). Interaction effect between age, domain knowledge and complexity was not significant ($p = n.s.$). See Table 5 below for the percentage of time spent on the search engine pages.

5.3.2. Number of webpages visited

Mixed MANOVAs showed no significant effect of age ($p = n.s.$). Effect of problem complexity reached significance ($\Lambda = .28, F(2,70) = 67.62, p < .001, \eta^2_p = .66$). Results showed that participants visited fewer web pages for simple problems as compared to difficult ($p < .01$) and open-ended ones ($p < .001$) as well as for difficult problems as compared to open-ended ones ($p < .001$). Effects of domain knowledge was not significant ($p = n.s.$). Interaction between age and complexity did not reach significance ($p = n.s.$), which did not confirm hypothesis H3a. However, a significant interaction between age and domain appeared ($\Lambda = .68, (F(1,35) = 13.68, p = .001, \eta^2_p = .28$). Post hoc tests showed that in the manga domain, older adults visited more web pages than young adults ($F(1,35) = 4.21, p = .05, \eta^2_p = .11$), whereas in the health domain, effects of age disappeared ($p = n.s.$), as expected (H2a). Interaction between age, domain knowledge and complexity was not significant ($p = n.s.$) (see Table 5 above for means and SD).

Overall, our results did not show any significant age-related differences on the time spent analyzing the search engine results pages. However, results showed that for the manga domain, older adults visited a greater number of webpages than young ones, whereas for the health domain, no age-related differences were found.

5.4. Query production

5.4.1. Number of queries

Age had a significant effect on the number of queries produced ($F(1, 30) = 5.38, p < .03, \eta^2_p = .15$), as expected (H1b). Older adults produced fewer queries than young ones (respectively, $M = 1.70 SD = .15$ and $M = 2.31 SD = .17$), as expected (H1a). Effect of complexity also reached significance ($\Lambda = .19, F(2,60) = 37.79, p < .001, \eta^2_p = .56$). Participants produced more queries for the open-ended problems than for difficult ($p < .001$) and simple ones ($p < .001$). Participants also produced significantly more queries for open-ended problems than for difficult ones ($p < .001$). Effect of domain was also significant ($\Lambda = .56, F(3,28) = 7.28, p < .001, \eta^2_p = .44$). In the manga domain, participants produced fewer queries than for the health domain ($p < .05$). Results also pointed out a marginally significant interaction between age and complexity ($\Lambda = .90, F(2,29) = 3.21, p = .07, \eta^2_p = .17$). Post hoc Bonferroni tests revealed that for open-ended problems older adults produced fewer queries than young ones ($F(1,30) = 5.85, p < .02, \eta^2_p = .16$), whereas for difficult ($p = n.s.$) and simple problems ($p = n.s.$) effects of age disappeared, as expected (H3c). Interaction between age and domain did not reach significance ($p = n.s.$), which did not confirm hypothesis H2b. Interaction effect between age, domain knowledge and complexity was not significant ($p = n.s.$). See Table 6 below for means and SD.

5.4.2. Number of keywords contained per query (i.e. query length)

Results of the mixed MANOVAs showed no significant effects of age on the length of the queries produced ($p = n.s.$). The effect of complexity was significant ($\Lambda = .22, F(2,56) = 36.91, p < .001, \eta^2_p = .57$). Participants produced significantly

Table 7

Means and standard deviations of the number of keywords extracted from the search problem statements and the number of new keywords used by participants. Y means Younger participants. O means Older participants.

		Domain knowledge and problem complexity					
		Simple		Difficult		Open-ended	
		Manga	Health	Manga	Manga	Health	Manga
Number of new keywords	Y	.21 (.45)	.58 (.97)	.75 (.92)	1.38 (.74)	3.46 (2.44)	3.58 (2.42)
	O	.22 (.43)	.17 (.30)	.11 (.27)	1.14 (1.01)	2.28 (1.25)	2.28 (1.25)
Number of keywords extracted from the search problem statements	Y	2.54 (1.10)	3.04 (1.08)	2.29 (.81)	3.13 (.91)	3.38 (1.13)	4.42 (1.12)
	O	3.47 (.92)	2.53 (1.10)	2.89 (1.02)	2.22 (.93)	3.69 (1.44)	4.31 (1.99)

longer queries for difficult ($p < .001$) and open-ended problems ($p < .001$) than for simple ones. The queries produced for the open-ended problems were also longer than those produced for difficult ones ($p < .001$). Effects of domain reached significance ($\Lambda = .40$, $F(1,28) = 30.74$, $p < .001$, $\eta^2_p = .52$). Participants produced significantly shorter queries for the health domain than for the manga domain ($p < .001$). Interaction between age and domain was significant ($\Lambda = .63$, $F(1,28) = 8.13$, $p < .01$, $\eta^2_p = .23$). Post hoc Bonferroni tests showed that in the health domain, older adults produced significantly shorter queries than young adults ($p = .03$), whereas for the manga domain, effects of age disappeared ($p = n.s.$), as expected (H2b). Interaction between age and complexity did not reach significance ($p = n.s.$). Interaction effect between age, domain knowledge and complexity was not significant ($p = n.s.$). See Table 6 above for means and SD.

5.4.3. Number of keywords extracted from the search problem statements

Results showed no effect of age on the number of keywords directly extracted from the search problem statements ($p = n.s.$), which did not confirm hypothesis (H1b). Effects of complexity reached significance ($\Lambda = .19$, $F(2,60) = 23.78$, $p < .001$, $\eta^2_p = .44$). Post hoc tests showed that participants used significantly more keywords from the search problem statements for open-ended problems as compared to simple ($p < .001$) and difficult ones ($p < .001$). No differences were found between simple and difficult problems ($p = n.s.$). Effect of domain did not reach significance ($p = n.s.$). Interaction between age and complexity was significant ($\Lambda = .68$, $F(2,60) = 14.34$, $p = .001$, $\eta^2_p = .32$), as expected (H3c). Post hoc tests showed that older adults used significantly fewer keywords provided in the search problem statements than young adults for open-ended problems ($p = .05$), whereas for difficult problems, the effect of age was marginal ($p = .08$), and disappeared for simple problems ($p = n.s.$). Interaction between age and domain also reached significance ($\Lambda = .63$, $F(1, 29) = 16.15$, $p < .001$, $\eta^2_p = .36$). In the health domain, older adults used fewer keywords directly extracted from the search problems than young adults ($p = .03$), whereas in the manga domain, effects of age disappeared. ($p = n.s.$), as expected (H2b). Interaction effect between age, domain knowledge and complexity was not significant ($p = n.s.$). See Table 7 below for the means and SD.

5.4.4. Number of new keywords (words inferred by the participants)

Results showed that the effect of age on the number of new keyword produced was significant ($F(1, 30) = 4.30$, $p < .05$, $\eta^2_p = .13$). Older adults produced fewer new keywords than young ones (respectively $M = 1.03$ $SD = .16$ and $M = 1.66$ $SD = .19$), which confirmed hypothesis (H1b). Effect of complexity was also significant ($\Lambda = .19$, $F(2,60) = 48.22$, $p < .001$, $\eta^2_p = .62$). Post hoc tests showed that participants produced a greater number of new keywords for open-ended problems than for difficult ($p < .001$) and simple ones ($p < .001$) and for difficult problems as compared to simple ones ($p < .001$). Effects of domain was significant ($\Lambda = .56$, $F(1,30) = 17.76$, $p < .001$, $\eta^2_p = .37$). Participants produced fewer new keywords for the Manga domain as compared to the health domain. Both the interactions between age and complexity and between age and domain did not reach significance ($p = n.s.$). Interaction effect between age, domain knowledge and complexity was not significant ($p = n.s.$). See Table 7 above for the means and SD.

5.4.5. Semantic specificity of the queries produced

The semantic specificity of queries measured to what extent the queries produced were narrow (i.e. specific to the domain knowledge) or broad (i.e. not specific to the domain knowledge). The more semantically specific the queries were, the more the search engine results provided useful search results (i.e. that contained the answer or useful information to find it). Mixed MANOVAs revealed no effect of age ($p = n.s.$). Effect of complexity was significant ($\Lambda = .49$, $F(2,60) = 16.44$, $p < .001$, $\eta^2_p = .35$). Post hoc tests showed that participants produced queries semantically less specific for open-ended problems as compared to simple ($p < .001$) and difficult ones ($p < .001$). No differences were found between simple and difficult problems ($p = n.s.$). Effects of domain and the interaction between age and complexity did not reach significance ($p = n.s.$). However, interaction between age and domain was significant ($\Lambda = .72$, $F(1,30) = 9.60$, $p < .01$, $\eta^2_p = .24$). Post hoc Bonferroni tests showed that in the health domain, older adults produced semantically more specific queries than young adults ($p < .01$), whereas for the manga domain, effects of age disappeared ($p = n.s.$), which confirmed hypothesis (H2b). Triple interaction between age, complexity and domain also reached significance ($\Lambda = .72$, $F(2,60) = 5.92$, $p < .01$, $\eta^2_p = .17$). Post hoc tests showed that the interaction between age and domain knowledge was significant for simple ($p = .03$) and difficult problems

Table 8

Means and standard deviations of the semantic nature of queries. Y means Younger participants. O means Older participants.

		Domain knowledge and problem complexity					
		Simple		Difficult		Open-ended	
		Manga	Health	Manga	Manga	Health	Manga
semantic specificity of queries	Y	2.73 (.31)	4.00 (.18)	3.19 (.22)	2.65 (.19)	2.62 (.17)	3.24 (.58)
	O	2.15 (.27)	4.15 (.21)	3.24 (.20)	3.71 (.16)	2.27 (.15)	5.77 (.67)

($p < .01$), but not for open-ended ones ($p = n.s.$); health domain knowledge helped older adults produce queries semantically more specific than young adults ones for simple and difficult problems. See Table 8 below for the means and SD.

Overall, our results corroborated previous empirical findings and showed that older adults reformulated less often (i.e. produced fewer queries) and produced fewer new keywords than young ones. However, no significant differences were found on the number of keywords extracted from the search problem statements and the semantic nature of the queries produced. Interesting results also pointed out several interactions between age and domain knowledge. In the health domain, older adults reformulated as much as young adults (whereas they made fewer reformulations in the manga domain), they made shorter queries, they used fewer keywords directly extracted from the search problems and they produced queries semantically more specific than young adults. In contrast, in the manga domain these effects disappeared. Interactions between age and complexity also revealed that for open-ended problems, older adults made fewer reformulations, used fewer search problems provided keywords than young ones. Eventually, older adults only produced semantically more specific queries for the simple and difficult health problems, whereas for the manga domain and for the open-ended problems, effects of age disappeared.

6. Discussion

The aim of this study was to analyze the influence of prior domain knowledge and age (older vs young adults) on information searching problems of varying complexity. For that purpose, participants had to answer twelve search problems (simple, difficult and open-ended ones) from two knowledge domains (health and manga). Regarding performance and the number of correct answers found, our findings showed that older adults were outperformed (i.e. found fewer correct answers) in the manga domain, whereas in the health domain knowledge, effects of age disappeared. Health prior knowledge probably helped older adults elaborate a more coherent mental representation of the problem space and helped them process the concepts at stake to improve search accuracy and engage more efficiently in the search to find the target answer. This is consistent with previous findings (Monchaux et al., 2015) showing that domain expertise supports search performance.

6.1. Effects of age

Our results corroborated prior known empirical results about the impact of age on information searching (Dommes et al., 2011). As we hypothesized (H1b), older adults reformulated less (i.e. they produced fewer queries) and produced fewer new keywords than young ones. These results can be explained by the age-related decline in cognitive flexibility and inhibition processes (Czaja et al., 2001; Salthouse, 2012). However, unlike what we expected (H1b), older adults did not use more keywords extracted from the search problem statements than young ones. Indeed, older adults did not use all keywords contained in the search problem statements (or at least most of the keywords contained in the search problem statements as we expected) to produce their queries. Older adults may have benefited from higher vocabulary skills to select the most useful keywords from the search problem statements. In addition, no age-related differences were found on the semantic specificity of queries. Internet habits may explain why older adults did not produce semantically more general (i.e. broad) queries. Indeed, all participants declared spending approximately the same amount of time browsing Internet at home. Hence both young and older adults might have been familiar to search on Internet for information and had developed useful strategies when producing and reformulating queries. In addition, no differences were found on the percentage of time spent on Google pages and on the number of webpages visited between young and old adults (H1a). These surprising results might be explained by either too high levels of complexity (older adults found significantly fewer correct answers than young ones) or a lack of interest in the search problems that led older adults to earlier termination of the search.

6.2. Interactions between age and domain knowledge

As we hypothesized, older adults benefited from their health prior knowledge when reformulating queries (H2b). Indeed, in the health domain knowledge, older adults produced shorter queries (i.e. that contained with fewer keywords), used fewer search statement keywords (i.e. they inhibited more keywords we provided in problem statement) and produced queries that were significantly more specific than young ones. In contrast, in the manga domain, effects of age disappeared. In the health domain knowledge, prior domain knowledge probably helped older adults reformulate more accurately

and inhibit keywords extracted from the search problem statements. In line with previous findings showing that domain knowledge helped users inhibit ambiguous keywords to produce keywords that are semantically more domain-specific (Lei et al., 2013; Vakkari, 2002; Vakkari et al., 2003; Wildermuth, 2004), health domain knowledge may have helped older users produce queries with more domain-specific keywords. In other words, prior health knowledge probably supported the evaluation of information on the search engine pages and websites, as well as the selection and the production of new domain-related specific keywords. In addition, producing queries that were semantically more specific was particularly useful to access more useful results on Google result pages and helped older adults locate a relevant webpage to open up (which in the end allowed them to find as many correct answers as young adults in the health domain). As expected, in the manga domain knowledge, older adults visited more webpages than young ones, whereas in the health domain knowledge, effects of age disappeared (H2a). Prior health domain knowledge probably helped older adults navigate as efficiently as young adults through webpages. The manga domain probably was challenging for older adults as no prior knowledge could help them evaluate both the relevance of the search engine results retrieved by Google and the relevance of the webpages they visited. Hence, older adults might have experienced orientation difficulties or difficulties assessing the accuracy of the information they found, which led them to visit a greater number of webpages in the Manga domain "to be sure" of their answers before providing it. However, unlike prior studies reporting that older adults were slower (Van Deursen, 2012), in our experiment, older adults did not require longer times to complete the problems than young ones, but they developed different search strategies (as obtained by Chevalier et al., 2015; Dommes et al., 2011).

6.3. Interaction between age and search complexity

Unlike what we expected, older adults did not visit more webpages nor spent more time on Google pages than young ones for difficult and open-ended problems (H3b). Complexity was challenging for both older and young users as they had to adapt to the search problem requirements by allocating longer time to the search engine page analyses and visited more webpages. As we hypothesized (H3c), older adults reformulated less than young ones for open-ended problems but not for difficult and simple problems. As a reminder, difficult problems required participants to infer semantically specific keywords in order to retrieve more useful search engine results on Google. As part of crystallized abilities, inference-making tends to increase with age, and probably helped older adults reformulate and adapt to the constraints of the difficult problems (which might explain why no differences were found on the number of reformulations between young and older adults for difficult problems). In line with this pattern, older adults used fewer keywords extracted from the search statements for open-ended and difficult problems (as a reminder, simple problems required participants to select the useful keywords from the search statement problem, so it was relevant to use them). As we expected (H3c), crystallized abilities, such as inference-making, probably helped older adults make inferences, connections between the different concepts of the open-ended problems, in order to elaborate a more coherent mental representation of the problem space at stake, and thus helped older adults inhibit unnecessary keywords from the search statements. However, we also expected (H3a) crystallized abilities and domain knowledge to help older adults be more efficient for open-ended problems (as found in prior empirical works by Chin et al., 010). Yet, older adults were outperformed by young ones for open-ended problems (i.e. they found fewer correct answers) and they produced semantically more specific queries in simple and difficult health problems but not for open-ended health ones (and manga problems). In our experiment, open-ended problems required participants to process a greater number of web pages to determine one acceptable correct answer among several possible ones. To solve open-ended problems, participants had to gather several criteria provided in the search problems, and build a coherent mental representation of the information search goal. The unexpected result found in the present experiment might show that open-ended problems were too challenging and cognitively demanding for older adults. Older adults might have reformulated less than young ones for open-ended problems because they had difficulties allocating resources for comprehension processes and inference-making (i.e. processing the search problem criteria and connecting new information found on the internet with prior knowledge), search engine result pages analyses, and webpage selection. In addition, the triple interaction we found between age, domain knowledge and complexity showed that older adults produced queries semantically more specific for simple and difficult health problems only (i.e. the problems that required to search for specific facts). This seems to point out specific reformulation strategies related to the user's search goal and the features of the search problem itself. Prior health domain knowledge may have helped older adults produce queries that were semantically more specific and useful when they were searching for specific facts. However, when older adults were searching for problems that required more comprehension processes, they produced queries that were semantically more general, probably in order to tackle a wider problem-space or to save up some cognitive resources for navigation processes. Indeed, our open-ended problems might also have been challenging because it required older users to navigate and browse more webpages. Older adults might have faced a greater number of websites they might not be familiar with or process a greater amount of information. Eventually, this might have overloaded their cognitive resources and led them to produce semantically broader queries to avoid processing semantically too complex content in an unfamiliar environment.

7. Limitations and further works

Overall, our main results corroborate prior findings on the impact of domain knowledge on the age-related differences found in reformulation. However, our study also pointed out new findings regarding older adults' behavior when processing

open-ended information search problems. In contrast with prior results (Chin & Fu, 2010), older adults did not benefit from their prior domain knowledge for open-ended problems (i.e. they kept producing semantically less specific queries, reformulated less as compared to simple and difficult problems, and had more difficulties finding a correct answer). The difficulties encountered by older adults for cognitively demanding open-ended problems tend to show that when information search problems require to process a larger amount of information (i.e. keep active in working memory more concepts and need more comprehension processes), domain knowledge alone was not enough to help older adults use complex reformulation strategies. These results might point out that for highly demanding search problems such as open-ended ones, older adults could need more knowledge on the information search problem itself (i.e. searching skills) to make use of their prior domain knowledge (Thatcher, 2008). Some limitations also need to be overcome for further works. Manga was selected in this experiment to be more in favor of young adults, and it was indeed a good domain to analyze the impact of age when older adults could not count on domain knowledge, but it also prevented other abilities such as inference-making. Manga are Japanese comic books, hence, most of the specific terms come from the Japanese language and could not be directly inferred by older adults. They had to infer other words to deal with these specific terms. This domain knowledge represented a challenge for seniors both deprived of domain knowledge and inference abilities. As comprehension and evaluation processes tend to be crucial for older adults, further works should take a deeper look at the comprehension and evaluation of the search engine results with a less challenging domain knowledge. Eye tracking measures would provide relevant data as to which information young and older adults use to either click on a website or reformulate a query. Our findings showed that older adults maximized the use of their prior domain knowledge particularly to navigate more efficiently and improve the semantic specificity of the queries they produced. However, when the search problems were cognitively too demanding, older adults had difficulties using their prior knowledge. Hence, information searching tools should help older adults make use of their prior knowledge and support the inference of new keywords and the evaluation of the search engine results. It is also to be noted that in the present experiment, young and older users might have had different level of domain interest (i.e. interest in the topic content) for manga and health. We selected two knowledge domains because we expected young and older users to have different level of prior knowledge in those domains. However, prior domain knowledge is usually linked to different types of knowledge related to the domain (such as strategic knowledge or metacognitive knowledge, Dochy, De Rijdt, & Dyck, 2002) and also to higher interest for the task and content related to the domain (Tobias, 1994). Thereby, as many other studies investigating prior knowledge, it is difficult to disentangle the effects due to semantic prior knowledge from the effects due to metacognitive knowledge or interest for the experimental task. Hence, metacognitive knowledge and interest may have, along with prior knowledge, influenced the time and the attentional resources devoting to exploring, processing information and completing the search problems (Bowler, 2010; Lawless, Brown, Mills, & Mayall, 2003). Though domain interest did not result in more browsing and exploring in the present study (i.e. older adults visited more webpages than young ones on the manga domain, whereas no age-related differences were found on the health domain), interest may cause older users to be more engaged and curious about the health domain (Bowler, 2010). For instance, domain interest may have helped older users select more relevant information on the search engine pages and webpages and eventually supported the production of semantically more specific keywords in the health domain). Further works should thus address this issue. Future works could for instance evaluate in deeper details domain knowledge and its different attributes (i.e. declarative, procedural or metacognitive knowledge) and measure situational interest (i.e. interest for the task itself).

References

- Aula, A. (2005). User study on older adults' use of Web and search engines. *Universal Access in the Information Society*, 4, 67–81. doi:10.1007/s10209-004-0097-7.
- Aula, A., & Nordhausen, K. (2006). Modeling successful performance in Web searching. *Journal of the American society for information science and technology*, 57(12), 1678–1693.
- Barsky, E., & Bar-Ilan, J. (2012). The impact of task phrasing on the choice of search keywords and on the search process and success. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(10), 1987–2005.
- Bell, D. J., & Ruthven, I. (2004). Searchers' assessments Of Task Complexity For Web Searching. In *Proceedings Of the 26th European conference On information retrieval* (pp. 57–71).
- Bowler, L. (2010). The self-regulation of curiosity and interest during the information search process of adolescent students. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(7), 1332–1344.
- Campbell, D. J. (1988). Task complexity: A review and analysis. *Academy of Management Review*, 13(1), 40–52.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. New York: Houghton Mifflin ISBN 0-395-04275-5.
- Cattell, R. B., & Horn, J. L. (1978). A check on the theory of fluid and crystallized intelligence with description of new subtest designs. *Journal of Educational Measurement*, 15(3), 139–164.
- Chevalier, A., & Chevalier, N. (2009). Influence of proficiency level and constraints on viewpoint switching: A study in web design. *Applied Cognitive Psychology*, 23(1), 126–137.
- Chevalier, A., Dommès, A., & Marquié, J.-C. (2015). Strategy and accuracy during information search on the Web: Effects of age and complexity of the search questions. *Computers in Human Behavior*, 53, 305–315.
- Chin, J., & Fu, W.-T. (2010). *Interactive effects of age and interface differences on search strategies and performance* (pp. 403–412). ACM Press.
- Chin, J., Fu, W.-T., & Kannampallil, T. (2009). Adaptive information search: Age-dependent interactions between cognitive profiles and strategies. In *Proceedings of the 27th annual conference of ACM computer human interaction (CHI) conference*.
- Czaja, S. J., Sharit, J., Ownby, R., Roth, D., & Nair, S. (2001). Examining age differences in performance in a complex information search and retrieval task. *Psychology and Aging*, 16, 564–579. doi:10.1145/1089107.1089135.
- Deltour, J. J. (1998). *Echelle de vocabulaire Mill-Hill de J.-C. Raven, adaptation française*. Paris: EAP.
- Dinet, J., Chevalier, A., & Tricot, A. (2012). Information searching behavior: An introduction. *European Review of Applied Psychology*, 62, 49–62.
- Dochy, E., De Rijdt, C., & Dyck, W. (2002). Cognitive prerequisites and learning how far have we progressed since bloom? Implications for educational practice and teaching. *Active learning in higher education*, 3(3), 265–284.

- Dommes, A., Chevalier, A., & Lia, S. (2011). The role of cognitive flexibility and vocabulary abilities of younger and older users in searching for information on the Web. *Applied Cognitive Psychology*, 25, 717–726. doi:10.1002/acp.1743.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of psychiatric research*, 12(3), 189–198.
- Hölscher, C., & Strube, G. (2000). Web search behavior of Internet experts and newbies. *Computer Networks*, 33, 337–346.
- Howell, D. C. (2012). Statistical methods for psychology. *Cengage Learning*.
- Ihadjadene, M., & Martins, D. (2004). Experts dans le domaine, experts en Internet: Les effets sur la recherche d'information. 2004. 39, fascicule thématique. *Critique de la raison numérique*. Paris, 1988: Hermès.
- Kitajima, M., Blackmon, M. H., & Polson, P. G. (2000). A comprehension-based model of Web navigation and its application to Web usability. In S. McDonald, Y. Waern, & G. Cockton (Eds.), *Proceedings of HCI 2000, people and computers XIV - Usability of else* (pp. 357–373). New-York: Springer.
- Lawless, K. A., Brown, S. W., Mills, R., & Mayall, H. J. (2003). Knowledge, interest, recall and navigation: A look at hypertext processing. *Journal of Literacy Research*, 35(3), 911–934.
- Lei, P. L., Lin, S. S., & Sun, C. T. (2013). Effect of reading ability and internet experience on keyword-based image search. *Educational Technology & Society*, 16(2), 151–162.
- Liu, P., & Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 553–568.
- Matsuda, Y., Uwano, H., Ohira, M., & Matsumoto, K. I. (2009). An analysis of eye movements during browsing multiple search results pages. *Human-computer interaction. New trends* (pp. 121–130). Berlin Heidelberg: Springer.
- McCrudden, M. T., & Schraw, G. (2007). Relevance and goal-focusing in text processing. *Educational Psychology Review*, 19(2), 113–139.
- Mead, S. E., Spaulding, V. A., Sit, R. A., Meyer, B., & Walker, N. (1997). Effects of age and training on World Wide Web navigation strategies. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting: 41(1)* (pp. 152–156). SAGE Publications.
- Monchoux, S., Amadiou, F., Chevalier, A., & Mariné, C. (2015). Query strategies during information searching: Effects of prior domain knowledge and complexity of the information problems to be solved. *Information Processing & Management*, 51(5), 557–569.
- Navarro-Prieto, R., Scaife, M., & Rogers, Y. (1999, July). Cognitive strategies in web searching. In *Proceedings of the 5th conference on human factors & the Web* (pp. 43–56).
- Pak, R., & Price, M. M. (2008). Designing an information search interface for younger and older adults. *Human Factors*, 50, 614–628. doi:10.1518/001872008x3123140.
- Rouet, J. F., & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte: Vers un modèle des processus cognitifs. *Hypertextes et hypermédias*, 57–74.
- Salmerón, L., Cañas, J. J., & Fajardo, I. (2005). Are expert users always better searchers? Interaction of expertise and semantic grouping in hypertext search tasks. *Behaviour & Information Technology*, 24(6), 471–475.
- Salthouse, T. (2012). Consequences of age-related cognitive declines. *Annual review of psychology*, 63, 201.
- Sharit, J., Hernández, M. A., Czaja, S. J., & Pirolli, P. (2008). Investigating the roles of knowledge and cognitive abilities in older adult information seeking on the web. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(1), 3.
- Sharit, J., Taha, J., Berkowsky, R. W., Profita, H., & Czaja, S. J. (2015). Online information search performance and search strategies in a health problem-solving scenario. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*. doi:10.1177/1555343415583747.
- Sihvonen, A., & Vakkari, P. (2004). Subject knowledge improves interactive query expansion assisted by a thesaurus. *Journal of Documentation*, 60(6), 673–690.
- Slegers, K., Van Boxtel, M. P., & Jolles, J. (2012). Computer use in older adults: Determinants and the relationship with cognitive change over a 6 year episode. *Computers in Human Behavior*, 28(1), 1–10.
- Spree, O., & Strauss, E. (1991). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. New York: Oxford University Press.
- Stronge, A. J., Rogers, W. A., & Fisk, A. D. (2006). Web-based information search and retrieval: Effects of strategy use and age on search success. *Human Factors*, 48, 434–446. doi:10.1518/001872006778606804.
- Tatatabai, D., & Shore, B. M. (2005). How experts and novices search the Web. *Library & Information Science Research*, 27, 222–248.
- Thatcher, A. (2006). Information-seeking behavior and cognitive search strategies in different search tasks on the WWW. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 1055–1068.
- Thatcher, A. (2008). Web search strategies: The influence of web experience and task type. *Information Processing and Management*, 44, 1308–1329.
- Tobias, S. (1994). Interest, prior knowledge, and learning. *Review of Educational Research*, 64(1), 37–54.
- Vakkari, P., Pennanen, M., & Serola, S. (2003). Changes of search terms and tactics while writing a research proposal. *Information Processing & Management*, 39, 445–463.
- Vakkari, P. (2002). Subject knowledge, source of terms, and term selection in query expansion: an analytical study. *Advances in information retrieval* (pp. 110–123). Berlin Heidelberg: Springer.
- Van Deursen, A. J., & van Dijk, J. A. (2009). Improving digital skills for the use of online public information and services. *Government Information Quarterly*, 26(2), 333–340.
- Van Deursen, A. (2012). Internet skill-related problems in accessing online health information. *International Journal of Medical Informatics*, 81, 61–72.
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary scores: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 18, 332–339.
- Wagner, N., Hassanein, K., & Head, M. (2014). The impact of age on website usability. *Computers in Human Behavior*, 37, 270–282.
- Wildemuth, B. M. (2004). The effect of domain knowledge on search tactic formulation. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 55(3), 246–258.
- Willoughby, T., Anderson, S. A., Wood, E., Mueller, J., & Ross, C. (2009). Fast searching for information on the Internet to use in a learning context: The impact of domain knowledge. *Computers & Education*, 52, 640–648.

Chapitre 7 Article 2: Sanchiz, M., Chevalier, A., & Amadiou, F. (2017). How do older and young adults start searching for information? Impact of Age, Domain Knowledge and Problem Complexity steps of Information Searching. *Computers in Human Behavior*, 72, 67–78. doi: 10.1016/j.chb.2017.02.038



Contents lists available at ScienceDirect

Computers in Human Behavior

journal homepage: www.elsevier.com/locate/complumbeh

How do older and young adults start searching for information? Impact of age, domain knowledge and problem complexity on the different steps of information searching

M. Sanchiz^{*}, A. Chevalier, F. Amadiou

Laboratoire Cognition Langues Langage Ergonomie (UMR-CNRS 5263, Toulouse University, EPHE), France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 14 September 2016

Received in revised form

10 February 2017

Accepted 13 February 2017

Keywords:

Information searching

Aging

Reformulation

Domain knowledge

Complexity

ABSTRACT

The present study addressed the age-related differences in query production and information searching performance when interacting with a search engine. To this end, 20 older adults and 20 young ones performed 12 information search problems of varying complexity in two knowledge domains (health and fantastic movies). Participants had simple (useful keywords provided and answer directly accessible in Google), inferential (inferences to produce useful keywords required) and multicriteria problems (information gathering and navigation required). Results showed that older adults produced their first query with more keywords extracted from the search problem statements and spent more time on the search engine pages than young ones. In the fantastic movies, older adults struggled more than young ones and had difficulties reformulating their queries (i.e. fewer new keywords produced, more statement provided keywords). Older adults especially struggled at the beginning of the search (more time spent on the first search engine result page than young ones and they produced less elaborate initial query). In contrast, in the health domain, higher prior knowledge helped older users reformulate queries that were more elaborated (i.e. no age-related differences on the number of new keywords) and improved the processing of the first search engine page consulted.

© 2017 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Older adults represent one of the fastest growing population of internet users. Yet, due to the complex characteristics of the web — large amount of information to be processed and heterogeneous organization of websites — older users still have difficulties using the internet to search for information. Older users tend to be less accurate than young ones (Dommes, Chevalier, & Lia, 2011; Pak & Price, 2008), they have more difficulties interacting with the search engines (Aula, 2005) and they spend longer time on search engines (Dommes et al., 2011). Older users also feel more disoriented (Wagner, Hassanein, & Head, 2014), and reformulate less often unsuccessful queries as compared to young users (Chevalier, Dommes, & Marquié, 2015). To search for information with search engines, users first have to phrase their information need (i.e. the search goal) into a query (which corresponds to a set of keywords of various nature). Then users have to analyze the search

engine result pages and decide whether they select a webpage to open up (and process its content), reformulate their query, or stop their search (because they have found information or they have given up their search). These activities involve various cognitive processes and prior works have shown that most of the differences observed between young and older adults could be explained by the age-related decline of fluid abilities (Cattell, 1971; Horn & Cattell, 1967; Eppinger, Kray, Mecklinger, & John, 2007), which involve working memory, attentional processes (Sharit, Hernández, Czaja, & Pirolli, 2008; Wagner et al., 2014) and cognitive flexibility (Dommes et al., 2011; Pak & Price, 2008). Cognitive flexibility, which refers to the ability to adapt to environment changes by switching processing strategies (Chevalier & Chevalier, 2009), is particularly critical to reformulate unsuccessful queries: the more flexible older adults are, the more they are able to reformulate (e.g. produce a greater number of queries) and produce new keywords (Dommes et al., 2011; Crabb and Hanson, 2014). Other works have also shown that crystallized abilities, which refer to the skills and knowledge a person has learnt throughout his/her life (Horn & Cattell, 1967), are also involved in information searching and could be a useful leverage for older adults. Prior works showed that

^{*} Corresponding author.

E-mail address: mylene.sanchiz@univ-tlse2.fr (M. Sanchiz).

crystallized abilities (such as vocabulary skills, comprehension skills and prior domain knowledge) tend to improve with age (Verhaeghen, 2003), increase performances (Pak & Price, 2008) and help older adults' searching activity (Sánchez et al., 2017). Based on these findings, we argue that it is crucial to deepen our knowledge about the impact of age on information searching in order to understand more precisely what stage(s) of the activity represent(s) a challenge for older users. Indeed, very few studies have focused on the chronological processing of the activity (i.e. how the users' activity evolves throughout time, for instance how users start searching). Yet, analyzing how users begin information searching and how cognitive processes are used, could help our understanding of older adults' needs and foster better searching strategies. To this end, the present experiment focused on studying the impact of aging during the first stage of the activity (i.e. when starting the search) and how users behave all along the search (i.e. how information searching strategies evolve all along the activity). In addition, we studied the impact of domain knowledge (i.e. the search topic) and the complexity of the search problems in order to determine how these variables interact with age.

We examined the following research questions:

- (i) How do older adults differ from young adults in terms of cognitive processing when searching for information with a search engine, and how does the level of task requirement (i.e. complexity) interact with age?
- (ii) Does prior domain knowledge help older adults cope with the navigational and query production strategies required by the search task?
- (iii) What strategies are used by older and young adults when starting the search, and then during the search activity in general?

In the following sections, we present related works on the cognitive processes and strategies involved in information searching with a search engine (Section 2.1), and how the features of the information problems to be solved interact with age (Section 2.2). We then detail the objectives and hypotheses of the study (Section 3) and describe the method we used (Section 4). The results obtained are presented in Section 5, and discussed in Section 6. The article ends with the implications and limitations of the present study (Section 7).

2. Related works

2.1. Processes and strategies involved in query production and reformulation

Information searching is a complex activity that requires users to engage problem-solving, comprehension, decision-making and query-making processes. Users have to engage a series of cognitive processes to understand the search problem, plan their search, interact with a search engine (i.e. formulate a query, analyze the search engine result pages), select webpages to visit and analyze webpage content. If necessary, this process can be iterative as long as the users' information need is not satisfied (for an overview of information searching cognitive models see Dinet, Chevalier, & Tricot, 2012). The model elaborated by Sharit et al. (2008) is particularly relevant for us as it deals with reformulation and navigation, and takes into account the different steps of information searching with a search engine. This model involves three stages:

- Stage 1: planning and formulating query. Users have to elaborate a coherent representation of their information need,

produce keywords that are relevant to their objective and phrase them into a query.

- Stage 2: evaluating and selecting relevant information retrieved by the search engine. Users have to process and evaluate the relevance of the search engine results and compare them with their information need and the query they produced. If the search engine results do not satisfy the users' information need, then users have to reformulate their query and go back to stage 1. Stage 2 may be iterative as long as users do not find the relevant results they are searching for.
- Stage 3: Information processing. When the search engine results are satisfying and relevant to the users' objectives, users can select one or several results to open up and process the webpage selected in deeper details.

This model is also consistent with prior work on query reformulation made by Efthimiadis (1996). This author developed a two stage model focusing on query production and reformulation only:

- Stage 1: Users start the search by elaborating a coherent representation of their information need and then elaborate their initial query.
- Stage 2: Query modification. Users modify their initial query by trying to find more accurate and relevant keywords that match their information need.

Stage 1 of Sharit et al.'s model (2008) mainly relies on top-down processes: users elaborate a coherent mental representation of their search need thanks to their cognitive abilities and skills (such as prior knowledge for instance). Stage 2 can imply both top-down processes and bottom-up ones. While progressing in the search, users can select new information retrieved by the search engine or websites in order to modify and precise their mental representation of their search need, or their query (by adding new search keywords for instance) if needed. In line with these models, prior studies provided evidence that some difficulties of older adults can impact the different steps of the search. At stage 1, older adults tend to experience difficulties elaborating a coherent mental model of the problem space tackled by the search and the hypertext they are interacting with (Wagner et al., 2014). Such difficulties might impact how older user produce their initial query (i.e. their initial query might be too broad or too narrow as compared to their information need for instance). At stage 2, older adults have difficulties evaluating the search engine results pages (Aula, Khan, & Guan, 2010) and spend longer time evaluating these pages than young users (Chevalier et al., 2015). Hence, older users may have more difficulties than young ones selecting relevant websites to open up, which may cause them to open up a greater number of webpages and cause disorientation. Prior empirical works also showed that older adults tend to use top-down strategies: they visit fewer links, take longer time to decide which website they should visit, and they have longer dwell times on webpages than young users (Chin & Fu, 2010). In contrast, young adults tend to use more bottom-up strategies: they are more influenced by the features of the interface they interact with, they visit a greater number of links, and leave webpages faster than older adults (Chin & Fu, 2010).

2.2. Features of the information problems to be solved: complexity and domain knowledge

Prior domain knowledge is one of the most studied factors in information searching research field (Duggan & Payne, 2008; Tabatabai & Shore, 2005; Hölscher & Strube, 2000; Monchaux, Amadiou, Chevalier, & Mariné, 2015; Sharit et al., 2008).

Empirical results showed that novices (e.g. low domain knowledge users) or non-experts (without much prior domain knowledge) have more difficulties producing appropriate keywords (Vakkari, Pennanen, & Serola, 2003; Wildemuth, 2004) and only make small changes to reformulate (i.e. keywords substitution in a trial-and-error strategy; see Sutcliffe, Ennis, & Watkinson, 2000). In contrast, domain experts rely on their domain knowledge: to select keywords that are more relevant (Shute & Smith, 1993), to produce longer queries (e.g. with a greater number of words; Sutcliffe et al., 2000; Aula, 2003), and to use relevant words more efficiently (Vakkari et al., 2003). In other words, domain experts have more complex reformulation strategies than domain novices (Hembrooke, Gay, & Granka, 2005; Zhang, Anghelescu, & Yuan, 2005). However, some studies showed no significant differences between domain novices and domain experts on the production and selection of relevant keywords (Brand-Gruwel, Wopereis, & Vermetten, 2005). Hsieh-Yee (1993) compared activity of students and librarians when searching for information on Medline. Results showed that the benefits of prior domain knowledge only appeared when users had a certain level of information searching knowledge (i.e. knowledge on the search task itself). Consistent results were found by Holscher and Strube (2000), who found that users with low prior domain knowledge and low knowledge on information searching (i.e. double novices) reformulated less (e.g. produced fewer queries) than other users and mostly made irrelevant and small changes when reformulating. Some studies also analyzed the impact of search problem complexity and showed that when information searching problems are more difficult, users tend to reformulate more often (Barsky & Bar-Ilan, 2012; Dommes et al., 2011). Studies focusing on the features of the search problems and users' characteristics (Borlund & Dreier, 2014; Ingwersen & Järvelin, 2005; Wildemuth, Freund, & Toms, 2013) pointed out that for well-defined, fact-finding tasks (i.e. search task for which the search goal is clear), users mostly use querying and search engine results filtering strategies, especially when they have prior domain knowledge (Ingwersen and Järvelin, 2005). In contrast, for ill-defined search tasks (i.e. search task for which the search goal is unclear), users have more difficulties assessing the relevance of information and formulating queries, hence, users tend to reformulate less and make minor and irrelevant search word changes (Ingwersen & Järvelin, 2005; Borlund & Dreier, 2014). Other works also showed that when users are facing difficulties, they tend to use more words but more irrelevant ones (Wildemuth, 2004).

3. Research aim and hypotheses

As presented in the previous sections, prior empirical works pointed out two major types of difficulties that older adults face when interacting with the search engine: reformulating queries (Chevalier et al., 2015; Dommes et al., 2011) and evaluating the search engine result pages efficiently (Aula et al., 2010; Wagner et al., 2014). Prior empirical works also demonstrated that two factors impacted these difficulties: search problem complexity and domain knowledge (Holscher & Strube, 2000; Monchaux et al., 2015; Sanchiz et al., 2017). The present study aimed at investigating how these factors impact young and older adults searching strategies. To this point, three independent variables were manipulated: participants' age (between-subjects variables), domain knowledge (within-subject) and search problem complexity (within-subject). In addition, the present study also aimed at investigating the first stage of information searching activity (i.e. such as the first query produced and the first search engine result page consulted). Indeed, we argue that it is critical to analyze the activity in details and not as a whole. The initial query formulated will impact the relevance of the first search engine results retrieved

and hence the accessibility of new relevant keywords (such as new keywords contained in website labels) and new relevant webpages. In addition, as information searching is a dynamic process, users also rely on the information they have read during the first step of the activity to complete their search goal. It is also critical to understand what steps represent the greatest challenge for older adults because it would help web designers produce tools that are adapted to older users' real needs.

We formulated the following hypotheses (only main hypotheses are presented below):

H1. Performance.

- In line with prior results found in literature (Dommes et al., 2011), older adults were expected to found fewer correct answers (H1a) and take longer time to complete the tasks (H1b) than young ones, especially when older adults have low prior domain knowledge. Indeed, in line with prior works on prior domain knowledge and the role of crystallized abilities (Monchaux et al., 2015; Pak & Price, 2008; Sanchiz et al., 2017), effects of age were expected to disappear in a domain knowledge for which older adults have stronger prior domain knowledge as compared to young ones (H1c).
- Older adults were expected to be outperformed in inferential and multicriteria search problems (because these problems are cognitively demanding in terms of inferences to be made and the amount of information to be processed), whereas for simple search problems, effects of age were expected to disappear (as simple problems are cognitively less demanding) (H1d).

3.1. Information searching activity

H2. Level of elaboration of queries.

- Because of the age-related decline of flexibility and inhibition processes (Dommes et al., 2011; Eppinger et al., 2007; Pak & Price, 2008), older users were expected to produce queries with more keywords extracted from the search problem statements (H2a) and produce fewer new keywords (H2b) both for the whole activity, and for the first query produced. Effects of age were expected to be particularly strong when older users have low prior domain knowledge, as compared to young adults (H2c).

The age-related decrease in inhibition processes should also cause older adults to use more keywords from the search problem statements in the inferential problems (H2d).

H3. Search engine result page analyses.

- As older adults have more difficulties than young ones interacting with a search engine and evaluating the search engine results (Aula et al., 2010; Wagner et al., 2014), older adults should spend more time on the search engine results and on the first search engine result page retrieved (H3a). These age-related difficulties should be increased when older adults have low prior domain knowledge, as compared to young ones (H3b).

4. Method

4.1. Participants

40 volunteered took part in this experiment in exchange for a 15

euros reward (in gift card): twenty young adults ($M_{age} = 20.19$, $SD = 2.79$, 5 males and 15 females, ranging from 18 to 30 years) and twenty older adults ($M_{age} = 62.90$, $SD = 5.88$, 8 males and 12 females, ranging from 60 to 80 years). Participants were all native French speakers. Young adults were undergraduate students from the University of Toulouse. Older adults were all retired, in good health (Mini Mental State Examination, for older adults only: $M = 29.32$ $SD = 1.01$; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) and were recruited via leisure clubs such as a tennis club and a scrapbooking club. Both groups had completed similar upper college studies (in years, including secondary school and college years: $M = 5.72$ $SD = 0.95$ for young adults and $M = 7.63$ $SD = 2.16$ for older adults, ($t(40) = 1.76$, $p = n.s.$). Familiarity with internet was assessed with regards to the amount of time (in hours) spent on the internet per week ($M = 18.00$ $SD = 9.72$ for young adults and $M = 12.06$ $SD = 10.13$ for older adults, ($t(40) = 1.89$, $p = n.s.$).

4.2. Procedure

Participants completed the experiment on a 17 inch screen laptop. They used *Google Chrome* browser and *Google* search engine. After settling on the laptop, participants had to complete a questionnaire on Internet habits and familiarity (presented online with *Qualtrics*). Participants were asked to estimate how many hours they spend on the internet per weeks, what device they use, what kind of tasks they do when using the internet. Then participants had to complete two domain knowledge tests (10 questions per questionnaire) assessing health and fantastic movie prior knowledge. The fantastic movie questionnaire assessed knowledge about the most famous movies of the genre (such as *Lord of the Rings*, *Star Wars*, *Marvel* movies) whereas the health questionnaire assessed knowledge about healthy body functioning or diseases (such as blood vessels, diabetes, muscle or eye diseases). For each question, participants could choose between four possible answers and "I do not know". Then, participants completed the Trail Making Test part B to measure cognitive flexibility: participants had to draw lines to join alternatively letters (from A to L) and numbers (from 1 to 12), as quickly as possible. The time spent to complete the task and the number of correct moves (e.g. number of correct lines drawn between number-letter) were retrieved.

Next, participants completed 12 search problems (in random order). Time was not limited. Participants were instructed that they could stop searching at any time as long as they had tried to search the answer for each problem. After each search problem, participants had to fill in a paper-based questionnaire assessing: perceived difficulties and mental effort and how sure of their answer they were. If participants knew the answer to the search problem, they

were instructed to switch to the following search problem (in that case the data were not taken into account in the analyses).

On-line data were recorded via log files with a *Google Chrome* tool (*Chrome History View*) and the screen was recorded with the free software *Free Screen to Video Recorder*. Paper-based questionnaires were given to participants after the information searching problems in order to avoid showing them how to switch between several web pages, open up multiple tabs and influence their activity. Raw data were next treated with Microsoft excel and IBM SPSS Statistics (version 20).

4.3. Design

4.3.1. Independent variables (IV)

As presented in presented in the previous sections, the present study manipulated (besides age IV1) two independent variables (within-subject): domain knowledge and search problem complexity.

4.3.1.1. *IV2: domain knowledge.* In line with prior works by Sanchiz et al. (2017), participants had to complete 12 search problems within two different knowledge domains (6 health problems and 6 fantastic movies problems). These two knowledges domains were selected so that young and older adults might have different level of prior domain knowledge. Health domain knowledge was selected because it was supposed to be more in favor of older adults, and fantastic movies for young adults. Hence, as stated in the previous sections, young and older users were expected to display different searching strategies for the two knowledge domains.

4.3.1.2. *IV3: search problem complexity.* For each domain knowledge, participants had to complete two simple, two inferential and two multicriteria search problems. In line with prior works by Sanchiz et al. (2017), the search problems designed varied in complexity (simple, inferential and multicriteria) and had different requirements (such as reformulating with a new keyword, find the target answer on the search engine pages or navigate into websites) (see Table 1 below for all the information search problem statements). We argue that manipulating search problem complexity will allow to analyze the different searching strategies used by participants to cope with the problems' requirements. In addition, in line with prior works (Chin & Fu, 2010; Sanchiz et al., 2017), analyzing young and older users searching strategies for search problems of varying complexity also allows us to determine in greater details what kind of search task represents a challenge for older users. The three levels of complexity were manipulated via the intrinsic features of the search problems. In line with prior

Table 1

The twelve information search problems translated from French. Criteria for the multicriteria problems are in italic (the participants did not see italic letters).

	Health	Fantastic movies
Simple	<ul style="list-style-type: none"> What part of the body is affected by arthritis? What is the name of a partial necrosis of the cardiac muscle? 	<ul style="list-style-type: none"> Who is Cyclope's brother in the movie X-men? What was Peter Venkman's job before he was a ghost hunter?
Inferential	<ul style="list-style-type: none"> What substance produced by the body allows an individual to store an excess of nutrients in the body? What action tints blood? 	<ul style="list-style-type: none"> What is the name of Luke Skywalker's means of transportation that he used when he destroyed the Death Star in Star Wars? What's the name of the captain who came to help the sieged people of Rohan at the cost of his life in the Lord of the Rings?
Multicriteria	<ul style="list-style-type: none"> Madam Martin, aged 62, suffers from <i>leg pain in her right leg</i> and has trouble moving around. She has also had <i>strong leg pain while resting</i> for a short time (at night for example). Her son also noticed that her leg was <i>cold and had no pulse</i>. What disease could she be suffering from? Alexander, aged 7, <i>often falls down</i> and suffers from <i>hearing impairment</i>. Alexander also had an <i>otitis a short time ago</i>. What disease could he be suffering from? 	<ul style="list-style-type: none"> Anne is interested in <i>horror and fantastic movies</i>. She would like to watch movies with <i>at least one sequel</i> but would like to <i>avoid too violent movies</i> (PG 16). Advise her one movie that matches her criteria. Antoine is interested in animals and fantastic movies. He wishes to watch fantastic or science fiction movies that have <i>animals as lead roles</i>. Even if he <i>doesn't like black and white movies</i> very much, he would very much like to discover <i>old movies of the genre</i>. Advise him one movie that matches his criteria.

works, search problem complexity increased with: the amount of information to be processed (Bell & Ruthven, 2004), the level of preciseness of the information to be found (Bell & Ruthven, 2004) and the complexity of the navigational path to elaborate in order to access the target information (Campbell, 1988; Chin, Fu, & Kaunampallil, 2009). For simple problems, the useful keywords were provided in the search problem statements and the answer to be found was directly accessible on Google. For instance, for the simple search problem “Who is Cyclope’s brother in the movie *X men*?”; participants had to select the relevant keywords “Cyclope’s brother *X men*” in their query and then the target answer was directly accessible on the search engine result pages (i.e. the answer could be found on the description sentence of several search results provided by Google). For inferential problems, participants had to infer relevant keywords (i.e. all relevant keywords were switched with an ambiguous and vague synonym in our search problem statements) and navigate through the web. For instance, in the fantastic movie domain, in the *Star Wars* search problem, participants had to find and infer new keywords that would be more useful than “means of locomotion” (for instance “space ship”). Finally, participants had to solve multicriteria search problems in which they had to infer relevant keywords, keep active in working memory several criteria to find one single answer that matched all the criteria and navigate on the web (see Table 1 below for all the criteria in italic letters). For instance, to find the answer to the fantastic movies search problems about old movies starring animals, participants had to select all criteria (such as *fantastic movies*, *animal*, *black and white/old movies*) and phrase them into a query (such as “*classic old fantastic movies with animal*” or “*black and white movies with famous fantastic creatures*”).

Consistently with prior empirical work of Bell and Ruthven (2004), we considered that the multicriteria problems were the most complex ones as these problems demanded participants: (i) to process a larger number of information than the two other types of problems, (ii) to keep a large amount of information active in working memory and (iii) to provide extra resources to comprehension processes (for instance inference-making to understand the semantic links between the criteria stated in the search problem, prior domain knowledge if available, and new information gathered in websites). Inferential problems were considered less complex than multicriteria ones, but more complex than the simple problems as inferential problems required inferring new relevant keywords and navigating in websites. Participants had to complete two information search problems of each type within two domain knowledge (i.e. 12 search problems in total). Search problems order was randomized. See Table 1 below for all the search problem statements (translated from French).

4.4. Data analyses

Several dependent variables (DV) were selected to analyze search performance, query production and search engine result page processing.

Search performance:

- DV1: Percentage of correct answers found. For each search problem we coded 1 when participants found the correct target answer and 0 when participants failed (i.e. found no answer at all or not the target answer). These results were then transformed into percentage and then mean percentage were calculated for each search problem complexity level, per domain.
- DV2: Task completion speed (TCS). Based on Aula and Nordhausen’s work (2006), the TCS takes into account the number of successful answers found by participants and the

time taken to complete the search problem. TCS was calculated by dividing the number of search problems correctly completed by the total time taken for all search problems multiplied by 3600 (that corresponds to the number of seconds per hour; for more details see Aula and Nordhausen, 2006).

Query production

- DV3: Instruction-based queries (i.e. number of keywords extracted from the search problem statements). In line with prior works (Dommes et al., 2011; Sanchiz et al., 2017), we counted for each query the number of keywords used that were directly extracted from the search problem statements. For instance, the query “*Luke Skywalker’s ship in Star Wars Death Star battle*” contains 4 keywords provided by the search problem statement (i.e. *Luke*, *Skywalker*, *Star Wars*, *Death Star*). For each search problem complexity level, the mean number of keywords extracted from the search problem statements used per participant was calculated. We also calculated the number of keywords extracted from the search problem statements contained in participants’ first query in order to investigate the query production strategies used in the initial query.
- DV4: Inferred queries (i.e. number of new keywords produced by participants). In line with prior works (Dommes et al., 2011; Sanchiz et al., 2017), new keywords corresponded to keywords inferred by the participants and were different from those provided by the search problem statements. For instance, the query “*Luke Skywalker’s ship in Star Wars, Death Star battle*” contains two new keywords (i.e. *ship*, *battle*). In contrast, the query “*Luke Skywalker means of transportation*” contains only keywords extracted from the search problem statement and no new keywords at all. We counted for each query the number of new keywords inferred by participants and calculated the mean number of new keywords for each search problem complexity level. The number of new keywords contained in participants’ first query was also calculated. We argue that the production of new keywords for the initial query produced by participants was related to the use of top-down processes (i.e. the activation of prior domain knowledge or the use vocabulary skills) and inhibition processes (of the keywords provided in the statements).

Search engine result page processing:

- DV5: Time spent on the search engine result pages. For all search problems we recorded the mean time spent on all search engine results pages and the time spent on the first search engine results page. This included the time spent analyzing the first search engine results page before opening up the first webpage to be processed. We argue that the time spent on the first search engine page will reflect how participants used their prior domain knowledge (and the information provided in the search problem statements) to process and evaluate the search engine results.

5. Results

First, we conducted *t* tests analyses to investigate age differences on cognitive flexibility and prior domain knowledge (see Section 5.1). Because young and older users had significantly different levels of prior knowledge in the two knowledge domains (see Section 5.1 below), we ran separated analyses for the fantastic movie and the health domain knowledge. Indeed, as shown below, older adults had significantly more prior health knowledge than young ones, whereas for the fantastic domain, no significant

Table 2
Descriptive statistics of cognitive abilities and domain knowledge.

Measures	Young adults	Older adults
TMT (number of correct moves): cognitive flexibility (max = 23)	22.67 (1.11) [*]	19.42 (6.55)
% of correct answer health domain knowledge questionnaire	32.86 (1.74)	57.90 (2.07) ^{**}
% of correct answer fantastic movie domain knowledge questionnaire	57.14 (2.21)	46.32 (2.79)

^{*} $p < 0.05$ ^{**} $p < 0.001$.

difference was observed between older and young adults. However, though the differences observed in the fantastic movie domain were not significant, the level of prior fantastic movie knowledge might still influence the activity. Mixed 2×3 ANCOVAs were performed with age as a between-subject factor and search problem complexity as a within-subject factor on each dependent variable related to search performance, query production and search engine result page processing. Prior domain knowledge was entered in the model as covariate for each knowledge domain. Homogeneity as well as sphericity assumptions were respected. Bonferroni statistic test was used with a significant value of 0.05. Partial (η^2_p) was used as an index of effect size.

Results about search performance for both domains are presented in Section 5.2. Section 5.3 will present results found on query production (5.3.1) and search engine result pages processing (5.3.2) found on the fantastic movies domain. Next, Section 5.4 will present results found on query production (5.4.1) and search engine result pages processing (5.4.2) for the health domain. Only main results about the effects of age and the interactions between age and complexity are presented in this paper. As we expected, for most of our dependent variables considered, multicriteria search problems and inferential search problems were indeed more complex than simple search problems as they required users to spend more time spent on Google and led to poorer performances. For all main effects of complexity for fantastic movies and health search problems, see Appendixes A and B.

5.1. Ability tests and prior domain knowledge

t tests analyses confirmed that older adults had lower cognitive flexibility scores (in terms of number of correct moves to TMT) ($t(38) = 2.24$, $p = 0.03$) than young ones (see Table 2 above for means and SD scores). Older adults had significantly higher health prior knowledge than young adults ($t(38) = -4.16$, $p < 0.001$), whereas in the fantastic movies domain, although young adults performed better than older ones (for means and SD scores, see Table 2 above), the difference was not significant ($t(38) = 1.36$, $p = n.s.$).

Table 3

Means and (standard deviations) of the percentage of correct answers found and task completion speed per domain and for all search problem complexity level. Y means Younger participants. O means Older participants.

		Fantastic movies domain			Health domain		
		Simple problems	Difficult problems	Multicriteria problems	Simple problems	Difficult problems	Multicriteria problems
% of correct answers	Y	94.05 (0.16)	36.90 (0.29)	52.98 (0.42)	90.48 (0.20)	38.10 (0.30)	44.65 (0.51)
	O	58.89 (0.45)	24.68 (0.39)	59.21 (0.73)	78.95 (0.42)	23.68 (0.31)	11.98 (0.58)
Task completion speed	Y	26.72 (27.83)	5.82 (5.97)	13.09 (11.29)	29.36 (17.38)	5.82 (5.97)	8.86 (8.77)
	O	6.67 (6.55)	2.77 (5.58)	9.97 (9.45)	26.33 (32.42)	2.77 (5.58)	3.91 (5.07)

5.2. Search performance: percentage of correct answers found and task completion speed for the two knowledge domains

5.2.1. Percentage of correct answers

Results of the mixed ANCOVAs showed that in the fantastic movies domain, effect of prior domain knowledge did not reach significance ($F(1,38) = 0.003$, $p = n.s.$). Effect of age did not reach significance ($F(1,38) = 1.55$, $p = n.s.$), unlike expected (H1a). Interaction between age and complexity was significant ($F(2,76) = 4.54$, $p = 0.02$, $\eta^2_p = 0.11$). Post-hoc Bonferroni tests showed that for simple problems, older adults found fewer correct answers than young ones ($p < 0.001$), whereas for inferential and multicriteria problems, effect of age disappeared ($p = n.s.$), unlike what we expected (H1d). See Table 3 above for means and SD.

In the health domain, no significant effect was observed (all $p > 0.05$). See Table 3 above for means and SD.

5.2.2. Task completion speed

Results of the mixed ANCOVAs showed that in the fantastic movies domain, effect of prior domain knowledge did not reach significance ($F(1,38) = 0.95$, $p = n.s.$). Effect of age was significant ($F(1,38) = 7.90$, $p < 0.01$, $\eta^2_p = 0.18$). Older adults were less efficient than young ones ($M = 6.79$ SD = 2.07 vs $M = 14.92$ SD = 1.97 for young ones), as expected (H1b). Interaction between age and complexity was significant ($F(2,76) = 4.97$, $p = 0.02$, $\eta^2_p = 0.12$). In line with the results pattern on the number of correct answers found, post hoc Bonferroni tests showed that for simple problems, older adults had poorer performances than young ones ($p < 0.01$), whereas for inferential and multicriteria problems, effect of age disappeared ($p = n.s.$), which did not confirm our assumption (H1d). See Table 3 above for means and SDs.

Consistently with the results found on the number of correct answers found, in the health domain, results of the mixed ANCOVAs showed no significant effects (all $p > 0.05$). See Table 3 above for means and SD.

5.3. Fantastic movies domain

The following section will tackle results about query production (i.e. number of keywords extracted from the search problem statements and new keywords for the first query and all queries produced) and the time spent processing the search engine pages (the first search engine result page and all search engine result pages processed) for the fantastic movies domain.

5.3.1. Query production

5.3.1.1. Number of keywords extracted from the search problem statements (for the first query and for all queries produced). As a reminder, keywords extracted from the search problem statements corresponded to keywords that were provided in the search

Table 4

Means and standard deviations of the number of search statement provided keywords used and the number of new keywords produced in the first queries and all queries produced of participants. Y means Younger participants, O means Older participants.

		Simple problems	Inferential problems	Multicriteria problems
Mean number of search statement keywords (1st query)	Y	2.45 (0.89)	2.45 (0.89)	3.64 (1.34)
	O	3.95 (1.39)	3.55 (1.94)	4.24 (2.17)
Mean number of search statement of keywords	Y	2.81 (1.04)	4.10 (1.64)	3.12 (1.52)
	O	3.89 (1.30)	5.89 (2.66)	3.82 (2.04)
Number of new keywords (1st query)	Y	2.52 (1.31)	0.26 (0.56)	0.64 (0.53)
	O	1.50 (1.04)	0.16 (0.29)	0.63 (0.60)
Number of new keywords	Y	0.26 (0.56)	0.81 (1.03)	2.55 (2.13)
	O	0.58 (1.24)	0.97 (1.64)	1.76 (1.41)

problem statements and used by participants in their queries. We argue that studying the number of keywords extracted from the search problem statements in the first query produced by participants would provide interesting information on users' spontaneous query production strategies and how they used top-down processes (i.e. prior knowledge use) and the information provided in the search problem statements. Results of the mixed ANCOVAs showed no significant effect of prior domain knowledge on the number of keywords extracted from the search problem statements for the first query produced ($F(1,38) = 1.67, p = n.s., \eta^2_p = 0.04$). However, effect of age was significant ($F(1,38) = 4.22, p < 0.05, \eta^2_p = 0.11$). In the first query produced, older adults used more keywords extracted from the search statement problems ($M = 3.75, SD = 0.31$) than young ones ($M = 2.83, SD = 0.29$), as expected (H2a). Interaction between age and complexity was not significant ($F(2,76) = 0.51, p = n.s.$). See Table 4 below for means and SD.

Regarding the number of keywords extracted from the search problem statements for all queries, results of the mixed ANCOVAs showed similar patterns to the first query. While effect of prior domain knowledge had no significant effect on the mean number of keywords extracted from the search statement problem ($F(1,38) = 0.25, p = n.s.$), older adults used a greater number of keywords extracted from the search problem statements ($M = 4.25, SD = 0.30$) than young adults ($M = 3.35, SD = 0.27$) ($F(1,38) = 4.82, p < 0.04, \eta^2_p = 0.12$). Interaction between age and complexity did not reach significance ($F(2,76) = 2.23, p = n.s., \eta^2_p = 0.06$), which did not confirm our assumption (H2d). See Table 4 below for means and SD.

5.3.1.2. Number of new keywords produced (for the first query and for all queries produced). New keywords corresponded to keywords inferred by participants (thanks to their prior knowledge or information found while searching on the internet). As a reminder, we argue that studying the number of new keywords in the first query produced by participants allows us to study the use of prior domain knowledge and to what extent users can be flexible when producing their first query. Results of the mixed ANCOVAs showed that effect of prior domain knowledge did not reach significance on the number of new keywords produced by participants for the first query ($F(1,38) = 0.17, p = 0.68, \eta^2_p = 0.005$). Effect of age was significant ($F(1,38) = 5.66, p = 0.02, \eta^2_p = 0.13$). Older adults produced fewer new keywords for their first query ($M = 0.77, SD = 0.11$) than

young adults ($M = 1.14, SD = 0.11$), as we assumed (H2b). Interaction between age and complexity was significant ($F(2,76) = 4.28, p = 0.026, \eta^2_p = 0.10$). Post hoc tests showed that for simple problems older adults produced fewer new keywords than young ones ($p = 0.02$), whereas for inferential and multicriteria problems, effects of age disappeared ($p = n.s.$). See Table 4 above for means and SD.

Regarding the number of new keywords produced for all queries, results of the ANCOVAs showed that effect of prior knowledge was not significant ($F(1,38) = 0.14, p = n.s.$). Effect of age was not significant on the mean number of new keywords produced ($F(1,38) = 0.22, p = n.s., \eta^2_p < 0.01$). Unlike what we expected (H2b), older adults did not produce significantly fewer new keywords ($M = 1.24, SD = 0.24$) than young ones ($M = 1.07, SD = 0.25$). Interaction between age and complexity was not significant ($F(2,76) = 4.28, p = n.s., \eta^2_p = 0.07$). See Table 4 above for means and SD.

5.3.2. Search engine result page processing (first search engine result page retrieved and all search engine result pages retrieved during the whole search)

The present study also focused on the processing of the first search engine results page in order to observe the different spontaneous strategies displayed by young and older adults on the search engine. Results of the mixed ANCOVAs showed that effect of prior domain knowledge was significant on the time spent on the first search engine result page ($F(1,38) = 9.43, p < 0.01, \eta^2_p = 0.22$). The more prior knowledge participants had, the faster they were processing the first search engine page. Effect of age was also significant ($F(1,37) = 33.34, p < 0.001, \eta^2_p = 0.50$). As expected (H3a), older adults spent more time on the first search engine result page retrieved ($M = 90.30, SD = 10.09$) than young ones ($M = 11.09, SD = 8.99$). There was no significant interaction between age and complexity ($F(2,76) = 1.73, p = n.s.$). See Table 6 below for means and standard deviations.

All along the activity, results of the mixed ANCOVAs showed that effect of prior knowledge was not significant on the mean time spent on all the search engine result pages ($F(1,38) = 3.02, p = n.s., \eta^2_p = 0.08$). However, effect of age still was significant ($F(1,38) = 17.51, p < 0.001, \eta^2_p = 0.33$). Older adults spent more time on Google pages ($M = 58.53, SD = 3.98$) as compared to young adults ($M = 35.64, SD = 3.67$), as expected (H3a). Interaction

Table 5

Means and standard deviations of the time spent on the first search engine page retrieved. Y means Younger participants, O means Older participants.

		Simple problems	Inferential problems	Multicriteria problems
Time spent on the search engine results pages (in sec)	Y	101.10 (52.04)	53.15 (42.92)	90.30 (68.13)
	O	458.50 (510.04)	244.75 (224.41)	254.06 (156.36)
Time spent on the first search engine results page visited (in sec)	Y	16.50 (24.64)	13.35 (9.04)	16.95 (13.39)
	O	66.75 (70.83)	98.38 (87.71)	88.88 (28.02)

Table 6

Summary of the significant main effects of age (F and p and η^2_p) for search performance, query production and search engine result pages processing in the fantastic movies domain.

	$F(2,76)$	p	η^2_p
Percentage of correct answers found	1.55	ns	
Task Completion Speed	7.90	0.03	0.18
Mean number of search statement keywords (1st query)	4.22	0.05	0.11
Mean number of search statement of keywords	4.84	0.04	0.12
Number of new keywords (1st query)	5.66	0.02	0.13
Number of new keywords	0.22	ns	
Time spent on the first search engine results page (in sec)	33.34	0.001	0.50
Time spent on all search engine results page visited (in sec)	17.51	0.001	0.33

between age and complexity was not significant ($F(2,76) = 1.17$, $p = n.s.$). See Table 5 below for means and SD.

5.3.2.1. Intermediate conclusion: information searching activity for the fantastic movie domain knowledge. Overall, our results replicated known findings about the effect of age on information searching. Older adults were less efficient than young ones when searching for information in the fantastic movies domain (i.e. they took longer time to complete the search problems), though no age differences were observed on the percentage of correct answers found. Older adults produced queries that were less elaborated than young ones, that contained more keywords extracted from the search problem statements and fewer new keywords, and they had longer dwell time analyzing the search engine results pages. Results also provided new knowledge on users' behavior when starting the search. Older adults experienced a series of difficulties: as compared to young adults, older adults produced less elaborated queries (i.e. with more keywords from the search problem statements and fewer new keywords) and also struggled when analyzing the first search engine results page. See Table 6 below for a recap of all significant effects of age on query production and search engine pages processing for the fantastic movies domain.

5.4. Health domain knowledge

The following section will tackle results about query production (i.e. number of keywords extracted from the search problem statements and new keywords for the first query and all queries produced) and the time spent processing the search engine pages (the first search engine result page and all search engine result pages processed) for the health domain. As a reminder, no significant differences were found on the number of correct answers found by young and older adults.

5.4.1. Query production

5.4.1.1. Number of keywords extracted from the search problem statements (for the first query and all queries produced by participants). In line with previous analyses, we analyzed the number of keywords used in participants' queries that were directly extracted from the search problem statements in their first query. Results of the mixed ANCOVAs showed that the more prior knowledge participants had, the lesser they tended to use keywords extracted from the search problem statements in their initial query ($F(1,38) = 3.91$, $p < 0.06$, $\eta^2_p = 0.10$). Effect of age was also marginally significant ($F(1,38) = 3.48$, $p = 0.07$, $\eta^2_p = 0.09$) and showed that older adults tended to use more keywords provided in the search problem statements than young adults ($M = 2.87$ $SD = 0.27$ and $M = 2.11$ $SD = 0.25$ for young ones). Interaction

between age and complexity was not significant ($F(2,76) = 1.61$, $p = n.s.$). See Table 8 below for means and SD.

Regarding all queries produced, results of the mixed ANCOVAs confirmed that prior domain knowledge led participant to extract fewer keywords from the search problem statements ($F(1,38) = 5.36$, $p = 0.03$, $\eta^2_p = 0.13$). Effect of age did not reach significance ($F(1,38) = 1.75$, $p = n.s.$) but interaction between age and complexity reached significance ($F(2,76) = 6.38$, $p < 0.01$, $\eta^2_p = 0.15$). Post hoc Bonferroni test showed that for inferential problems, older adults used more keywords from the search problem statements ($M = 4.56$ $SD = 0.45$) than young ones ($M = 2.59$ $SD = 0.42$) ($p < 0.01$), whereas for simple and multicriteria problems, effect of age disappeared ($p = n.s.$), which confirmed hypothesis (H2d). See Table 7 below for means and SD.

5.4.1.2. Number of new keywords produced by participants for the first query produced (for the first query and all queries produced by participants). The mixed ANCOVAs conducted on the number of new keywords produced by participants for the first query showed neither significant effect of prior domain knowledge ($F(1,38) = 1.16$, $p = n.s.$), nor significant effect of age ($F(1,38) = 0.25$, $p = n.s.$) nor significant interaction ($F(2,76) = 0.32$, $p = n.s.$). See Table 7 above for means and SD.

However, regarding all queries produced, results of the mixed ANCOVAs showed that prior domain knowledge supported the production of new keywords in their queries ($F(1,38) = 4.19$, $p < 0.05$ n.s., $\eta^2_p = 0.10$). The effect of age ($F(1,38) = 0.45$, $p = n.s.$) as well as the interaction was not significant ($F(1,38) = 1.10$, $p = n.s.$). See Table 7 above for means and SD.

5.4.2. Search engine result pages processing (first search engine result page retrieved and all search engine result pages retrieved during the whole search)

Results of the mixed ANCOVAs showed that effect of prior domain knowledge did not reach significance on the first search engine results page retrieved ($F(1,38) = 0.01$, $p = n.s.$). Effect of age was not significant ($F(1,38) = 0.46$, $p = n.s.$), which did not confirm hypothesis (H3a). Interaction between age and complexity was not significant ($F(2,76) = 0.68$, $p = n.s.$). See Table 8 below for means and SDs.

Regarding the time spent on all search engine result pages during the whole search, results of the mixed ANCOVAs showed that effect of prior knowledge did not reach significance ($F(1,38) = 0.01$, $p = n.s.$). However, effect of age was significant ($F(1,38) = 28.09$, $p < 0.001$, $\eta^2_p = 0.43$). Older adults spent more time on Google results pages ($M = 52.94$ $SD = 4.71$) than young adults ($M = 30.12$ $SD = 4.34$), which confirmed assumption (H3a). Interaction between age and complexity was not significant ($F(2,76) = 0.02$, $p = n.s.$). See Table 8 below for means and SD.

Table 7

Means and standard deviations for the number of search statement keywords used and the number of new keywords produced for the first query and all queries of participants. Y means Younger participants. O means Older participants.

	Simple problems	Inferential problems	Multicriteria problems
Mean number of search statement keywords (1st query)	Y 2.07 (1.10)	2.62 (1.10)	2.64 (1.43)
	O 2.76 (1.35)	2.08 (1.58)	3.05 (1.82)
Number of search statement keywords	Y 2.40 (1.25)	3.05 (1.55)	3.45 (1.70)
	O 2.39 (1.56)	4.05 (2.20)	2.50 (1.95)
Number of new keywords (query1st)	Y 0.24 (0.30)	0.36 (0.57)	0.88 (0.96)
	O 0.16 (0.24)	0.21 (0.35)	1.16 (0.85)
Number of new keywords	Y 0.29 (0.34)	1.36 (1.45)	2.67 (3.39)
	O 0.44 (1.01)	1.34 (1.24)	2.00 (0.93)

Table 8

Means and standard deviations of the mean time spent on the first search engine result pages and the time spent on the all search engine result pages retrieved. Y means Younger participants. O means Older participants.

		Simple problems	Inferential problems	Multicriteria problems
Time spent on the first search engine retrieved (in sec)	Y	28.29 (31.13)	160.86 (113.39)	183.86 (89.27)
	O	55.24 (41.69)	130.88 (91.59)	136.06 (133.28)
Time spent on the search engine pages (in sec)	Y	38.67 (28.41)	232.10 (133.42)	299.10 (193.54)
	O	73.36 (36.13)	358.12 (194.49)	334.18 (160.88)

5.4.2.1. Intermediate conclusion: information searching activity for the health domain knowledge. Overall, the results showed that most of the known age-related differences observed in the fantastic movies domain were not replicated in the health domain (for which older adults had more prior knowledge than young ones). No significant differences were found on the time taken to complete the search problems and older users no longer produced queries with more keywords extracted from the search problem statements or fewer new keywords than young ones. However, older adults kept spending longer time on the search engine pages. Results also showed that older adults tended to struggle less when starting searching for information in the health domain (as expected H2c, H3c: no age-related differences were found on the number of new keywords produced and on the time spent analyzing the first search engine results page. However, older adults still had difficulties inhibiting the keywords provided in the search statements (they used more keywords extracted from the search problem statements than young adults). See Table 9 below for a recap of all significant effects of age on query production and search engine pages processing for the fantastic movies domain.

6. Discussion

The present study aimed at analyzing the strategies used by young and older users when producing queries and processing the search engine results pages to search for information. The study replicated known results on the age-related difficulties of older adults but also provided new evidence on the moderating role of prior domain knowledge in the age-related differences on information searching. Participants had to complete twelve information search problems (6 fantastic movie and 6 health problems). They had 4 simple problems (i.e. with relevant keywords provided in the search statements and the target answer directly accessible on

Table 9

Recap of the significant main effects of age (F , p and η^2p) for the query production and search engine result pages processing in the health domain.

	$F(2,76)$	p	η^2p
Percentage of correct answers found	3.46	ns	
Task Completion Speed	3.51	ns	
Mean number of search statement keywords (1st query)	3.48	0.07	0.10
Mean number of search statement of keywords	1.75	ns	
Number of new keywords (1st query)	0.25	ns	
Number of new keywords	0.45	ns	
Time spent on the first search engine results page (in sec)	0.46	ns	
Time spent on all search engine results page visited (in sec)	28.09	0.001	0.43

Google pages), 4 inferential problems (i.e. participants had to infer relevant keywords) and 4 multicriteria (i.e. participants had to gather information, navigate and make inferences to find one acceptable target that matched all criteria). We discuss in more details the results obtained below.

6.1. Effects of age and prior domain knowledge on search performance

In contrast with prior works by Dommes et al. (2011), and unlike what we expected (H1a, b), overall results showed no age-related differences on the percentage of correct answers except for simple search problems in the fantastic movies domain (in which young people outperformed older ones). However, as we expected (H1c), results showed that older adults were less efficient and they took longer time than young ones to correctly complete the search problems in the fantastic movies domain. This pattern is consistent with prior works showing that older adults are slower, less efficient than young ones (Dommes et al., 2011) and they tend to spend more time on evaluation processes than young ones (Chevalier et al., 2015). Interestingly, in the health domain (for which older adults had significantly more prior domain knowledge), no age-related differences were found on the time taken to complete the search problems. Here, prior health knowledge may have been a useful leverage for older adults. They may have supported more elaborate search strategies such as enhanced search engine results relevance analysis and better selection of webpages to open up. The results showing that older adults had less correct answers only for simple search problems than young ones in the fantastic movies domain, might be interpreted as follow. Simple problems required users to select the relevant keywords from the search problem statements and then process the search engine result pages to directly find the target answer. This unexpected pattern (H1d) might show that older adults probably experienced difficulties assessing the relevance of the search engine results and could not use relevant searching strategies to locate the target answer on Google. Consistently with prior works (Chin & Fu, 2010; Sanchiz et al., 2017), this interaction did not appear in the health domain, which might show that prior health knowledge did help older adults process the search engine result pages to adapt to the simple problems' requirements.

6.2. Query production: strategies used by young and older adults to produce queries when starting searching for information and all along the whole search

6.2.1. Effects of age on query production

The present study analyzed in deeper details the level of elaboration of the keywords contained in users' queries. Original contribution of the present study lies in the deep investigation of the first stage of the activity (i.e. when planning and producing the first query and when processing the first search engine result). This aimed at studying the spontaneous behavior of users and the impact of prior domain knowledge on the search strategies used without the influence of the navigational path built (i.e. the webpages visited, the information read which might lead users to irrelevant information). The first stage is indeed critical, as the faster participants display relevant searching strategies, the more they will be able to access relevant information and build a coherent navigational path. Overall, as expected H2a, the effect of age was observed on the number of keywords that were directly extracted from the search problem statements used in users' initial query, in both knowledge domains. This pattern can be accounted for by the age-related decline of inhibition (Eppinger et al., 2007) and is consistent with prior works

(Dommes et al., 2011). Older adults, less flexible than young ones, tended to have more difficulties when inhibiting the keywords provided in the search problem statements and used a greater number of these keywords than young ones when they started the search. However, interestingly, this pattern was only marginal for the health domain. The present study argues that to produce their initial query, users mainly rely on top-down processes (such as the use of prior domain knowledge, cognitive abilities ...) and the information provided by the search context (i.e. the search problem statements). Hence, in the health domain, older adults probably benefitted from higher prior health knowledge to assess the relevance of the keywords provided in the search problem statements; which helped them select the most useful keywords and thus coped with the age-related decrease of cognitive flexibility. In the fantastic movies domain, other effects of age were also observed. Not only did older adults use more keywords extracted from the search problem statements in their first query, but they also used more of them than young ones for the overall search (which did support H2c). In other words, for the fantastic movies domain, older adults made smaller changes when reformulating, used step-by-step strategies (i.e. they mainly substituted some keywords or add/remove some), and tended to stick to the initial keywords they selected (i.e. they started with more keywords provided by the search statements than young ones and kept using them when reformulating queries). Consistently with prior works (Hassan, White, Dumais, & Wang, 2014; Odijk, White, Hassan Awadallah, & Dumais, 2015), we argue that this pattern shows that older users struggled when producing and reformulating queries in the fantastic movies domain (i.e. the queries reformulated are quite similar to the previous ones for instance). Consistently, in the fantastic movies domain, older adults also started their search with an initial query that also contained fewer new keywords than young ones.

6.2.2. Effects of prior domain knowledge and interaction between age and search problem complexity on query production

The overall absence of significant effect of age on query production in the health domain tend to show that when older adults could rely on higher prior domain knowledge, they managed to use more elaborate reformulation strategies (i.e. by using fewer search statements provided keywords than what they did in the fantastic movies domain, they managed to make more changes when reformulating). In addition, as compared to the fantastic movies domain for which older adults had more difficulties inhibiting the search problem statements provided keywords at the beginning of the search and overall the search; in the health domain, all along the search older adults no more experienced difficulties when inhibiting these keywords. Hence, prior health knowledge may have been a leverage for the age-related decrease of cognitive flexibility and helped older adults inhibit the keywords they used in their previous queries when reformulating (i.e. older adults used as many keywords extracted from the search problem statements and produced as many new keywords as young ones in the health domain).

However, older adults still used more keywords extracted from the search problem statements for inferential health problems as compared to young ones. As a reminder, inferential problems required users to inhibit the irrelevant keywords provided and reformulate with new and more relevant ones. This result showed that older adults still experienced difficulties when adapting to the search problems requirements as compared to young ones who

were probably more flexible and adapted their searching strategies depending on the search problems' requirements.

6.3. Search engine result pages processing: strategies used by young and older adults when analyzing the first search engine result page and all the search engine pages retrieved during the search

6.3.1. Effects of age on search engine result pages processing

Overall, results showed that older adults spent significantly longer timer on the search engine pages during the whole search than young ones in the two knowledge domains. This expected finding replicated prior works: older adults tend to spend more time analyzing the search engine pages and they take more time to decide which website to open up (Chin & Fu, 2010; Dommes et al., 2011; Karanam and van Oostendorp, 2016).

6.3.2. Effects of prior domain knowledge and interaction between age and search problem complexity on search engine result pages processing

Interestingly, in line with the previous pattern described above, the present experiment provided new contribution to the strategies used by older adults when processing the search engine result page at the beginning of the search. Indeed, in the fantastic movies domain, older adults spent significantly more time than young ones on the first search engine result page retrieved. In contrast, in the health domain, no age differences appeared. As a reminder, we argue that users mostly use top-down processes (along with the information provided by the search problem statements) to process the first search engine page. In line with Sharit et al.'s model (2008), we argue that the processing of the first search engine page also corresponds to (i) the planning of the search (i.e. the elaboration of the navigational path to take to search for the answer) and (ii) the integration of new information to the user's mental model. Higher prior health knowledge probably helped older adults elaborate a more coherent mental model of the search and supported the evaluation of the first search engine result page (i.e. prior health knowledge supported comprehension processes and the integration of new pieces of information to their mental model). In contrast, dwell time on the first search engine result page in the fantastic movies domain tend to show that when older adults could not rely on solid prior domain knowledge, they tended to experience difficulties to evaluate the search engine results, assess relevance and plan their search (i.e. find a website to open up for instance). In addition, no interaction between age and search problem complexity were found in the two knowledge domains. This tend to show that older adults kept using the same searching strategies when processing the search engines pages and did not adapt to the search problems' requirements.

7. Limitations and implications of the study

The present study provided new evidence on the impact of age and prior domain knowledge on query production and search engine pages processing at the beginning of the search and overall the all activity. Prior domain knowledge can help older adults start searching for information and cope with the detrimental effect of lower cognitive flexibility by supporting the elaboration of a more coherent mental model and the use of more elaborate searching strategies both for query production (i.e. with an initial query semantically more elaborated) and search engine result page processing (i.e. more efficient search engine result evaluation and search planning). In addition, as results pointed out, age predicted

longer time to reach the answer to be found. Investigations conducted in the current study revealed that the age-related differences in search efficiency can be explained by different searching strategies and information processing. Even if these findings provided a clearer picture of the processes underlying older users' difficulties, more investigations about the impact of age in the different steps of the activity are still needed. For instance, results pointed out that, overall, older adults spent more time processing the search engine pages than young ones no matter their level of prior knowledge. Hence, future works need to deepen our knowledge of the processes at stake during the evaluation of the search engine results and the selection of webpages to open up in order to understand this pattern.

Some limitations also need to be investigated. First, as older users is a difficult population to recruit (and because we wanted to recruit older users with similar years of education and similar internet familiarity in terms of hours spent on the internet than younger participants), we did not recruit enough older adults to study the impact of age among the older population. Indeed, it would be interesting to compare "young" older adults (60–70 for instance) and "older" older ones (>70 years old for instance). To complete the study of reformulation strategies used at the different stages of the search, it would also be interesting to use eye-tracking

measures to study how young and older users extract and analyze information provided by the search engine. Results presented in this paper have implications for the design of query reformulation tools that support information searching on the internet. Search systems could for instance help older users make use of new information retrieved in the search engine results pages or their prior domain knowledge by giving suggestions without requiring users to start entering the first syllable of the keywords. Indeed, as the search engine query suggestions appear once the user start producing a query, most of the relevant suggestions cannot be accessed by older users due to the age-related impaired access of the lexicophonological representations of concepts (Dorot & Mathey, 2013).

Acknowledgements

This research was supported by the French National Research Agency (ANR), ORA-Plus project MISSION (ANR-13-ORAR-0002-01) in collaboration with the University of Illinois and University of Utrecht.

Appendix A

Main effect of complexity for fantastic movies search problems.

	F(2,76)	p	η^2_p	Post hoc Bonferroni p
Performance: percentage of correct answers found	27.24	0.001	0.42	Simple > inferential (p < 0.001) Simple > multicriteria (p < 0.001) Multicriteria > inferential (p < 0.001)
Task Completion Speed	2.63	0.08	0.07	
Number of keywords extracted from the search problem statements for the first query	8.11	0.001	0.18	Multicriteria > simple (p < 0.001) Multicriteria > inferential (p < 0.01)
Number of new keywords produced for the first query	8.11	0.002	0.18	Simple > inferential (p < 0.01) Simple > multicriteria (p < 0.001) Multicriteria > inferential (p < 0.01)
Time spent on the first search engine results page	0.09	0.92	0.003	
Number of keywords extracted from the search problem statements	3.49	0.04	0.09	Simple < inferential (p < 0.001) Multicriteria < inferential (p < 0.001)
Number of new keywords produced by participants	5.27	0.007	0.13	Simple > inferential (p < 0.01) Simple > multicriteria (p < 0.001) Simple > inferential (p < 0.001)
Mean time spent on the search engine result pages	13.48	0.001	0.27	Simple > multicriteria (p < 0.001) Multicriteria > inferential (p < 0.05)

Appendix B

Main effect of complexity for health search problems.

	F(2,76)	p	η^2_p	Post hoc Bonferroni p
Performance: percentage of correct answers found	5.01	0.01	0.12	Simple > inferential (p < 0.001) Multicriteria < inferential (p < 0.001)
Task Completion Speed	2.48	0.09	0.06	
Number of keywords extracted from the search problem statements for the first query	0.56	0.28	0.02	
Number of new keywords produced for the first query	0.99	0.38	0.03	
Time spent on the first search engine results page	8.5	0.001	0.19	Simple < inferential (p < 0.01) Simple < multicriteria (p < 0.001) Simple > inferential (p < 0.001)
Number of keywords extracted from the search problem statements	5.04	0.01	0.12	
Number of new keywords produced by participants	3.12	0.06	0.08	
Mean time spent on the search engine result pages	11.34	0.001	0.25	Simple < inferential (p < 0.001) Simple < multicriteria (p < 0.001)

References

- Aula, A. (2003). Query formulation in web information search. In *ICWI* (pp. 403–410).
- Aula, A. (2005). User study on older adults' use of the Web and search engines. *Universal Access in the Information Society*, 4(1), 67–81.
- Aula, A., Khan, R. M., & Guan, Z. (2010, April). How does search behavior change as search becomes more difficult?. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 35–44). ACM.
- Aula, A., & Nordhausen, K. (2006). Modeling successful performance in Web searching. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(12), 1678–1693.
- Barsky, E., & Bar-Ilan, J. (2012). The impact of task phrasing on the choice of search keywords and on the search process and success. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(10), 1987–2005.
- Bell, D. J., & Ruthven, I. (2004, April). Searcher's assessments of task complexity for web searching. In *European conference on information retrieval* (pp. 57–71). Springer Berlin Heidelberg.
- Borlund, P., & Dreier, S. (2014). An investigation of the search behaviour associated with Ingwersen's three types of information needs. *Information Processing & Management*, 50(4), 493–507.
- Brand-Gruwel, S., Wopereis, I., & Vermetten, Y. (2005). Information problem solving by experts and novices: Analysis of a complex cognitive skill. *Computers in Human Behavior*, 21(3), 487–508.
- Campbell, D. J. (1988). Task complexity: A review and analysis. *Academy of management review*, 13(1), 40–52.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*.
- Chevalier, A., & Chevalier, N. (2009). Influence of proficiency level and constraints on viewpoint switching: A study in web design. *Applied Cognitive Psychology*, 23(1), 126–137.
- Chevalier, A., Dommes, A., & Marquié, J. C. (2015). Strategy and accuracy during information search on the Web: Effects of age and complexity of the search questions. *Computers in Human Behavior*, 53, 305–315.
- Chin, J., & Fu, W. T. (2010, April). Interactive effects of age and interface differences on search strategies and performance. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 403–412). ACM.
- Chin, J., Fu, W. T., & Kannampallil, T. (2009, April). Adaptive information search: Age-dependent interactions between cognitive profiles and strategies. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1683–1692). ACM.
- Crabb, M., & Hanson, V. L. (2014, October). Age, technology usage, and cognitive characteristics in relation to perceived disorientation and reported website ease of use. In *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility* (pp. 193–200). ACM.
- Dinet, J., Chevalier, A., & Tricot, A. (2012). Information search activity: An overview. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 62(2), 49–62.
- Dommes, A., Chevalier, A., & Lia, S. (2011). The role of cognitive flexibility and vocabulary abilities of younger and older users in searching for information on the web. *Applied Cognitive Psychology*, 25(5), 717–726.
- Dorot, D., & Mathéy, S. (2013). Accès aux représentations sémantiques et phonologiques chez des adultes jeunes et âgés: Une étude des mots sur le bout de la langue. *Psychologie française*, 58(1), 1–16.
- Duggan, G. B., & Payne, S. J. (2008, April). Knowledge in the head and on the web: Using topic expertise to aid search. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 39–48). ACM.
- Efthimiadis, E. N. (1996). Query expansion. *Annual Review of Information Science and Technology*, 31, 121–187.
- Eppinger, B., Kray, J., Mecklinger, A., & John, O. (2007). Age differences in task switching and response monitoring: Evidence from ERPs. *Biological Psychology*, 75(1), 52–67.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198.
- Hassan, A., White, R. W., Dumais, S. T., & Wang, Y. M. (2014, February). Struggling or exploring: Disambiguating long search sessions. In *Proceedings of the 7th ACM international conference on Web search and data mining* (pp. 53–62). ACM.
- Hembrooke, H. A., Gay, G. K., & Granka, L. A. (2005). The effects of expertise and feedback on search term selection and subsequent learning. *Journal of American Society Information Science Technology*, 56(8), 861–871.
- Hölscher, C., & Strube, G. (2000). Web search behavior of Internet experts and newbies. *Computer Networks*, 33(1), 337–346.
- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta Psychologica*, 26, 107–129.
- Hsieh-Yee, I. (1993). Effects of search experience and subject knowledge on the search tactics of novice and experienced searchers. *Journal of the American Society for Information Science*, 44(3), 161.
- Ingwersen, P., & Järvelin, K. (2005, December). Information retrieval in context: IRIx. In *Acm sigir forum* (Vol. 39, No. 2, pp. 31–39). ACM.
- Karanam, S., & van Oostendorp, H. (2016, May). Age-related differences in the content of Search queries when reformulating. In *Proceedings of the 2016 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 5720–5730). ACM.
- Monchaux, S., Amadieu, F., Chevalier, A., & Mariné, C. (2015). Query strategies during information searching: Effects of prior domain knowledge and complexity of the information problems to be solved. *Information Processing & Management*, 51(5), 557–569.
- Odiijk, D., White, R. W., Hassan Awadallah, A., & Dumais, S. T. (2015, October). Struggling and success in web search. In *Proceedings of the 24th ACM international conference on information and knowledge management* (pp. 1551–1560). ACM.
- Pak, R., & Price, M. M. (2008). Designing an information search interface for younger and older adults. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(4), 614–628.
- Sanchiz, M., Chin, J., Chevalier, A., Fu, W. T., Amadieu, F., & He, J. (2017). Searching for information on the web: Impact of cognitive aging, prior domain knowledge and complexity of the search problems. *Information Processing and Management*, 53(1), 281–294. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ipm.2016.09.003>.
- Sharit, J., Hernández, M. A., Czaja, S. J., & Pirolli, P. (2008). Investigating the roles of knowledge and cognitive abilities in older adult information seeking on the web. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(1), 3.
- Shute, S. J., & Smith, P. J. (1993). Knowledge-based search tactics. *Information Processing & Management*, 29(1), 29–45.
- Sutcliffe, A. G., Ennis, M., & Watkinson, S. J. (2000). Empirical studies of end-user information searching. *Journal of the American Society for Information Science*, 51(13), 1211–1231.
- Tabatabai, D., & Shore, B. M. (2005). How experts and novices search the web. *Library & Information Science Research*, 27(2), 222–248.
- Vakkari, P., Pennanen, M., & Serola, S. (2003). Changes of search terms and tactics while writing a research proposal: A longitudinal case study. *Information Processing & Management*, 39(3), 445–463.
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary score: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 18(2), 332.
- Wagner, N., Hassanein, K., & Head, M. (2014). The impact of age on website usability. *Computers in Human Behavior*, 37, 270–282.
- Wildemuth, B. M. (2004). The effects of domain knowledge on search tactic formulation. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 55(3), 246–258.
- Wildemuth, B., Freund, L., & Toms, E. (2013, June). Designing known-item and fact-finding search tasks for studies of interactive information retrieval. In *Proceedings of the second association for information science and technology ASIS&T (European Workshop)* (pp. 131–162).
- Zhang, X., Angheliescu, H. G., & Yuan, X. (2005). Domain knowledge, search behaviour, and search effectiveness of engineering and science students: An exploratory study. *Information Research: An International Electronic Journal*, 10(2), n2.

Chapitre 8 Article 3: Sanchiz, M., Amadiou, F. & Chevalier, A. Searching for information for well-defined and ill-defined search tasks with google search engine: predictors of young and older adults search strategies. (*under review, 2017*), *Interacting with Computers*.

Les résultats présentés dans ce chapitre proviennent des données recueillies lors de l'expérience 2. Cet article, soumis à la revue *Interacting with Computers*, présente les données sur l'impact de l'âge, des connaissances antérieures, de la flexibilité et des habiletés de recherche d'informations dans le domaine films fantastiques pour les problèmes de RI bien définis (problèmes simples) et mal définis (problèmes multicritères) de l'expérience 1. Le lecteur trouvera en annexes les consignes des trois tâches évaluant les habiletés de RI ainsi que la grille de codage utilisée pour chacune (annexes 9a, b et c, p. 278-279).

Abstract

This study focuses on the interaction between age, information search skills, flexibility and domain knowledge. A specific task was designed to assess in-depth information search skills (operational interaction, navigational and text processing skills) with real on-line data that were then confronted to the search behavior of young and older users in well-defined and ill-defined search tasks. Results showed that older adults had poorer information search skills than young ones. Information search skills, flexibility and prior knowledge were better predictors than age alone of the search strategies used at the beginning of the search (when users elaborate their first query and process their first search engine result page), whereas age alone was a better predictor of the mean time spent on all search engine result pages. Navigational skills supported the exploration of new search paths whereas text processing skills supported in-depth exploration of the webpages opened up by older adults.

Keywords

Psychology

User studies

Web search engine

Age

User characteristics

Activity centered design

1. Introduction

Though information search with search engines such as *Google* has become a widely common activity, it still induces some difficulties, particularly for older adults. Indeed, interacting with a search engine to search for information is challenging for older users as they have to elaborate non-linear search paths and navigate between several hyperlinks, process a large amount of information and produce queries. Prior works have shown that older users have difficulties interacting with search engines (Aula, 2005), they spend longer time analyzing the search engine pages (Hanson, 2010; Dommès, Chevalier, & Lia, 2011; Sanchiz, Chin, Chevalier, Fu, Amadiou, & He, 2017; Sanchiz, Chevalier, & Amadiou, 2017), they are less accurate (Pak & Price, 2008; Dommès *et al.*, 2011) and they tend to have more difficulties selecting a website to open up than young ones (Chin & Fu, 2010). In addition, prior works demonstrated that older users particularly struggle for fact-finding tasks (as opposed to open-ended task that rely more on comprehension processes and sense-making). Searching for information with a search engine requires users to produce a query (i.e. a set of keywords) based on their search goal, process the results retrieved by the search engine pages (SERPs) and select a website to open up or reformulate their query. These actions involve several cognitive processes related to fluid abilities such as cognitive flexibility or processing speed (Cattell, 1971; Sharit, Hernandez, Czaja, & Pirolli, 2008). Cognitive flexibility, which refers to the ability to adapt to environment changes and switch to different processing strategies (Chevalier & Chevalier, 2009), is reported to be highly responsible for older adults' difficulties to reformulate queries (Dommès *et al.*, 2011). Prior works have shown that prior domain knowledge about the search topic can improve search performance (Pak & Price, 2008) and can cope with older adults' difficulties by enhancing better search strategies (Sanchiz *et al.*, 2017). However, prior studies carried out by Höslcher and Strube (2000) also showed that the benefits of prior domain knowledge only appeared when users had a certain level of skills related to the search task itself (Information search skills). Indeed, in their study, only domain experts and information search experts managed to directly select relevant webpages that contained the target information. Despite these findings, the role of IS skills in age-related differences is up to exploration. Some studies have attempted to analyze how IS skills could determine users' search behavior with actual behavioral data and have shown that such measures are more reliable than self-assessing measures or questionnaires (Hargittai, 2002; Merritt, Smith, & Renzo, 2015; Van Deursen & Van Dijk, 2010; van Deursen *et al.*, 2012). However most studies still assess IS skills with self-reported measures, web experience (such as years of internet use: Thatcher, 2008), internet

confidence (Crabb & Hanson, 2014) or educational level (Brand-Gruwel, Wopereis, & Vermetten, 2004; Hargittai & Hinnant, 2008). Though these methods can provide relevant measures, they also have some disadvantages: self-assessments can lead to overrating or underrating, especially for older ones (*e.g.* Marquié, Jourdan-Boddaert, & Huet, 2002) and the relation between internet use and concrete IS skills is not clear (van Deursen & van Dijk, 2010). In addition, prior works investigated the impact of IS skills and cognitive abilities on the whole search process and did not analyze their impact during the different stages of the search. The present study aimed at designing a task assessing in-depth IS skill on the basis of real on-line data and at testing whether cognitive flexibility, prior knowledge and IS skills could be better predictors of young and older adults' search strategies with a search engine than age alone.

2. Background and related work

2.1 Impact of cognitive aging on information search behavior

Information search is a complex activity that engages users in problem-solving, comprehension, decision-making and querying processes. Sharit *et al.* (2008) elaborated a three-staged model of Information Search with a search engine:

- Stage 1 planning and querying: Users first have to elaborate a coherent mental model of their information need and phrase into a query.
- Stage 2: evaluating and selecting relevant information. After entering their query into the search engine, users have to process the search engine result page (SERP) and evaluate results relevance to select a website to open up. If no results are satisfying, users can go back to stage 1 and modify the representation of their search need and/or modify their query.
- Stage 3: Information processing. Users can select one or several websites to open up and process its content in details.

Information search is a cycling process; hence, these stages may be iterative as long as users do not find information that satisfies their information need. Age, along with several cognitive processes and abilities can impact the three stages of information search. In line with prior works by Sanchiz *et al.*, (2017), we argue that top-down processes and prior knowledge are critical for stage 1 as they help users elaborate a coherent mental model and produce semantically relevant keywords. Their results showed that when older adults do not have

enough prior knowledge, they have more difficulties elaborating a coherent mental model and analyzing the first SERP. At stage 2, cognitive flexibility supports the exploration of more webpages and reformulation for older adults (Dommes *et al.*, 2011). Older users also have more difficulties evaluating the search engine results and monitor less their search process as compared to young ones (Chevalier, Dommes, & Marquié, 2015). Older adults also tend to use different search strategies than young ones that can impact stage 3. Indeed, older adults tend to rely more heavily on top-down processes (Chin & Fu, 2010): they visit fewer websites, take longer time to decide which webpage to open up. In contrast, young adults follow more bottom-up strategies and are more influenced by the search system features, visit more webpages and leave webpages faster than older adults.

2.2 Role of information search skills and domain knowledge on users' behavior

Information search skills (IS skills) refer to skills or knowledge related to the search task itself. Several conceptualizations of IS skills have been developed over the years. IS skills incorporate a combination of sub-skills such as problem-solving skills, creative and critical skills (Helsper & Eynon, 2013). IS skills include but are not limited to mere technical or procedural knowledge about information of the search task (van Deursen *et al.*, 2011; van Deursen, *et al.*, 2012) and are considered domain-independent (Smith, 2015). For van Deursen and Van Dijk (2009, 2010), Internet skills combine: (i) operational skills (*i.e.* the skill to interact with the media), (ii) formal skills (*i.e.* the skill to handle the media specific constraints such as hyperlinks), (iii) information skills (*i.e.* the skill to process and select information), and (iv) strategic skills (the skill to process information and use it as a way to achieve one's personal search goal). Web search experts (*i.e.* users with high IS skills) have high search performance and relevant search strategies no matter the search topic in which they search for information. Smith (2015) describes search expertise as a combination of procedural knowledge related to the allocation of attention to relevant items and useful routine progression that supports the exploration of different search environments and vocabulary spaces that are transferable across all knowledge domains. As opposed to domain expertise (*i.e.* users with high prior knowledge about the search topic), web search experts can adapt to search tasks' expectancies and are not limited to the scope of a specific knowledge domain or familiar search environment (Feltovich, Prietula, & Ericsson, 2006). Web search experts produce more queries, they open up relevant results faster (Hölscher & Strube, 2000), they monitor their search more regularly, they explore more sub-

topics and they have routine strategies to assess relevance (Smith, 2015). However, search expertise can be specific to a search system. Prior works investigated search expertise related to online library catalog system (Sit, 1998; Borgman, 1996). In this study, results showed that older adults experienced more difficulties than young ones especially regarding conceptual knowledge and technical skills on how to interacting with the system (i.e. formulating queries, understanding content databases and Boolean search). In contrast, domain experts produce relevant queries (i.e. with semantically specific keywords (Sanchiz *et al*, 2017); focus on factual accuracy (Lucassen, Muilwijk, Noordzij, & Schraagen, 2013) but use strategies that are only relevant for their topic of expertise. In other words, in a topic for which they have low prior knowledge, domain experts can have similar search behavior as information search novices (White, Dumais, & Teevan, 2009). Based on the previous findings described above, the present study will investigate three types of Information Search skills which are closely related to Van Deursen, and al' works (2009, 2010): (1) operational interaction skills (*i.e.* the ability to interact with the search engine and websites), (2) navigational skills (*i.e.* the ability to elaborate a coherent search path and not get disoriented), (3) text processing skills (*i.e.* abilities related to content-processing such as comprehension). See table 1 below for a more detailed summary of he IS sub-skills investigated.

Table 1: Summary of the three types of Information search skills

Information search sub skills	Processes involved
Operational interaction skills	<ul style="list-style-type: none"> ● Abilities (or procedural knowledge) to interact with a web browser, search engine or web sites: use back button, validate query, open a new tab... (Sit, 1998; Hargittai, 2002; van Deursen & van Dijk, 2009; 2010). ● Declarative Knowledge about information search tools and tasks.
Navigational skills	<ul style="list-style-type: none"> ● Elaborate a coherent mental representation of a website's structure ● Selecting a coherent source of information (Brand-Gruwel <i>et al</i>, 2005). ● Build a coherent navigational path, orient oneself in a hypermedia environment (Park & Kim, 2000) ● Scanning a web page. ● Locating a relevant item (hyperlink, menus...). ● Switching between several webpages and/or search engine pages (procedural routine knowledge about browsing, Smith, 2015). ● Adapting navigational strategies (in-depth browsing of a website vs broad search Hargittai, 2002).
Text processing skills	<ul style="list-style-type: none"> ● Defining the search task by selecting relevant keywords to produce a useful query

	<ul style="list-style-type: none"> • Comprehension processes and (elaborating a coherent mental representation of the semantic problem-space tackled by the search, integrating new information Duchy, 1993; inference-making,). • Content-related skills such as inference-making (van Deursen, van Dijk, & Peters, 2011) and content pages analyses (Bilal, 2000). • Integrating new pieces of information retrieved from the system and produce useful queries (Aula & Nordhausen, 2006) • Allocating attentional resources to select relevant textual information and inhibit irrelevant ones). • Relevance assessment (of the SERP content, webpage..., Smith, 2015; Kroustallaki <i>et al.</i>, 2015). • Credibility judgement (Lucassen <i>et al.</i>, 2013).
--	--

Figure 1 below shows a summarizing overview of the relationships between age, prior knowledge and the three components of information search skills on the three stages of information search skills.

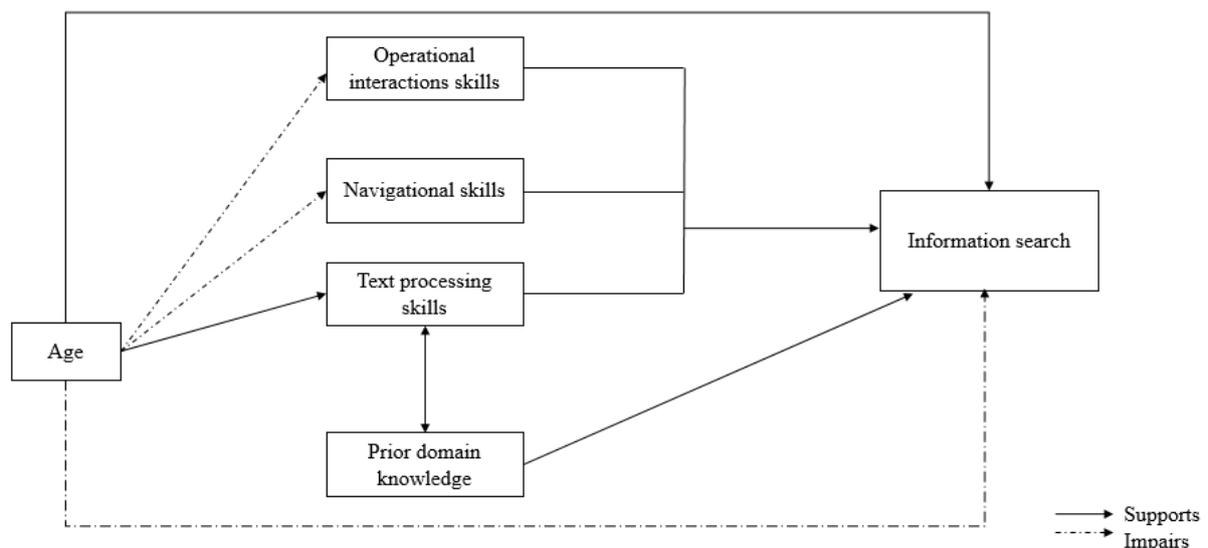


Figure 1: Relationships between age, prior knowledge, and information search skills on information search behavior.

2.2 Effects of task type on search behavior

Task type can be defined: (1) in relation to the nature of the search task, which can be rather fact-finding, well-defined or more open-ended, ill-defined (Chin, Fu, & Kannampallil, 2009) or (2) in relation to complexity features. For Chin *et al.* (2009), well-defined tasks correspond to search task in which the information to be found is clear and precise whereas ill-defined ones are broader and require users more comprehension processes and semantic integration. For

instance, Chin *et al.*, (2009) designed well-defined tasks for which users had to locate a target webpage that contained a specific keywords provided in the search problem statements, whereas for ill-defined search tasks, provided a small scenario to participants (“*A person gains weight suddenly, feels fatigue, and has difficulty dealing with cold temperatures*”) and instructed them to gather information in a website. The well-defined vs ill-defined discrepancy is also consistent with Bell and Ruthven (2004) 3 stages model of information search task complexity:

- Level one, which can corresponds to well-defined search tasks, refers to tasks in which the information to be found and the way to access it are clearly stated.
- Level 2 requires more decision-making and navigation.
- Level 3 can corresponds to ill-defined ones, implies a higher level of impreciseness. For well-defined fact-finding tasks, participants tend to produce a unique query or few reformulations whereas ill-defined search tasks involve more navigation within websites and more reformulation (Dommes *et al.*, 2011; Sanchiz *et al.*, 2017).

Prior works investigated the impact of age on search tasks of different complexity and nature showed that older adults performed better for ill-defined problems that relied more on comprehension processes, prior knowledge and crystallized abilities; whereas young ones performed better for fact-finding well-defined tasks that required more information search skills (Chin *et al.*, 2009; Dommes *et al.*, 2011; Chevalier *et al.*, 2015).

3. Objectives and research questions of the study

The first objective of this study is to design a task assessing in-depth information search skills with real on-line behavioral data that would be compatible with young and older adults. In line with prior works, the present study focused on three type of IS skills: operational interaction, navigational and text processing skills. The second objective of the study is to confront IS skills to information search behavior and evaluate to what extend IS skills along with prior knowledge and cognitive flexibility can be more predictable of the search behavior than age alone. For the second objective, we addressed the following research questions:

- *Research question 1:* At which type of IS skills are young and older adults better at?
- *Research question 2:* Is age the best predictor of search behavior? Or are domain knowledge, cognitive flexibility and Information Search skills more powerful at predicting the search behavior?

- *Research question 3: What is the relative contribution of each type of Information search skills to young and older users search behavior?*

Based on these elements, we formulated the following hypotheses:

H1. Young adults would have better IS skills than older ones, especially for operational interaction and navigational skills.

H2. Because they are more flexible and more familiar to web browsing search tasks, young adults should be better at navigational skills. In contrast, as crystallized abilities (such as inference-making and vocabulary use) increase with age, older adults should be better at text processing skills.

H3. Flexibility and IS skills should help older adults explore more search paths (i.e. more webpages opened up and more reformulations). Text processing skills, because they include comprehension processes such as inference-making, should support in-depth analyses of the search paths elaborated.

4. Method

4.1 Experiment design and participants

40 adults participated in this experiment: 20 older adults (8 males and 12 females) from 60 to 80 ($M = 62.90$ $SD = 5.88$) and 20 young adults (5 males and 15 females) from 19 to 30 ($M = 20.19$ $SD = 2.79$). Participants were all native French speakers and in good health (for older participants, Mini Mental State Evaluation score $M = 29.53$ $SD = .62$). No differences were found between young and older adults on years of education ($t(40) = -1.76$, $p = .10$, n.s., respectively $M = 4.09$ $SD = 2.12$ for young adults and $M = 6.50$ $SD = 1.46$ older ones) and the declared time spent on the internet per week ($t(40) = 1.89$, $p = .07$, n.s., respectively $M = 17.00$ $SD = 9.72$ for young ones and $M = 13.06$ $SD = 10.14$ for older adults). Young participants were undergraduate students recruited at the University of Toulouse via e-mails. Older adults were all retired, recruited through local leisure clubs. All participants were recruited on the basis of using the internet on their own, several times a week and received a 15 euros reward for their participation.

4.2 Procedure

Participants completed the tasks using Google Chrome web browser and Google search engine on a computer running Windows 7. Participants first completed a consent form, then a questionnaire assessing Internet habits and familiarity and a prior domain knowledge test. The prior knowledge test consisted in 10 multiple choice questions related famous fantastic movies (such as Star Wars or The Lord of the Rings); participants had to choose between four possible answer (including “I don’t know”). Participants then completed the Trail Making test part B to measure cognitive flexibility. In this test, participants had to draw lines to join alternatively letters and numbers (ie. A-1-B-2...) as quickly as possible. The time taken to complete the task along with the number of correct and wrong links made were retrieved. Next, participants performed the search tasks in random order without any time limit. Participants were instructed to search for the answer on Google for as long as wanted, and that they could stop at any time if they thought they had find the answer, or could not find it. When participants knew the answer before searching on the internet, their data were not included. After each search task participants completed a paper based questionnaire measuring their perceived difficulties and mental effort. Eventually, participants completed the information search skills tasks and older adults completed the Mini Mental Examination State assessing possible cognitive aging impairments (Folstein & Folstein, 1975). On-line data were retrieved via log files recorded by *Google Chrome History View*.

4.3 Measures and data analyses

4.3.1 Independent variables (IV)

As discussed in the previous sections, besides age (IV1), task type was also manipulated as a within-subject variable (IV2). In line with prior works by Sanchiz *et al.* (2017), participants had to complete two well-defined search tasks and two ill-defined ones (see section 4.4 below).

4.3.2 Dependent variables

- Search performance was assessed through the number of correct answers found.
- The time spent analyzing the SERP: in line with prior works (Sanchiz *et al.*, 2017), we recorded the mean time spent on all search engine pages and the time spent on the very first SERP consulted. This time included the time spent on Google before clicking on a link to open up a website. The present study argues that the time spent on the first SERP grasps top-down strategies when elaborating a coherent mental model of the search task.

- The number of queries produced: the mean number of queries (*i.e.* initial queries and all following reformulations) was calculated per search task type.
- The number of webpages opened up per query. For each search problems we calculated how many pages were opened up from Google for each query produced. In line with prior works by Chin *et al.* (2015), we argue that looking up for many webpages per query before reformulating (*i.e.* changing keywords in queries) corresponds to exploitation strategies (*i.e.* users allocate more resources to process more information per query instead of initiating a new search path by producing a new query). In contrast, opening up few (or no) webpages and reformulating immediately corresponded to exploration strategies (*i.e.* by reformulating immediately after producing a query, users initiate a new search path and explore new sub - search concepts).
- Post-query strategies: We investigated the percentage of fruitful queries, unfruitful queries and queries that were followed by abandon for each search task, (*i.e.* during the entire search process). Fruitful queries corresponded to queries that led to opening up a webpage (*i.e.* in which case participants considered that their query was fruitful and relevant enough to access useful webpages). Unfruitful queries corresponded to queries that led to reformulating and not opening up a website (*i.e.* in which case participants considered that their query was not relevant enough to lead to a useful website to search for the target answer). Abandon corresponded to queries that neither led to opening up a website nor reformulating (*i.e.* when participants decided to stop the search task and switch to a new one). We also investigated the proportion of initial query (*i.e.* the first query produced by participants when beginning the search) that were fruitful, unfruitful or that led to abandon. We argue that analyzing how participants use their first query will reflect to what extend top-down strategies led to the elaboration of a mental model of the search that was coherent and useful to start the search process. In other words, when participants opened up at least one webpage after their first query, we considered that they relied more heavily on top-down search strategies, prior knowledge and exploited their query (*i.e.* they probably considered that their mental representation of the search task had helped them produce a relevant query). In contrast, when participants reformulated after producing their initial query (without opening up at least one webpage), we considered that they were more flexible and followed more exploratory strategies and/or modified their initial mental representation of the search task.

4.4 Search tasks

Three types of search tasks were designed for the present experiment: well-defined search tasks, ill-defined search tasks and more complex ill-defined search tasks that needed inference making to produce useful queries (i.e. only vague synonyms were provided in the search problem tasks assignment). However, we found no significant differences between ill-defined search tasks and ill-defined ones with vague keywords on most of our DVs. Hence, we decided to exclude them from the present paper. The well-defined search tasks provided relevant keywords to find the target answer which was directly accessible on Google search engine result pages (SERP). Hence, to solve the well-defined tasks in the optimal way, participants had to select the main concept from the tasks' search statements, use them in a query and process in details the SERP to find the answer. No reformulation or web navigation was strictly required by well-defined tasks to find the target answer. For instance, to search for the answer to the search task: '*Who is Cyclope's brother in the movie X-men*', participants had to produce queries containing at least the keywords *Cyclope*, *brother*, *X-men* to find the target information on Google SERPs. For ill-defined search tasks, participants had to collect the different concepts tackled by the search statements and broadly explore websites to find one target that matched all these concepts (i.e. the search statements provided criteria that reduced the possible answer of the search task to one target answer). To complete the ill-defined search tasks, participants had to select relevant keywords from the task assignments, infer the semantic connections between these keywords in order to produce new relevant ones and/or process the SERPs to select relevant websites to open up. For instance, to find the target information to the search task: '*Antoine is interested in animals and fantastic movies. He wishes to watch **fantastic or science fiction** movies that have **animals as lead roles**. Even if he doesn't like **black and white** movies very much, he would very much like to discover **old movies of the genre**. Advise him one movie that matches his criteria.*' Participants had to match the criteria written in bold letters (the letters did not appeared in bold for the experiment). In line with prior works (Bell & Ruthven, 2004), we considered that ill-defined search tasks were more complex than well-defined ones as the way to find the target answer was unclear (users had to elaborate several search paths, gather new information via several webpages...) and as users had to process a larger amount of information.

4.5 Information search skills tasks

Information search behavior involves a wide range of search strategies; hence, from one user to another, on-line behavior can be extremely different. To be able to measure information search skills with real on-line data that would be comparable from one user to another, we designed three assignments that consisted in small instructions to follow (see table 2 below). In line with previous works (Brand-Gruwel, Wopereis, & Walraven, 2009; Van Deursen, 2012) the three assignments aimed to measure three types of information search skills: operational interaction skills, navigational skills and text processing skills. For each sub-skill, we listed several processes involved in order to measure in great details how the sub-skills of information search skills impact search behavior (see also the summarizing Table 1 in the introduction section). Each instruction contained in the assignments was targeting one of the processes related to operational interaction skills, navigational skills and text processing skills. Participants had to complete the instructions one by one. This allowed us to make sure that participants would be comparable as we restrained the range of possible actions they might perform (i.e. they would visit the same websites, search for the same specific target). Yet, the assignments still allowed some variety as, depending on their IS skills, participants could reach the goal (or fail) in several possible ways (i.e. trial and error navigational paths, go straight to the target, make mistakes and come back to the SERP). For instance, to complete assignment 3, participants could either enter *Amazon* URL, go to the website and then search in Amazon search base for the target DVD, or they could produce a query on Google (such as “*bienvenue chez les ch’tis amazon dvd*”).

Table 2: Information search skills assignments (translated from French)

1	Search on Google for the highest roller coaster in the world and open the 3rd results in a new tab. Next, open the 2d results. On this web page, underline the name of the roller coaster with the highest vertical looping. Go back to previous page. Now go the website you previously opened on a new tab. Underline the name of Disney Land’s roller coaster. Go back to previous page. Go to the 4th page of results on google and open the 5th results. Underline the name of the amusement park described on this website.
2	Go to Wikipedia Home Page. In the presentation menu, click on the link Wikipedia Guide. Find the name of the database that deals with quotations. Next, go back to Google Home page.
3	Go to the French Amazon website and put in your cart the DVD “ <i>Bienvenue chez les Ch’tis</i> ” as if you were trying to buy that movie.

Performance to the information search skills task (i.e. quality of the on-line search behavior during the IS skills tasks) was coded as followed (see appendixes 1 to 3 for summarizing coding tables):

- Each assignment consisted in several small instructions (actions to be performed). Hence, each instruction was coded one at a time.
- Correct completion of the IS skills assignments in the optimal way was granted two points (i.e. participants completed the assignments with the minimal number of actions required)
- Correct completion of the assignments in a non-optimal way was granted one point (i.e. participants completed the assignments but they made some deviations and performed more actions than what was strictly required). For instance, participants who visited several webpages before reaching the target webpage instead of directly accessing the target webpage obtained one point.
- Failure (i.e. when the assignment was not completed or failed) was granted 0 point.
- Composite scores for operational interaction, navigational and text processing skills were computed by adding the points attributed to the different processes at stake

Composite scores for operational, navigational and text processing skills were computed as followed:

(i) Operational interaction skills included: (a) understanding declarative concept related to information searching (e.g. specific terms such as tab, query bar, window browser) (b) and performing operational interactions (e.g. correctly using the search engine tools, query bar, forward or back arrow...). Cronbach alpha score for the computed operational skills was $\alpha = .77$.

(ii) Navigational skills included: (a) target location (e.g. locating a menu, hyperlink) and (b) navigation path scores (e.g. opening the correct website, following a navigational path when switching from several webpages or SERP). Cronbach alpha score for the computed navigational skills was $\alpha = .85$.

(iii) Text processing skills included: (a) relevant keyword selection, (b) comprehension and attention processes (e.g. finding a specific semantic target among semantically relevant distractors). Cronbach alpha score for the computed text processing skills was $\alpha = .70$.

Measuring information search skills with real on-line data represents a challenge. To have a good measurement power, the information search skills tasks need to take into account the impact of internet familiarity, the ability to adapt to unknown search environments and the ability to produce a creative and relevant strategy. Indeed, navigational behaviors either rely on effortless automatic processes (when users possess knowledge or schemes they can activate to find the target answer or when they can activate effortlessly procedures to find the target answer) or on controlled thoughtful processes (when users do not have any knowledge or cannot activate it) (Kitajima & Toyota, 2012). That discrepancy is also consistent with prior works showing that expertise can either be routine processes (*i.e.* that do not require adaptation) and adaptive (*i.e.* that involve environment changes and adaptive processing) (Hatano & Inagaki, 1984). Discriminating correct completion in the optimal or non-optimal way allowed us to discriminate between familiarity (*i.e.* when user activates relevant knowledge or scheme to perform an action s/he has already completed before) and problem-solving abilities (*i.e.* trial and error strategies, when user makes several attempts to complete an assignment). Consistently with prior work (Kitajima & Toyota, 2012), we assumed that highest scores (2 points) and fast executions times would be most likely linked to familiarity (*e.g.* individuals might be familiar with the particular website they have to visit). Intermediate scores (1 point) are more likely to be linked to the ability to be creative and find a way to complete the assignment without being familiar with the websites at stake. This procedure allowed us to translate into the IS skills assessing tasks to what extent users easily completed the assignments (Hargittai, 2002). Coding was accomplished in a double-blind way with two judges.

5. Results

5.1 Overview of users' profile: prior domain knowledge and information searching skills

Table 3 below provides an overview of the average level of prior knowledge, cognitive flexibility and completion scores for all types of Information search skills. Prior analyses showed that older adults had lower cognitive flexibility ($t(40) = 15.57, p = .03$) but no age-differences were found on the level of prior knowledge ($t(40) = 1.36, p = .18$). As we expected (H1), analyses also showed that young adults had significantly greater operational interaction skills ($t(37) = 6.16, p < .001$), navigational skills ($t(37) = 5.08, p < .001$) and text processing skills ($t(37) = 5.26, p < .001$) than older ones.

Table 3: Means (and SD) for prior domain knowledge and composite scores for operational, navigational and text processing skills.

	Young adults	Older adults
% Prior fantastic movies domain knowledge	57.2 (22.2)	46.3 (27.9)
Cognitive flexibility (TMT number of correct moves, maximum= 23)	22.67 (1.11) **	19.42 (6.55)
Operational interaction skills (%)	52.06 (4.31) *	25.61 (3.11)
Navigational skills (%)	77.91 (7.74) *	34.50 (4.74)
Text processing skills (%)	73.21 (4.62) *	48.47 (4.64)

* $p < .001$ ** $p < .05$

To answer our research question 1, we investigated which type of IS skills young and older adults were better at. After splitting our file into two, ANOVAs showed that young adults had significantly poorer operational interaction skills as compared to navigational ($p < .001$) and text processing skills ($p < .001$), no differences were found between navigational and text processing skills ($p = ns$). Analyses showed that older adults had fewer operational interaction skills as compared to navigational ($p = .001$) and text processing skills ($p < .001$). Older adults also had more text processing skills than navigational ones ($p < .001$, H2). In a nutshell, for young adults the strongest skills are navigational and text processing skills, whereas for older adults, the text processing skills were stronger than the other types of skills.

5.2 Age-related differences on Information search

Search performance

Mixed 2*2 ANOVAs were conducted with age (between-subjects factor) and complexity (within-subject factor). Results revealed no significant effect of age on the number of total correct answers found ($p = n.s.$). As we expected, complexity had a significant impact on the number of correct answers ($F(1,37) = 18.26, p < .001, \eta^2_p = .35$): participants found more correct answers in well-defined search problems ($M_{percent} = 81.3 SD = 4.9$) as compared to ill-defined ones ($M_{percent} = 59.4 SD = 9.00$). Results also revealed a significant interaction between age and complexity ($F(1,37) = 8.11, p < .01, \eta^2_p = .19$). Young adults found more correct answers than older ones for well-defined problems ($p < .02$), whereas no significant differences were found for ill-defined ones ($p = n.s.$).

5.3 Influence of flexibility, prior knowledge and information search skills influence on Information search behavior

Predictors of search strategies

To answer our research questions 2 and 3, we conducted multiple hierarchical regression analyses on several dependent variables related to query production, search engine pages analyses and navigation. We compared three models as follow:

- Model 1 : Age (dummy variable)
- Model 2 : Age, Flexibility and prior knowledge (z-standardized variables)
- Model 3: Flexibility, prior knowledge, Age × operational interaction skills, Age × navigational skills, Age × text processing skills

The goal was to study whether (i) age alone was a better predictor of the activity (comparing the predictability power of model 1 versus model 2 and 3) or (ii) whether prior domain knowledge, flexibility and information searching skills could cope with the age-related differences usually found on information search strategies. Because age was correlated with the three dimensions of information search skills, we entered in our model 3 the interaction between age and IS skills and excluded the independent variable age. By doing so, model 3 did not violate the multicollinearity assumption (Variance Inflation Factor < 10 and tolerance was > .05).

5.3.1 Predictors of well-defined search tasks

Time spent on the first search engine page

Results of the multiple regression analyses showed that the model including cognitive flexibility, prior knowledge and the interaction between age and information searching skills was a better predictor of the time spent analyzing the first search engine page and accounted for 53 % of the variance ($F(5,37) = 9.36, p < .001$). The time spent on the first search engine result page was significantly reduced by cognitive flexibility ($t(37) = -3.24, B = -.38, p < .01$). A simple slope Technique was used to visualize the significant interaction between age and operational interaction skills ($t(37) = -2.92, B = -1.45, p < .01$). Results suggested that the more operational interaction skills older adults had, the faster they processed the first search engine page, whereas operational interaction skills had no impact for young users.

Time spent on the search engine

Results of the multiple regressions analyses showed that the model including age alone was the best predictor of the mean time spent on all search engine result pages (20% of the variance, $F(1,37) = 10.16, p < .01$).

Number of webpages opened up per query

Results showed that the model including age, flexibility and prior knowledge significantly accounted for a larger part of the variance (33%) of the number of webpages opened up per query ($F(3,37) = 7.40, p < .001$). Cognitive flexibility significantly reduced the number of webpages opened up per query ($t(37) = -4.64, B = -.65, p < .001$).

Number of queries

Results of the multiple regression analyses showed that age alone could marginally be a better predictor of the number of queries produced (14% of the variance, $F(1,37) = 3.49, p < .07$). Older adults tended to produce more queries for well-defined search problems than young ones ($M = 5.47, SD = 2.36$ vs $M = 1.47, SD = .60$).

Percentage of initial query that led to opening up a webpage or to reformulating

Results of the multiple regression analyses showed no significant effects of our three models (all $p = ns$).

Percentage of queries followed by opening up a webpage or reformulating or by opening up a webpage

Neither our three models could significantly account for the percentage of queries that led to opening up a webpage or reformulating (all $p = ns$).

Intermediate conclusion for well-defined search problems

As a reminder, well-defined problems required users to select relevant keywords from the search problem assignments and phrase them into a query and then process the search engine results pages to find the target answer. Results showed that cognitive flexibility, prior knowledge and information search skills impacted the first stage of the search for well-defined search problems. Cognitive flexibility helped processing the results of the first search engine page faster and reduced the mean number of webpages opened up per query, which helped users adapt to the well-defined problems' requirements. In addition, operational interaction skills

supported the older adults' efficiency when evaluating the search results on the first search engine page retrieved. Cognitive flexibility also helped users be faster on Google first page. In line with the interaction pattern found on the number of correct answers, older adults seemed to experience more difficulties than young ones for the well-defined problems as they tended to produce more queries than young ones. See Table 4 above for a summary of all significant predictors for the ill-defined search tasks.

Table 4: Summary of significant predictors of the search strategies. * means that the model is the most significant one.

	Model 1: age	Model 2: age, flexibility, prior knowledge	Model 3: flexibility, prior knowledge and IS skills
Mean time on the first SERP			*
Mean time on all SERPs	*		
Number of webpages opened up per query		*	
Number of queries produced	*		

5.3.2 Predictors of ill-defined search tasks

Time spent on the first search engine page

Results of the multiple regression analyses showed that the model including age, cognitive flexibility, and prior knowledge was a better predictor of the time spent analyzing the first search engine page and accounted for 32 % of the variance ($F(3,37) = 6.58, p < .001$). The time spent on the first search engine result page was significantly higher with age ($t(37) = 4.33, B = .66, p < .001$), whereas prior knowledge increased the time spent analyzing the first search engine page ($t(37) = 2.00, B = .28, p = .05$). Flexibility also marginally contributed to longer time spent on the first search engine page ($t(37) = 1.95, B = .29, p = .06$).

Mean time spent on all search engine result pages

Results of the multiple regression analyses showed that age alone was a better predictor of the mean time spent on google (33% of the variance, $F(1,37) = 17.82, p < .001$).

Number of webpages opened up per query

Results showed that the model including age, cognitive flexibility and prior knowledge could marginally account for a larger part of the variance (18%, $F(1,37) = 2.60, p = .06$). Cognitive flexibility significantly increased the number of webpages opened up per query ($t(37) = 2.75, B = .45, p < .01$).

Number of queries produced

Results showed that the model including age, flexibility and prior knowledge significantly accounted for a larger part of the variance (32%, $F(3,37) = 4.44, p < .01$). Age ($t(37) = -2.03, B = -.32, p = .05$) as well as prior knowledge ($t(37) = -3.41, B = -.50, p = .002$) reduced the number of queries produced.

Percentage of initial query that led to opening up a webpage

Results of the multiple regression analyses showed that the model including flexibility, prior knowledge and information search skills significantly accounted for a larger part of the variance of the percentage of initial query that led to opening up a webpage (44%, $F(5,37) = 6.09, p = .001$). A simple slope technique was used to visualize the significant interaction between age and navigational skills ($t(37) = -3.83, B = -2.29, p = .001$) and between age and text processing skills ($t(37) = 4.39, B = 2.63, p < .001$). Results suggested that the more navigational skills older adults had, the less they tended to open up a web page after the initial query they produced, whereas the more text processing skills older adults had, the more they tended to open up a webpage after the first query they produced. Both navigational skills and text processing skills had no impact on the percentage of initial query that were followed by opening up a webpage for young adults.

Percentage of initial query that led to reformulating into another query

Results of the multiple regression analyses showed that the model including flexibility, prior knowledge and information search skills significantly accounted for a larger part of the variance of the percentage of initial query that led to opening up a webpage (18%, $F(5,37) = 2.73, p < .04$). A simple slope technique was used to visualize the significant interaction between age and navigational skills ($t(37) = 1.55, B = 2.32, p < .03$) and between age and text processing skills ($t(37) = -1.89, B = -2.83, p < .01$). Results suggested that the more navigational skills older adults had, the more they tended to reformulate their initial query, whereas the more text processing skills they had, the less they tended to reformulate their initial query. Both navigational skills and text processing skills had no impact on the percentage of initial query that were followed by reformulating for young adults.

Percentage of queries followed by opening up a webpage or reformulating

Neither our three models could significantly account for the percentage of queries that led to opening up a webpage or reformulating (all $p = ns$).

Intermediate conclusion for ill-defined search problems

Table 5: Summary of significant predictors of the search strategies. * means that the model is the most significant one.

	Model 1: age	Model 2: age, flexibility, prior knowledge	Model 3: flexibility, prior knowledge and IS skills
Mean time on the first SERP		*	
Mean time on all SERPs	*		
Number of webpages opened up per query		*	
Number of queries		*	
Percentage of initial query that led to opening up a webpage			*
Percentage of initial query that led to reformulating into another query			*

In line with prior results found for the well-defined problems, cognitive flexibility, prior knowledge and information search skills influenced the first stage of the search. Prior knowledge reduced the time spent analyzing the first search engine results retrieved. Information search skills had an impact on the strategies used by older adults after producing their first query. The more navigational skills older adults had, the more they tended to reformulate their initial query instead of opening up a webpage (*i.e.* instead of exploiting the initial query produced, older adults with higher navigational skills managed to reformulate their query to initiate a new search path). In contrast, the more text processing skills older adults had, the more they tended to open up a webpage after producing their initial query (*i.e.* the more they exploited their initial query and processed in deeper details the first search path they elaborated) (H3). Overall, only age impacted the entire search process (longer time spent on Google and fewer queries produced), though prior knowledge also reduced the mean number of queries produced. See Table 5 above for a summary of all significant predictors in ill-defined search tasks.

6. Discussion

The present study aimed at designing a task evaluating in-depth information search skills with real-on line behavioral data and to test whether information search skills, prior knowledge and cognitive flexibility could be better predictors of young and older adults' search behavior than age alone. To this end, participants completed three assignments measuring operational

interaction, navigational and text processing skills. Participants then completed 2 well-defined (i.e. relevant keywords provided and answer directly accessible on Google SERPs) and 2 ill-defined search problems (i.e. that required information gathering and more web navigation) related to fantastic movies.

6.1 Effects of age

Older adults were outperformed by young ones for well-defined search problems, whereas no age-differences were found for ill-defined ones. This pattern is consistent with prior works by Chin & Fu (2010): older adults struggle less for search tasks that required more comprehension processes. Consistently with prior works (Dommes *et al.*, 2011; Karanam & van Oostendorp, 2016; Sanchiz *et al.*, 2017), the present study showed that older adults spent longer time on the SERPs than young ones (age alone was the best predictor of the mean time spent evaluating the search engine results).

6.2 Information search skills

Our IS skill assignments revealed that older adults had less IS skills than young ones in all three dimensions (operational interaction, navigational and text processing skills). We investigated in more depth which sub skills represent more challenge than the other for both young and older users. Interestingly, young adults appeared to have great navigational skills and text processing skills but had poorer operational interaction skills as compared to the other types of IS skills. Though they might have had average conceptual knowledge about information search tasks and the Google browser and search engine, their navigational and text processing skills seem to have supported relevant search behavior that allowed them to find the target answer. In contrast, older adults had poorer performances at operational interaction and navigational skills, but they had better text processing skills. This pattern is consistent with works by van Deursen and van Dijk (2009) whose results showed that age was associated with poorer operational and formal skills but no difficulties in selecting search engine results to process. Such result is interesting as it shows that older adults were probably able to transfer content-related processing strategies (such as inference-making and vocabulary use) to media environment and Google search engine.

6.3 Predictors of search behavior

Overall, results showed that information search skills impacted older adults search behavior during the first stage of the search (*i.e.* the elaboration of a coherent mental model, the first

query produced, the first SERP retrieved and the first strategy elaborated after the initial query produced), whereas age or flexibility and prior knowledge were better predictors of the global search behavior. Indeed, age remained the best predictor of the time spent on all SERPs (Dommes *et al.*, 2011; Sanchiz *et al.*, 2017a; 2017b), whereas flexibility helped users open up more webpages per query for ill-defined search tasks.

6.3.1 Predictors of search behavior for well-defined search tasks

In well-defined search problems, which required users to select relevant keywords from the search task assignment and process the SERP retrieved (*i.e.* no navigation or reformulation was strictly required), the more flexible users were, the faster they processed the first SERP. In line with prior works (Sharit *et al.*, 2008; Sanchiz *et al.*, 2017), the processing of the first SERP reflects search planning (*i.e.* elaboration of a coherent search path to navigate into) and integration of new information. Cognitive flexibility probably helped users evaluate the search engine results and plan their search more efficiently (*i.e.* the more flexible users were, the faster they could consider each search engine results as a new search path and evaluate its relevance to decide whether or not to open up the website). In addition, operational interaction skills also helped older users process the first SERP faster. Having conceptual knowledge about the search engine's functioning and procedural knowledge on how to interact with Google (*i.e.* opening a webpage or reformulating by using the query bar) probably helped older users evaluate the information (*i.e.* the source of the keywords contained in the search results' description) and decide which link to open up (or to reformulate) more easily. This pattern is critical as prior works demonstrated that older adults tend to delay the decision to leave a webpage (Chin & Fu, 2010). Results also showed that flexibility reduced the number of webpages opened up per query. In other words, the more flexible users were, the lesser they exploited the queries they produced. As stated earlier, IS skills did not impact the global search process, however, age still significantly impacted the time spent analyzing the SERPs and the number of queries produced. Consistently with the pattern results found on search performance, older adults struggled to search for information in well-defined tasks as they spent longer time evaluating the search engine results and produced more queries than young ones. Older adults probably had more difficulties than young ones at locating the answer to be found directly on Google. These difficulties could either be due to the lack of relevant strategies to assess information relevance or website credibility or because older adults kept verifying on websites the information retrieved on the SERPs and then got disoriented. In a nutshell, in well-defined search tasks, though operational interaction can help older adults decide which webpage to open up faster,

they still lack skills or search strategies to evaluate the search engine results and decide whether it is relevant to open up a website to find the target information (and in which case to decide which website can be relevant) or not.

6.3.2 Predictors of search behavior for ill-defined search tasks

As a reminder, ill-defined search tasks required the elaboration of a more coherent mental model, gathering more information and navigate within webpages more to collect information. As opposed to well-defined tasks, in ill-defined tasks prior knowledge and flexibility increased the time spent analyzing the time spent on the first SERP. Cognitive flexibility probably helped users adapt to the ill-defined tasks' features as the more flexible the users were, the more they spent time analyzing the results of the first SERP to plan their search by evaluating and selecting the SERPs more carefully. Interestingly, IS skills impacted older users' search strategies after the first query produced. The more navigational skills older adults had, the more they reformulated a second query to investigate a new search path. In other words, navigational skills helped older adults explore a larger part of the search topic by inhibiting their initial query and reformulate it by integrating new information retrieved from the first SERP and/or by modify their mental representation of their search goal. In contrast, the more text processing skills older adults had, the more they opened up a webpage after their initial query to investigate in more-depth the initial search path they had elaborated. Text processing skills supported more analytic search strategies and content-related processes at the beginning of the search. Though IS skills did not seem to impact the whole search activity, cognitive flexibility reduced the number of queries produced and increased the number of webpages opened up. Cognitive flexibility induced more query exploitation: users explored in more details the search path elaborated by opening up more websites. This strategy probably helped users process a greater amount of information faster and helped them retrieve more relevant keywords in fewer reformulations to search for the target information.

7. Conclusion

As outlined in the previous section, the present study provided several new contributions to the assessment of in-depth information search skills with real on-line data. First, the tasks designed to assess IS skills capture three specific dimensions of information searching skills which allow to extract the role of each specific search skill in users' behavior. Results showed that older adults had low operational interaction and navigational skills. Hence, future work interested in how to reduce older adults' difficulties on the Internet should focus on supporting these two

types of skills either by training or by implementing simple tools on the search interface. Secondly, IS skills of young and older users' were analyzed with regards to real information search behavior (during the first stage and the whole activity). Results showed that information search skills had a strong impact on the first stage of the search (*i.e.* when users start their search). The beginning of the search is critical for novice users or older adults. Indeed, if novice users or older adults are not able to elaborate a coherent mental model or plan their search accurately by selecting relevant results from the search engine pages, they risk engaging themselves in irrelevant search paths which could increase disorientation, failure, frustration or abandon. In depth analyses demonstrated that navigational skills supported the exploration of more search paths for older users as soon as the beginning of the search, whereas text processing skills supported more in-depth exploration of the websites opened up.

Some limitations and improvements can be made for future works. First, text processing skills were measured using the search engine Google (producing a query for instance) or on a webpage (find a target information and inhibit false semantically related distractors for instance). However, performance at the text-processing assignments might have also been influenced by other variables such as self-perceived efficacy on Google, or scanning strategies on a website. Hence, future works should improve the assessment of text-processing skills and partially evaluate these processes off-line (such as query producing tasks, or terms selection). Future works could also investigate in more details non-domain-dependent navigational skills and topic-related navigational skills by comparing these skills on two websites of similar structure, one in a familiar knowledge domain and one in an unfamiliar one. In addition, recent works (such as Van Dijk & Van Deursen, 2014) investigating information search skills also completed IS skills by adding communication and content creation skills. As information search can also be influenced by peers through social networking (twitter, chats, forum...) it might be interesting to take this dimension into account. In addition, the present study investigated the role of IS skills in young and older search behavior with a computer, it would be interesting to study the role of IS skills in other tools such as tablets.

References

- Aula, A. (2005). User study on older adults' use of the Web and search engines. *Universal Access in the Information Society*, 4(1), 67-81.
- Bell, D. J., & Ruthven, I. (2004, April). *Searcher's assessments of task complexity for web searching*. In European Conference on Information Retrieval (p. 57-71). Springer Berlin Heidelberg.

Borgman, C. L. (1996). Why are online catalogs still hard to use? *Journal of the American Society for Information Science (1986-1998)*, 47(7), 493.

Brand-Gruwel, S., Wopereis, I., & Vermetten, Y. (2005). Information problem solving by experts and novices: Analysis of a complex cognitive skill. *Computers in Human Behavior*, 21(3), 487-508.

Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Oxford, England: Houghton Mifflin.

Chevalier, A., & Chevalier, N. (2009). Influence of proficiency level and constraints on viewpoint switching: A study in web design. *Applied Cognitive Psychology*, 23(1), 126-137.

Chevalier, A., Dommès, A., & Marquié, J. C. (2015). Strategy and accuracy during information search on the Web: Effects of age and complexity of the search questions. *Computers in Human Behavior*, 53, 305-315.

Chin, J., & Fu, W. T. (2010, April). Interactive effects of age and interface differences on search strategies and performance. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 403-412). ACM.

Chin, J., Fu, W. T., & Kannampallil, T. (2009, April). Adaptive information search: age-dependent interactions between cognitive profiles and strategies. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1683-1692). ACM.

Crabb, M., & Hanson, V. L. (2014, October). *Age, technology usage, and cognitive characteristics in relation to perceived disorientation and reported website ease of use*. In *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility* (p. 193-200). ACM.

Dommès, A., Chevalier, A., & Lia, S. (2011). The role of cognitive flexibility and vocabulary abilities of younger and older users in searching for information on the web. *Applied Cognitive Psychology*, 25(5), 717-726. doi: 10.1002/acp.1743

Deursen, A. V., & van Dijk, J. A. (2010). Measuring internet skills. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 26(10), 891-916.

Feltovich, P. J., Prietula, M. J., & Ericsson, K. A. (2006). Studies of expertise from psychological perspectives. *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*, 41-67.

Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198.

Hanson, V. L. (2010). Influencing technology adoption by older adults. *Interacting with Computers*, 22(6), 502-509.

Hargittai, E. (2002). Beyond logs and surveys: In-depth measures of people's web use skills. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 53(14), 1239-1244.

Hargittai, E., & Hinnant, A. (2008). Digital inequality differences in young adults' use of the Internet. *Communication Research*, 35(5), 602-621.

Hatano, G., & Inagaki, K. (1984). Two courses of expertise. *Research and Clinical Center for Child Development Annual Report*, 6(1), 27-36.

Helsper, E. J., & Eynon, R. (2013). Distinct skill pathways to digital engagement. *European Journal of Communication*, 28(6), 696-713.

Hölscher, C., & Strube, G. (2000). Web search behavior of Internet experts and newbies. *Computer Networks*, 33(1), 337-346.

Karanam, S., & Oostendorp, H. V. (2016). Modeling Age-related Differences in Information Search. *Mensch und Computer 2016-Workshopband*.

Kitajima, M., & Toyota, M. (2012). Simulating navigation behaviour based on the architecture model Model Human Processor with Real-Time Constraints (MHP/RT). *Behaviour & Information Technology*, 31(1), 41-58.

Kroustallaki, D., Kokkinaki, T., Sideridis, G., Simos, P. Exploring students' affect and achievement goals in the context of an intervention to improve web searching skills. (2015). *Computers in Human Behaviour*, 49, 156-170.

Lucassen, T., Muilwijk, R., Noordzij, M. L., & Schraagen, J. M. (2013). Topic familiarity and information skills in online credibility evaluation. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 64(2), 254-264.

Marquié, J. C., Jourdan-Boddaert, L., & Huet, N. (2002). Do older adults underestimate their actual computer knowledge? *Behaviour & Information Technology*, 21(4), 273-280.

Merritt, K., Smith, D., & Renzo, J. C. D. (2005). An investigation of self-reported computer literacy: Is it reliable. *Issues in Information Systems*, 6(1), 289-295.

Odijk, D., White, R. W., Hassan Awadallah, A., & Dumais, S. T. (2015, October). *Struggling and success in web search*. In Proceedings of the 24th ACM International on Conference on Information and Knowledge Management (p. 1551-1560). ACM.

Pak, R., & Price, M. M. (2008). Designing an information search interface for younger and older adults. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 50(4), 614-628.

Sanchiz, M., Chevalier, A., & Amadiou, F. (2017). How do older and young adults start searching for information? Impact of age, domain knowledge and problem complexity on the different steps of information searching. *Computers in Human Behavior*, 72, 67-78.

Sanchiz, M., Chin, J., Chevalier, A., Fu, W. T., Amadiou, F., & He, J. (2017). Searching for information on the web: Impact of cognitive aging, prior domain knowledge and complexity of the search problems. *Information Processing and Management*, 53(1), 281-294. doi: 10.1016/j.ipm.2016.09.003

Sharit, J., Hernández, M. A., Czaja, S. J., & Pirolli, P. (2008). Investigating the roles of knowledge and cognitive abilities in older adult information seeking on the web. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(1), 3.

Sit, R. A. (1998). Online library catalog search performance by older adult users. *Library and Information Science Research*, 20(2), 115-131.

Smith, C. L. (2015). Domain-independent search expertise: A description of procedural knowledge gained during guided instruction. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(7), 1388-1405.

Van Deursen, A. J., Van Dijk, J. A., & Peters, O. (2011). Rethinking Internet skills: The contribution of gender, age, education, Internet experience, and hours online to medium-and content-related Internet skills. *Poetics*, 39(2), 125-144.

Van Deursen, A. J., Van Dijk, J. A., & Peters, O. (2012). Proposing a survey instrument for measuring operational, formal, information, and strategic internet skills. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 28(12), 827-837.

Van Deursen, A. J., & Van Dijk, J. A. (2014). Modeling traditional literacy, Internet skills and Internet usage: An empirical study. *Interacting with Computers*, 28(1), 13-26. doi: 10.1093/iwc/iwu027

White, R. W., Dumais, S. T., & Teevan, J. (2009, February). *Characterizing the influence of domain expertise on web search behavior*. In Proceedings of the Second ACM International Conference on Web Search and Data Mining (p. 132-141). ACM.

APPENDIXES

Appendix 1: summarized coding table for the assignment 1 of the information skills assessing task. * Means that instructions need to be granted 0 (failure), 1 (success with detours) or 2 (success in the optimal way) points per sub-skills.

	Operational interactions skills		Navigational skills		Text processing skills	
	Declarative knowledge about IS	Procedural actions	Locate menu, hyperlink...	Navigational path elaboration	Comprehension (semantic target, attention, inferences)	Keywords production
Search in Google for the highest roller coaster in the world		*				*
and open the 3rd results in a new tab.	*	*				
Next, open the 2d results.		*	*			
On this web page, underline the name of the roller coaster with the highest vertical looping			*		*	
Go back to previous	*	*	*	*		
Now go the website you previously opened on a new tab.	*	*	*	*		
Underline the name of Disney Land's roller coaster			*		*	
Go back to previous page.	*	*	*	*		

Appendix 2: summarized coding table for the assignment 2 of the information skills assessing task. * Means that instructions need to be granted 0 (failure), 1 (success with detours) or 2 (success in the optimal way) points per sub-skills.

	Operational interactions skills		Navigational skills		Text processing skills	
	Declarative knowledge about IS	Procedural actions	Locate menu, hyperlink ...	Navigational path elaboration	Comprehension (semantic target, attention, inferences)	Keywords production
Go to Wikipedia Home Page	*	*	*	*	*	*
In the presentation menu, click on the link Wikipedia Guide.	*	*	*	*	*	
Find the name of the database that deals with quotations.			*		*	
Next, go back to Google Home page	*	*		*		
Maximum score	12		12		8	
	Operational interactions skills		Navigational skills		Text processing skills	

Appendix 3: summarized coding table for the assignment 3 of the information skills assessing task. * Means that instructions need to be granted 0 (failure), 1 (success with detours) or 2 (success in the optimal way) points per sub-skills.

	Operational interactions skills		Navigational skills		Text processing skills	
	Declarative knowledge about IS	Procedural actions	Locate menu, hyperlink ...	Navigational path elaboration	Comprehension (semantic target, attention, inferences)	Keywords production
Go to the French Amazon website	*	*		*	*	*
and put in your cart the DVD “Bienvenue chez les Ch’tis” as if you were trying to buy that movie.		*	*	*	*	*
Maximum score	6		6		8	
	Operational interactions skills		Navigational skills		Text processing skills	

Chapitre 9 Article 4: Sanchiz, M., Chevalier, A., Fu, W-T, & Amadiou, F. Does Pre-activating Domain Knowledge foster elaborated online Information Search Strategies? Comparisons between young and older web users. (*under review*, 2017), *Applied Ergonomics*.

Cet article présente les études de l'expérience 3 sur le dispositif d'aide à la RI par préactivation des connaissances antérieures.

ABSTRACT

The present study aimed to investigate the age-related differences between young and older adults when they used a search engine to search for information. We focused on the impact of prior domain knowledge and its pre-activation on query reformulation and search result pages processing. 20 older (age 60 to 77) and 20 young (age 18 to 32) adults performed 6 information search problems related to health and fantastic movies. Results showed that pre-activating prior knowledge before the search fostered analytic strategies in which users, regardless their age, processed in more depth the search engine pages and the webpages opened up (*i.e.* longer time on the search engine pages, less exploration of websites, and semantically narrower query keywords). The results suggested that the design of information search tools can be improved by encouraging users to pre-activate prior domain knowledge about the search topic.

Keywords

Information searching, Semantic pre-activation, Aging, Reformulation, Domain knowledge

1. Introduction

The increasing popularity of the web has led to a growing number of older adults using the internet for their daily activities (leisure navigation, bank, emailing...). However, prior works have also demonstrated how age can impact several usability measures when interacting with new technologies such as performance, processing speed or behavior (Sonderegger, Schmutz, & Sauer, 2016). One important category of online activities is information search. To search for information, users can either interact with a search engine (*i.e.* enter or reformulate query keywords, process search engine results, and select a website to open up) or navigate to web pages via hyperlinks. However, past research has shown that when interacting with a search engine, older adults tend to be slower, spend more time analyzing the search engine result pages (Matsuda, Uwano, Ohira, & Matsumoto, 2009; Chevalier, Dommès, & Marquié, 2015; Sanchiz, Chin, Chevalier, Fu, Amadiou, & He, 2017; Sanchiz, Chevalier, & Amadiou, 2017), and have more difficulties selecting a hyperlink to click from the search results page than young ones

(Sharit, Taha, Berkowsky, Profita, & Czaja, 2015). Prior works have shown that most of these difficulties can be accounted for by the age-related decrease of fluid abilities such as cognitive flexibility (Eppinger, Kray, Mecklinger, & John, 2007; Dommes *et al.*, 2011; Salthouse, 2012). Indeed, cognitive flexibility, which refers to the ability to adapt to environment changes (Chevalier & Chevalier, 2009) can help older adults reformulate and produce new query keywords (Dommes *et al.*, 2011). However, crystallized abilities, among which prior domain knowledge and inference-making, can foster more elaborated search strategies (Monchaux, Amadiou, Chevalier, & Mariné, 2015; Hölscher & Strube, 2000; Tabatabai & Shore, 2005; Sanchiz, Chevalier, & Amadiou, 2017) and can represent a leverage to support older adults' activity. Indeed, previous work led by Sanchiz *et al.* (2017) showed that when older adults have low prior knowledge about the search topic, they tended to experience more difficulties when browsing (i.e. visited more webpages and spent longer times on websites than young adults), whereas in a domain in which they have more prior knowledge, age-related differences decreased, or even disappeared. However, prior works have also shown that in some cases, prior domain knowledge alone does not improve search engine results pages processing (Hölscher & Strube, 2000) or web navigation (Sullivan & Puntambekar, 2015). Hence, as prior knowledge can support older adults' information search performance and cope with the age-related decrease of cognitive flexibility, the present study aimed to investigate the effects of pre-activating prior knowledge about the search topic on search behavior and performance.

1.1 Cognitive processes involved in Information Searching and impact of aging

Information search is often described as a problem-solving task (Marchionini, 1989) in which users start searching in an initial state (*e.g.* lack of information) and aim to reach the goal state (*i.e.* find the target information). Hence, information search involves a series of complex cognitive processes such as inferences and decision making (for a review of cognitive models of information searching, see Dinet, Chevalier, & Tricot, 2012). Sharit, Hernandez, Czaja and Pirolli (2008) elaborated a three stages model of information search that takes into account interactions with a search engine and websites.

- The first stage involves the elaboration of a coherent representation of users' information need. Users activate prior knowledge about the topic of the search (if they have some) and the information provided by the search context (*i.e.* information extracted from the search problem statement for instance) to produce relevant search terms and phrase them into a query.

At this stage, older users' difficulties when elaborating a coherent mental representation (Wagner *et al.*, 2014) might impair the activity and cause disorientation. Older adults also tend to use more search terms extracted from the search problem statements (Dommes *et al.*, 2011), and use fewer new search terms as compared to young ones.

- The second stage requires users to analyze and evaluate the search engine results. Users may use prior knowledge and information from the search context to compare the results retrieved by the search engine to their query or their search goal. In this stage, users plan operations to complete their search goal: they may choose to select one (or several) link(s) to open up, or to reformulate their query (and go back to stage 1) if no results match their need.

Prior works have reported that when planning operations, older adults tend to exploit their query (*i.e.* they visit more webpages retrieved by the search engine per query as compared to young ones) and delay the decision to switch pages (Chin *et al.*, 2015). Interestingly, older adults also tend to use more top-down strategies (*i.e.* strategies that maximize the use of prior knowledge): they open up fewer links and take longer time before leaving a web page (Chin & Fu, 2010). In contrast, young users tend to use more bottom-up strategies: they visit more web pages and spend shorter time on webpages.

- The final stage corresponds to the processing of webpages. Users carry out the operations planned at stage 2 and analyze in deeper details the web pages opened up. Users may choose to navigate and browse several webpages, or go back to the search engine result pages to select new links, or even reformulate (by using new search terms retrieved from the webpages read for instance).

At stage three, when processing web pages and navigating, older users tend to have difficulties remembering the information they previously read (Mead, Spaulding, Sit, Meyer, & Walker, 1997), which may be due to the age related decrease in working memory (Tacconnat & Lemaire, 2013).

1.2 Concept accessibility in memory and use of prior domain knowledge by older adults

Processing the search engine result pages or reformulating queries require users to make inferences to create semantic links between concepts and take decision on information relevance (*i.e.* decide whether or not specific terms read are relevant as compared to the search goal/the query formulated). To that purpose, users can use prior domain knowledge about the topic of the search. Indeed, domain knowledge improves the evaluation of relevant search engine results, planning (Sihvonen & Vakkari, 2004; Wildemuth, 2004) and the production of

semantically more elaborated queries (Lei, Lin, & Su, 2013). To make use of prior knowledge, users need to access and activate the representation of concept in memory. Prior works focusing on concept accessibility showed that these processes require users to activate the semantic representation (*i.e.* the meaning of the concept) and the lexical representation (*i.e.* the phonological representations, the spelling of the concept) (Burke & Shafto, 2008; Dorot & Mathey, 2013). However, several cognitive processes involved in concept activation and accessibility are impaired by aging: inhibition (Hasher, & Zacks, 2007), activation spreading mechanism and access to the lexical representation of concept (because the activation between semantic connections is stronger for older than younger adults, Burke & Shafto, 2008). Indeed, accessing semantic representations of concepts tend to increase with age, whereas accessing lexical representations tend to decrease (Dorot & Mathey, 2013). This often causes older adults to feel the word on-the-tip-of-the-tongue effect, despite knowing the concept (*i.e.* activating the semantic representation), older adults may have difficulties accessing the words itself. This phenomenon could explain why older users tend to have difficulties reformulating, producing new keywords, visit fewer different search engine result pages and even have longer dwell times processing information. This pattern is critical for information searching as it could prevent older adults from making use of their prior knowledge when searching for information, which might eventually increase the difficulties discussed above.

1.3 Rationale

Despite several attempts by search engines to produce information search supporting tools — such as suggesting queries once users start entering their own queries on Google, or semantic fields that users have to fill in with several keywords in order to narrow down their search—, improving web accessibility for older users is still a burning issue as the Internet fosters independence, well-being and social interactions. The present study aimed at evaluating to what extent pre-activating prior domain knowledge (*i.e.* prior knowledge about the search topic) before searching for information on the Internet could represent a new supporting tool, especially for older users. We investigated whether pre-activating prior domain knowledge could improve reformulation strategies (*i.e.* support semantically richer queries) and cope with older adults' difficulties when analyzing the search engine pages and exploring websites (Aula, Khan, & Guan, 2010; Chin & Fu, 2010; Wagner *et al.*, 2014; Dommès *et al.*, 2011; van Deursen, 2012). We hypothesized that prior domain knowledge should cope with the effect of age by improving older adults' search performance (Aula, 2005; Sanchiz *et al.*, 2017), reducing dwell times on the search engine pages and fostering efficient query reformulation strategies. In

addition, pre-activating prior domain knowledge before searching on the internet should also improve users' search performance, foster more efficient strategies when interacting the search engine and more elaborated query production. The beneficial effects of prior knowledge pre-activation should be stronger for older users who have high prior domain knowledge. Indeed, pre-activating prior knowledge should help older users retrieve relevant concepts from memory without spending cognitive resources to the processing of information on the internet. Facilitating concept accessibility in memory should then allow older users to generate more relevant keywords related to the search topic and support more efficient search strategies.

2. Method

2.1 Participants

48 volunteered took part in this experiment in exchange for a 8\$ per hour compensation: twenty-six young adults ($M_{age} = 22.12$, $SD = 3.96$, 5 males and 21 females, ranging from 18 to 32 years) and twenty-two older adults ($M_{age} = 65.27$, $SD = 4.77$, 5 males and 17 females, ranging from 60 to 77 years). Participants were all English speakers and were recruited *via* the news e-magazine of the University of Illinois at Urbana-Champaign. Older adults were all retired, in good health (Mini Mental State Examination: $M = 28.03$ $SD = 1.10$). Both groups had completed upper college studies ($M = 3.54$ $SD = 1.61$ for young adults and $M = 6.43$ $SD = 3.67$ for older adults, $t(46) = -3.64$, $p = .001$). Familiarity with internet was assessed through to the amount of time (in hours) spent on the internet per week ($M = 29.85$ $SD = 12.23$ for young adults and $M = 23.63$ $SD = 20.05$ for older adults, $t(46) = 33.51$, $p = n.s$).

2.2 Design

2.2.1 Material

Participants performed the experiment on a 17 inches laptop, running windows 7 and using *Google* search engine and *Google Chrome* web browser. On-line data were recorded via log files (free tool *Chrome History view*) and the screen was captured thanks to the free software *Free Screen to Video Recorder*. An online and a paper-based questionnaires were also given to participants. Data were finally treated with Microsoft Excel and IBM SPSS statistics (v20).

2.2.2 Information searching problems

Six information search problems were designed in two different topics (3 in fantastic movies and 3 in health, see Table 1 below). Similar to a recent work by Sanchiz *et al.*, (2017), the fantastic movies domain was chosen because young adults were expected to have more prior knowledge on them than older ones, whereas the health domain was selected because older adults were expected to have more prior health knowledge than young ones. Hence, using problems in two knowledge domains would allow us to compare young and older adults in which they have different levels of prior domain knowledge.

Table 1: All search problem statements (the concepts used in the pre-activating task are in bold letters for the sake of the presentation, participants did not see bold letters).

	Health	Fantastic movies
Search problem statements	<ul style="list-style-type: none"> • How does the human body protection system protect the body from attacks such as the flu? • What substance produced by the body allows an individual to store an excess of nutrients in the body? • You heard nearby two colleagues of yours debate on which action taints blood. “I wonder what action tints blood”, asked the first one. “I think it’s due to an excess of glucoses said the second one. 	<ul style="list-style-type: none"> • What is the name of Luke Skywalker’s means of transportation that he used when he destroyed the Death Star in Star Wars? • What group of fantastic heroes is composed of 4 creatures specialized in martial arts that live in New York’s underground and were heroes of several movies and TV series. • Two friends are trying to recall the name of a famous event in which a captain led an army to save the sieged people of Rohan in the Lord of the Rings. “I bet it’s when Captain Boromir died”, said the first one. “I don’t know... not sure”

The search problems required users to make inferences to find the target answer on the search engine *Google*. Participants had to infer relevant keywords to search for the answer (*i.e.* relevant keywords were not provided in the search problem statements but they were switched with vague synonyms that made it difficult to find the target answer) and find a relevant navigational path.

2.2.3 Pre-activation task

The semantic pre-activation task consisted of thinking and producing relevant keywords related to the search problem statements. Participants first read the search problem, then they were instructed (written instructions) that they would be presented with three different concepts extracted from the problem statements (the concepts selected for the pre-activating task are presented in bold letters in Table 1 above). Participants were instructed to produce three

different keywords related to each concept presented. Depending on their level of prior knowledge, participants could produce semantically specific keywords (i.e. relevant to the search topic) or semantically general ones (i.e. less relevant ones). For instance, participants could produce keywords such as “spaceship, fly, travel, plane, car” for the concept “means of transportation”. Participants completed the semantic pre-activation task on-line before each search problem. Once they had completed the pre-activating task, the experimenter switched to the searching phase on the Internet. The experimenter switched between the pre-activation phase and the search for each search problem one by one.

2.2.4 Procedure

A few days before the experiment, participants completed an online questionnaire on Internet habits, familiarity and prior knowledge. Prior knowledge tests consisted in two questionnaires related to health or fantastic movies. For the main part of the experiment, participants first completed the Trail Making Test part B (Spreeen & Strauss, 1998), and a standardized vocabulary test (Advanced Vocabulary Task, Ekstrom, French, Harman, & Dermen, 1976). Then participants completed the 6 search problems. Participants were divided into two groups, hence, half of the groups (i.e. 10 older adults and 11 young adults) performed the pre-activation task before searching on the internet and half of the participants completed the search without the pre-activation. Participants in the semantic pre-activating condition had to complete the pre-activating task for each search problem before searching on the internet; whereas participants in the control group completed the search problems one by one. After each search problems all participants had to complete a paper-based questionnaire assessing mental effort and perceived difficulties when selecting a link to open up or when reformulating. Eventually, older participants completed the Mini Mental State examination ($M = 29.05$; $SD = .85$) (Folstein, Folstein, & MC Hugh, 1975). Participants performed all the search problems and they were told they could stop the search at any time when they believed they had found a satisfactory answer. After reading each search problem statement, if participants knew the answer, they were instructed to write it down and switch to the following search problem (in that case results were not taken into account in the analyses).

2.3 Measures

Seven measures were computed.

- Performance

(1) To assess search performance, the number of correct answers found was calculated for each search problem.

(2) Based on Aula and Nordhausen's work (2006), we computed the Task Completion Speed (TCS). The TCS takes into account the number of successful answers found by participants and the time taken to complete the search problems. TCS was calculated by dividing the number of search problems correctly completed by the total time taken for all search problems multiplied by 3600.

- Search engine processing and navigation

(3) The time spent on the search engine pages corresponded to the time spent analyzing all the search engine pages (per search problem). In line with Sharit *et al.*'s model (2008), we argue that the time spent analyzing the search engine pages corresponds to the time allocated to the analysis of the results retrieved by the search engine (*i.e.* assess relevance for instance) and the planning of operations to complete the search goal (*i.e.* decide whether or not visiting links to search for the target answer).

(4) The exploration/exploitation ratio. In line with recent works led by Chin *et al.*, (2015), we collected the number of different websites accessed from Google and the number of webpages visited by participants once on a website. The number of links opened from Google corresponded to exploration (*i.e.* new branches opened up to initiate new search paths) whereas the number of webpages visited once on that website corresponded to exploitation (*i.e.* how deep participants explored the search path initiated). We calculated the ratio between exploration and exploitation to analyze the searching strategies of users. The ratio score was then transformed into percentage to allow us to analyze whether participants spent a larger percentage of time exploring different search paths or exploiting the search paths initiated (*i.e.* analyze them in greater details).

- Query productions and reformulations

(5) The number of reformulations produced (*i.e.* the number of queries made after the first one produced that was unsuccessful).

(6) The number of new keywords inferred by participants, and the number of keywords extracted from the search problem statements (in line with Dommes *et al.*, 2011).

(7) The percentage of semantically domain-specific (*i.e.* narrow) keywords contained in queries. For each query, we counted the number of keywords produced by participants were semantically domain-specific (*i.e.* narrow) or semantically less domain-semantic (*i.e.* broad) and computed the score into a percentage. This measure was aimed at analyzing how participants used their prior knowledge when producing queries. The semantic specificity of queries impacted to what extend the results retrieved by the search engine would be specific and useful (*i.e.* the more specific the queries were, the more the results retrieved by the search engine were semantically close to the target information).

3. Results

Mixed ANOVAs (2×2×2) were conducted on the different dependent variables investigated: age and pre-activation as between-subjects variables and domain knowledge as a within-subject variable.

3.1 Results on cognitive abilities and prior domain knowledge

Table 2: Means and (SDs) of cognitive flexibility and prior domain knowledge tests.

Measures	Young adults	Older adults
Trail Making Test (in seconds): cognitive flexibility	56.78 (38.63)	62.65 (20.33)
% of correct answer health domain knowledge test	37.31 (19.29)	36.36 (18.13)
% of correct answer fantastic movie domain knowledge test	53.46 (2.12)*	38.18 (21.30)

* $p < .05$

First of all, time spent on the internet per week ($t(46) = 1.32, p = n.s.$) did not significantly differ between young and older people. Unexpectedly, t tests analyses showed no significant differences between young and older adults on cognitive flexibility scores ($t(46) = -.64, p = n.s.$), and prior health knowledge ($t(46) = .17, p = n.s.$). However, as expected, older adults had poorer prior fantastic movie knowledge as compared to young adults ($t(46) = 2.49, p < .02$) (see Table 2 above for means and SD scores). The lack of significant differences in the health domain did not allow us to study the impact of domain knowledge and prior knowledge pre-activation when older users have higher prior knowledge than young ones. However, we were still able to study the impact of prior knowledge and its pre-activation in two different knowledge domains for which young and older adults have different levels of prior knowledge (*i.e.* one domain in which older adults have lower prior knowledge vs another one in which young and older adults have similar amount of prior knowledge).

3.2 Performance

Number of correct answers found

Results of the mixed ANOVAs showed that effect of age was significant ($F(1,42) = 7.65, p < .01, \eta^2_p = .15$): older adults found fewer correct answers ($M = 43.4 SD = 5.2$) than young adults ones ($M = 62.4 SD = 4.5$). Prior knowledge pre-activation was not significant ($F(1,42) = 1.22, p = n.s., \eta^2_p = .03$), whereas effect of domain knowledge did reach significance ($F(1,42) = 4.62, p < .04, \eta^2_p = .10$). Participants had poorer performances in the health domain ($M = 47.7 SD = 4.1$) than in the fantastic movies domain ($M = 58.1 SD = 4.2$). Interactions between age and pre-activation, between age and domain and the triple interaction between age, pre-activation and domain were not significant (all $p = n.s.$). See Table 3 below for Means and SD of the number of correct answers found.

Task completion speed (TCS) (see Table 3 below)

TCS corresponded to the time taken by participants to successfully complete the search problems (Aula & Nordhausen, 2006). The higher TCS was, the more efficient participants were (i.e. took short time to successfully complete the search problems). Results of the mixed ANOVAs showed that effect of age was significant ($F(1,42) = 10.96, p < .01, \eta^2_p = .21$). Post hoc Bonferroni tests showed that older adults had poorer performances ($M = 11.69 SD = 2.72$) than young adults ones ($M = 23.66 SD = 2.38$). Effects of semantic pre-activation was not significant ($F(1,42) = 1.52, p = n.s., \eta^2_p = .04$), whereas effect of domain knowledge did reach significance ($F(1,42) = 4.31, p = .04, \eta^2_p = .09$). Participants had poorer performances in the health domain ($M = 14.09 SD = 2.27$) than in the fantastic movies domain ($M = 21.26 SD = 2.71$). Interaction between age and semantic pre-activation was not significant ($F(1,42) = 1.11, p = n.s., \eta^2_p = .03$). Interaction between age and domain was significant ($F(1,42) = 4.53, p = .04, \eta^2_p = .10$). Post-hoc Bonferroni tests showed that older adults had poorer performances than young ones in the fantastic movies domain ($p < .001$), whereas in the health domain, effects of age disappeared. Interaction between domain knowledge and pre-activation was not significant ($F(1,42) = .27, p = n.s.$). Triple interaction between age, semantic pre-activation and domain did not reach significance ($F(1,42) = .13, p = n.s., \eta^2_p = .001$).

Table 3: Means and (SDs) of task completion speed and percentage of correct answers found.

Knowledge domains and semantic priming
--

		With semantic pre-activation		Without semantic pre-activation	
		Fantastic movie	Health	Fantastic movie	Health
Number of correct answers found (%)	Y	67.3 (7.9)	50.0 (7.8)	66.7 (8.3)	61.5 (8.1)
	O	47.2 (9.5)	34.7 (9.4)	52.8 (9.5)	45.8 (9.4)
Task completion speed (computed score)	Y	31.97 (4.85)	14.70 (4.05)	29.85 (5.24)	18.11 (4.38)
	O	7.62 (5.47)	7.49 (4.57)	15.59 (6.05)	16.07 (5.06)

3.3 Search engine analysis and navigation

Mean Time spent on Google (see Table 4 below)

Results of the mixed ANOVAs showed that effect of age was significant ($F(1,42) = 6.49, p < .02, \eta^2_p = .13$): older adults spent longer time on the search engine result pages ($M = 153.84, SD = 17.61$) than young adults ones ($M = 95.01, SD = 15.34$). Effects of semantic pre-activation was significant ($F(1,42) = 4.12, p < .05, \eta^2_p = .09$). Participants who completed the semantic pre-activation before searching on the Internet spent longer time on the search engine results pages ($M = 148.13, SD = 16.12$) than participants without the semantic pre-activation task ($M = 100.72, SD = 16.90$). Effect of domain knowledge did not reach significance ($F(1,42) = 1.96, p = n.s., \eta^2_p = .05$). Interactions between age and semantic pre-activation, between age and domain and the triple interaction between age, pre-activation and domain were not significant (all $p = n.s.$).

Table 4: Means and (standard deviations) for the time spent on the search engine result pages and percentage of time spent on exploration (as opposed to exploitation).

		Knowledge domains and semantic priming			
		With semantic pre-activation		Without semantic pre-activation	
		Fantastic movie	Health	Fantastic movie	Health
Time spent on the search engine result pages (in seconds)	Y	78.62 (22.23)	142.62 (28.71)	77.54 (23.13)	81.25 (29.88)
	O	183.55 (25.34)	187.73 (32.73)	113.72 (26.71)	130.36 (34.50)
Percentage of exploration of navigational paths	Y	40.00 (6.7)	63.00 (7.3)	46.9 (6.7)	67.3 (7.3)
	O	54.6 (8.8)	47.0 (9.6)	55.5 (7.0)	75.4 (7.6)

Ratio exploring/exploiting navigational paths

As a reminder, a ratio was calculated between the level of exploration and exploitation of the navigational paths elaborated by participants. Exploring navigational paths corresponded to the processing of the different search paths initiated from the search engine results pages (*i.e.* the number of different websites opened up from Google), whereas exploiting navigational paths corresponded to how deep users processed the navigational paths initiated (*i.e.* the number of webpages visited once on a website).

Results of the mixed ANOVAs on the exploration/exploitation ratio showed that effect of age was not significant ($F(1,42) = .78, p = \text{n.s.}, \eta^2_p = .02$). Effects of semantic pre-activation was significant ($F(1,42) = 4.32, p = .04, \eta^2_p = .05$): participants with the semantic pre-activation explored less ($M = 61.3\% SD = 3.3$) than participants without the semantic pre-activation ($M = 51.4\% SD = 3.4$). Effect of domain knowledge was significant ($F(1,42) = 6.61, p < .02, \eta^2_p = .13$). Participants explored less in the fantastic movies domain ($M = 61.3\% SD = 3.3$) than in the health domain ($M = 51.4\% SD = 3.4$). Interactions between age and semantic pre-activation, between age and domain and the triple interaction between age, pre-activation and domain were not significant (all $p = \text{n.s.}$).

3.4 Query production and reformulations

Number of reformulations (i.e. number of queries produced), number of new keywords and number of keywords extracted from the search problem statements contained in participants' queries.

Table 6: F and η^2_p for the number of queries, the number of new keywords and the number of keywords extracted from the search problem statements.

	Number of queries		Number of new keywords		Number of keywords from the statements	
	F	η^2_p	F	η^2_p	F	η^2_p
Main Factors						
Age	1.45	ns	.87	ns	.40	ns
Semantic pre-activation	1.33	ns	.15	ns	.70	ns
Domain	.70	ns	52.22	.57**	1.02	ns
Interactions						
Age* Semantic pre-activation	.36	ns	.04	ns	.41	ns
Age*domain	.02	ns	.22	ns	.09	ns
Domain*pre-activation	.10	ns	.001	ns	.51	ns
Age* Semantic pre-activation *domain	.001	ns	.01	ns	1.34	ns

* $p = .05$ ** $p = .01$

Results of the mixed ANOVAs showed almost no significant differences on the number of reformulations produced, number of new keywords and number of keywords extracted from the search problem statements (see Table 6 below for F and η^2_p).

Percentage of semantically specific keywords

We analyzed in deeper details the semantic content of the queries produced. To this point, a ratio was calculated to investigate whether participants used keywords semantically specific to the knowledge domain (i.e. narrow) or semantically general (i.e. broad). Results of the mixed ANOVAs showed that effect of age on the percentage of semantically specific keywords was not significant ($F(1,42) = .001$, $p = \text{n.s.}$, $\eta^2_p = .001$). Effects of semantic pre-activation was significant ($F(1,42) = 5.73$, $p = .02$, $\eta^2_p = .13$): participants with the semantic pre-activation produced queries that contained a larger percent of semantically domain-specific keywords ($M = 91.01$ $SD = 2.09$) as compared to participants who did not do the semantic pre-activation task ($M = 184.67$ $SD = 2.05$). Effect of domain knowledge was marginally significant ($F(1,42) = 3.69$, $p = .06$, $\eta^2_p = .09$): participants tended to produce queries that contained a larger percent of semantic specific keywords in the fantastic movie domain ($M = 90.98$ $SD = 1.43$) as compared to the health domain ($M = 85.04$ $SD = 2.58$). Interactions between age and domain and between age and pre-activation were not significant (both $p = \text{n.s.}$). However, the triple interaction between age, semantic pre-activation and domain reached significance ($F(1,42) = 4.27$, $p = .04$, $\eta^2_p = .10$). Post-hoc Bonferroni tests showed that the interaction between age and prior knowledge was significant in the fantastic movies domain. Indeed, older adults who did not complete the pre-activation task produced queries that contained a smaller percentage of domain specific keywords than young ones ($p < .02$). In contrast, older adults who completed the pre-activation task in the fantastic movies domain managed to produce as many domain specific keywords in their queries as young ones ($p = \text{n.s.}$). The interaction between age and prior knowledge pre-activation was not significant either in the health domain (i.e. young and older adults produced a similar amount of domain specific keywords in their queries no matter if they completed the pre-activation task or not). See Table 7 below for *Means* and *SD*.

Table 7: Means and (SDs) for the percentage of domain-specific keywords (as opposed to semantically broad ones).

		Knowledge domains and semantic priming			
		With semantic pre-activation		Without semantic pre-activation	
		Fantastic movie	Health	Fantastic movie	Health
Percentage of domain specific keywords	Y	92.88 (2.65)	88.94 (4.39)	93.99 (3.40)	84.31 (4.71)
	O	91.95 (3.19)	90.24 (5.28)	75.88 (4.92)	84.19 (2.60)

Conclusion

The present experiment aimed to determine the impact of domain knowledge and prior domain knowledge pre-activation on age-related information searching strategies. First, we investigated how domain knowledge could cope with the age-related decrease in cognitive flexibility and improve older users' search behavior and performance. Secondly, we investigated how pre-activating prior knowledge before searching on the internet could represent a relevant supporting tool to help older users produce semantically more elaborated queries, analyze the search engine pages and explore website more efficiently.

The experiment replicated previous results on the impact of age on information search. Older adults had poorer performance and were less efficient than young ones (*i.e.* they found fewer correct answers and took a longer amount of time) (Dommes *et al.*, 2011). Older adults also spent longer time processing the search engine result pages compared to young ones (Aula, 2005; Dommes *et al.*, 2011, Sanchiz *et al.*, 2017; Sanchiz *et al.*, 2017). As we expected, results also showed that older adults were outperformed by young ones in the fantastic movies domain (*i.e.* for which older adults had lower prior knowledge than young ones), whereas in the health domain (in which we found that older and young adults had similar amount of prior knowledge) no effects of age was found, and older adults were as efficient as young ones. This pattern replicated prior findings (Sanchiz *et al.*, 2017) and showed that prior domain knowledge can support older users' search performance. Interestingly, the present experiment did not replicate the effects of age on reformulation. Indeed, unlike prior works (Dommes *et al.*, 2011; Sanchiz *et al.*, 2017), no age-related differences nor interactions between age and domain knowledge were found on the number of reformulations and the number of new keywords produced by participants. This unexpected pattern could be explained by the role of cognitive flexibility: in our study, older adults were all retired from university and had high level of cognitive flexibility (no significant differences appeared between young and older adults on the Trail Making Test, which measures cognitive flexibility). As presented in prior works, cognitive flexibility

probably coped with the effect of age and helped older adults reformulate and produce as many new keywords as young ones (Sharit *et al.*, 2008; Dommès *et al.*, 2011).

The present study also provided new evidence that pre-activating prior knowledge before searching on the internet fostered analytic processes when interacting with the search engine. First, semantic pre-activation helped users produce more elaborated queries that contained a larger percentage of domain-specific keywords (*i.e.* narrow keywords). This result is critical as the more semantically specific the queries were, the more specific and close to the target information the results retrieved by Google would be. Secondly, semantic pre-activation also enhanced deeper and analytic processing of the search engine results pages: users spent longer time on the search engine and spent a larger portion of time exploiting in greater details the navigational paths initiated (*i.e.* different websites opened up from *Google*). In contrast, users who did not complete the semantic pre-activating task spent a larger percentage of time exploring different navigational paths (*i.e.* accessed a greater number of websites from Google and/or visited fewer webpages once on a website). In other words when user pre-activated prior knowledge before searching, they used more top-down processes to select more carefully and relevantly a smaller number of websites to open up and they explored less (*i.e.* they used top-down processes to evaluate the source, the relevance of the keywords contained in the labels of website for instance). In line with Sharit *et al.*'s model (2008), this pattern shows that at stage 2 of the search (*i.e.* when users analyze the search engine pages and plan operations to complete the search goal), users who pre-activated prior domain knowledge before searching used more elaborated strategies (such as planning) instead of using more bottom-up strategies (such as opening up the top ranked search engine results) to explore and browse a larger amount of information and websites.

An interesting triple interaction between age, semantic pre-activation and domain knowledge also appeared on the level of semantic specificity of queries. Results showed that older adults managed to produce as many domain-specific (*i.e.* narrow) keywords as young ones when they had similar level of prior knowledge (*i.e.* in the health domain). Interestingly, when older users had lower prior domain knowledge than young ones (*i.e.* in the fantastic movies domain) but completed the semantic pre-activation of concepts, older users also managed to produce as many semantically specific keywords as young ones. Indeed, the age-related impairment on the semantic specificity of queries only appeared when older users had low prior domain knowledge and did not pre-activate prior domain knowledge before searching. In other words, unlike what we expected, pre-activating prior knowledge supported the production of semantically more elaborated queries for older users when they have lower prior domain

knowledge (*i.e.* in the fantastic movies domain). This pattern is particularly interesting for the applied objective of our study, as it tends to show that though older users had low fantastic movies prior knowledge, the pre-activation task probably helped them gather relevant information and elaborate a more coherent mental representation of the search goal and the topic of the search. Eventually, the pre-activation task probably helped older users process information and make use of what they read to reformulate their queries with semantically more elaborated keywords.

Implications of the study and applications for information searching on the Web

The present experiment aimed at investigating how pre-activating prior knowledge related to the search topic could support older users' information searching activity. Our main findings provided new knowledge for the design of information searching tools and showed that pre-activating prior knowledge could support users' search engine processing and older adults' query production strategies. Indeed, allowing users to produce keywords related to their search topic before searching on the internet (even when users they have low prior domain knowledge about the search topic) can support the evaluation of the search engine results, the selection of websites to open up and in more general the elaboration of a more coherent mental model. Consequently, such tools could be of critical use for older users and improve their interactions with the search engine by supporting analytic search results processing, better search planning and more flexibility when reformulating queries. Pre-activation tools could then cope with older adults' difficulties and reduce the challenge they face on the search engine pages. For instance, pre-activation tools would help older users produce semantically more relevant queries and help them access relevant and useful search engine results to complete their information need. (Aula, 2005; Dommès *et al.*, 2011; Wagner *et al.*, 2014; Chevalier, Dommès, & Marquié, 2015). As presented in the results, the pre-activation of concepts could even be beneficial for older users with low domain knowledge. However, further experiments should improve the manipulation of the two knowledge domains. Indeed, unlike prior works (Sanchiz *et al.*, 2017), older adults did not have higher prior health knowledge than young ones, which did not allow us to investigate the effects of prior knowledge pre-activation when older users have high level of prior knowledge. In this experiment, the health questions tackled knowledge about how the human body functioning and not health issues (for which older adults might have more knowledge about). For instance, older adults might know potential risks of the flu and its symptoms, but not necessarily how the immune system fights the virus.

References

- Aula, A. (2005). User study on older adults' use of Web and search engines. *Universal Access in the Information Society*, 4, 67–81. doi: 10.1007/s10209-004-0097-7
- Aula, A., Khan, R. M., & Guan, Z. (2010, April). How does search behavior change as search becomes more difficult? In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 35-44). ACM.
- Aula, A., & Nordhausen, K. (2006). Modeling successful performance in Web searching. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 57(12), 1678-1693.
- Burke, D. M., & Shafto, M. A. (2008). Language and aging. *The handbook of aging and cognition*, 3, 373-443.
- Chevalier, A., & Chevalier, N. (2009). Influence of proficiency level and constraints on viewpoint switching: A study in web design. *Applied Cognitive Psychology*, 23(1), 126-137.
- Chevalier, A., Dommes, A., & Marquié, J.C. (2015). Strategy and accuracy during information search on the Web: Effects of age and complexity of the search questions. *Computers in Human Behavior*, 53, 305–315.
- Chin, J., & Fu, W. T. (2010, April). Interactive effects of age and interface differences on search strategies and performance. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 403-412). ACM.
- Chin, J., Anderson, E., Chin, C. & Fu, W-T. (2015). Age differences in information search: An exploration-exploitation tradeoff model. *Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society 2015*, Los Angeles, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Dinet, J., Chevalier, A., & Tricot, A. (2012). Information search activity: An overview. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 62(2), 49-62.
- Dommes, A., Chevalier, A., & Lia, S. (2011). The role of cognitive flexibility and vocabulary abilities of younger and older users in searching for information on the web. *Applied Cognitive Psychology*, 25(5) 717–726.
- Dorot, D., & Mathey, S. (2013). Accès aux représentations sémantiques et phonologiques chez des adultes jeunes et âgés: une étude des mots sur le bout de la langue. *Psychologie Française*, 58(1), 1-16.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor- referenced cognitive tests* (pp. 109-113). Princeton, NJ: Educational testing service.
- Eppinger, B., Kray, J., Mecklinger, A., & John, O. (2007). Age differences in task switching and response monitoring: Evidence from ERPs. *Biological Psychology*, 75(1), 52-67.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). “Mini-mental state”: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198.
- Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. *Variation in working memory*, 19, 227-249.
- Hölscher, C., & Strube, G. (2000). Web search behavior of Internet experts and newbies. *Computer Networks*, 33, 337–346.
- Liu, P., & Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 553-568.
- Marchionini, G. (1989). Information-seeking strategies of novices using a full-text electronic encyclopedia. *Journal of the American Society for Information Science*, 40(1), 54.

- Matsuda, Y., Uwano, H., Ohira, M., & Matsumoto, K. I. (2009, July). An analysis of eye movements during browsing multiple search results pages. In *International Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 121-130). Springer Berlin Heidelberg.
- Mead, S. E., Spaulding, V. A., Sit, R. A., Meyer, B., & Walker, N. (1997, October). *Effects of age and training on World Wide Web navigation strategies*. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Vol. 41, No. 1, p. 152-156). SAGE Publications.
- Monchoux, S., Amadiou, F., Chevalier, A., & Mariné, C. (2015). Query strategies during information searching: Effects of prior domain knowledge and complexity of the information problems to be solved. *Information Processing & Management*, 51(5), 557-569.
- Pak, R., & Price, M. M. (2008). Designing an information search interface for younger and older adults. *Human Factors*, 50, 614–628. DOI: 10.1518/001872008X3123140
- Salthouse, T. (2012). Consequences of age-related cognitive declines. *Annual Review of Psychology*, 63, 201-226. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100328
- Sanchiz, M., Chin, J., Chevalier, A., Fu, W. T., Amadiou, F., & He, J. (2017). Searching for information on the web: Impact of cognitive aging, prior domain knowledge and complexity of the search problems. *Information Processing and Management*, 53(1), 281-294. doi: 10.1016/j.ipm.2016.09.003
- Sanchiz, M., Chevalier, A., & Amadiou, F. (2017). How do older and young adults start searching for information? Impact of Age, Domain Knowledge and Problem Complexity steps of Information Searching. *Computers in Human Behavior*, 72, 67–78. doi: 10.1016/j.chb.2017.02.038
- Sharit, J., Hernández, M. A., Czaja, S. J., & Pirolli, P. (2008). Investigating the roles of knowledge and cognitive abilities in older adult information seeking on the web. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(1), 3.
- Sharit, J., Taha, J., Berkowsky, R. W., Profita, H., & Czaja, S. J. (2015). Online information search performance and search strategies in a health problem-solving scenario. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(3), 211-228.
- Sihvonen, A., & Vakkari, P. (2004). Subject knowledge improves interactive query expansion assisted by a thesaurus. *Journal of Documentation*, 60(6), 673-690.
- Sullivan, S. A., & Puntambekar, S. (2015). Learning with digital texts: exploring the impact of prior domain knowledge and reading comprehension ability on navigation and learning outcomes. *Computers in Human Behavior*, 50, 299-313.
- Sonderegger, A., Schmutz, S., & Sauer, J. (2016). The influence of age in usability testing. *Applied ergonomics*, 52, 291-300.
- Spree, O., & Strauss, E. (1998). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. Oxford University Press.
- Tabatabai, D. & Shore, B.M. (2005). How experts and novices search the Web. *Library & Information Science Research*, 27, 222-248.
- Taconnat, L., & Lemaire, P. (2014). Fonctions exécutives, vieillissement cognitif et variations stratégiques. *Psychologie Française*, 59(1), 89-100.
- Thatcher, A. Information-seeking behavior and cognitive search strategies in different search tasks on the WWW. (2006). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 1055-1068.
- Van Deursen, A. J. (2012). Internet skill-related problems in accessing online health information. *International Journal of Medical Informatics*, 81(1), 61-72.
- Wagner, N., Hassanein, K., & Head, M. (2014). The impact of age on website usability. *Computers in Human Behavior*, 37, 270-282.
- Wildemuth, B. M. (2004). The

effects of domain knowledge on search tactic formulation. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 55(3), 246-258.

Chapitre 10 Article 5: Sanchiz, M., Amadiou, F. Paubel, P.V, & Chevalier, A. Older user-friendly search interface: supporting search goal refreshing in working memory to improve search strategies (*submitted October 2017, Applied Cognitive Psychology*)

Cet article présente les résultats de l'étude 4 sur le dispositif d'aide à la RI par une interface soutenant le rafraichissement du but de recherche en mémoire de travail.

Abstract

This study investigates how a search interface that displays users' ultimate query (*i.e.* users' current search goal) can cope with the age-related decrease of fluid abilities and support older users search behavior. 30 young and 18 older adults completed 9 search problems with a regular web browser or with the search interface including the support tool. Results showed that older adults spent longer time on search engine result pages, they needed more time to reformulate, and they had more difficulties exploring the search paths elaborated. Age-differences also appeared as soon as the beginning of the search. The support tool helped older users reformulate their queries more rapidly and elaborated more flexible search strategies at the beginning of the activity (*i.e.* it helped older users switch to the processing of a new search path more rapidly instead of exploiting and persevering on the investigation of the initial query produced).

Keywords

Aging, Information Search, Complexity, Support tool, Queries, Navigation

Introduction

Searching for Information on Internet has become a common daily activity for older adults. A recent survey has reported that in France, in 2016, around two older adults out of three used regularly the Internet to search for news or online services (for 70 % of the survey respondents, *TNS Sofres survey*). In most cases, users search for information with a search engine such as *Google* or *Yahoo*. To search for information with a search engine, users first have to articulate their information need into a query (*i.e.* a set of keywords), enter it in the search engine search box, and then analyze the search engine result pages (SERP). Then, users can either open up one or several websites to process content webpages or reformulate if no search engine results are satisfying enough. Querying, information selection and navigation can require a large amount of cognitive resources, especially for older adults who tend to have lower fluid abilities (Eppinger, Kray, Mecklinger, & John, 2007; Myiake, 2000; Salthouse, 1996; Sharit, Hernandez, Czaja, & Pirolli, 2008). Fluid abilities, which refer to abilities that allow individuals to solve problems and adapt to situation (Cattell, 1971), have been reported to represent major predictors of search performance and search behavior. Prior works demonstrated that the age-

related decline of cognitive flexibility (*i.e.* ability to switch the attentional focus to different items and adapt to environment changes), processing speed and working memory updating could account for older adults' lower search performance and difficulties when reformulating queries or selecting a webpage content to visit (Aula, 2003; Crabb & Hanson, 2014; Dommes, Chevalier, & Lia, 2011; Eppinger *et al.*, 2007; Myiake, 2000; Pak & Price, 2008; Salthouse, 1996; Salthouse, Atkinson, & Berish, 2003; Sanchiz, Chevalier, & Amadiou, 2017; Sanchiz, Chin, Chevalier, Fu, Amadiou, & He, 2017; Sharit *et al.*, 2008). Older users produce fewer queries, fewer new keywords (Dommes *et al.*, 2011; Sanchiz *et al.*, 2017a and 2017b), they spend longer dwell time on SERPs (Dommes *et al.*, 2011; Sanchiz *et al.*, 2017a and 2017b) and they need more time to select a webpage content to open up than young ones (Chin & Fu, 2010). Older users also have trouble evaluating the SERPs and elaborating a coherent navigational path to search for information as soon as the beginning of the search (Sanchiz *et al.*, 2017a). In addition, the challenges older adults face with a search engine are even greater when search tasks are more complex and require more cognitive resources (for instance to process larger amount of information or to navigate in a greater number of webpages, Sanchiz *et al.*, 2017b). These findings highlight that the age-related declines of fluid abilities can increase users' difficulties when interacting with a search engine and can reduce the amount of cognitive resources available for older adults and lead to poor search performance or disorientation. Hence, the present paper argue that an information search support tool adapted for older users should address this risk and provide a way for older users to save up some cognitive resources in order to face the search task's requirements. To cope with the difficulties induced by the decline of fluid abilities (Sharit *et al.*, 2008), we investigated how a support tool that displays users's ultimate query (*i.e.* current sub-goal users are investigating) can help older adults save up some cognitive resources (that would have been allocated to maintaining active the search goal in working memory) in order to improve search strategies and search performance. As internet accessibility and information search can reduce social isolation and foster older adults' independence (Mellor, Firth, & Moore, 2008; Thayer & Ray, 2006; Xie, 2008), supporting information search for older users is today an important social challenge. Besides, still little is known on how aging impact on-line search behavior during the different stages of the activity, and how older users react to search tasks requirements. To this end, the present study investigated how a search support tool that helps older users refresh the search goal in working memory can support reformulation, SERPs and content webpages evaluation (*i.e.* guide the attention to the most relevant concepts with regards to the current search goal), navigation and even support the initial stage of the activity that represent a challenge for older users

1. Related works

1.1 Impact of age on information searching: role of the fluid abilities and impact of search tasks complexity on older users' search behavior

Information search is a complex cognitive activity (for an overview of cognitive models, see Dinet, Chevalier & Tricot, 2012). Sharit, Hernandez, Czaja, and Pirolli (2008) developed a three-staged model that takes into account the activities involved when users search for information with a search engine (*i.e.* querying and navigation).

- Stage 1: Query planning and formulating: users elaborate a coherent mental representation of their search need and articulate it into a query (*i.e.* they select keywords from the search context and/or their memory to produce a relevant query).
- Stage 2: SERPs evaluation and link selection: users process the SERP to select one (or several) relevant content webpage to open to search for their target information. At this stage, users evaluate the relevance of the search engine results with regards to the query they produced.
- Stage 3: Information processing: users open up the webpages content from the SERP and process them in deeper details.

This model presents IS as a cycling activity: all three stages can be iterative as long as the user's information needs are not satisfied (or until the user decides to stop his/her search). Prior works investigating older users' search behavior have shown that at stage 1, older adults tend to elaborate less coherent mental representation of their search need (Wagner, Hassanein, & Head, 2014), they produce an initial query that contains fewer new keywords and more keywords directly extracted from the search tasks and they spend more time analyzing the initial SERP retrieved (Sanchiz *et al.*, 2017b). Across stages 2 and 3, older adults keep having challenges to assess SERPs relevance and select webpages to visit (Chevalier, Dommes, & Marquié, 2015; Chin & Fu, 2010; Matsuda, Uwano, Ohira, & Matsumoto, 2009; Sanchiz *et al.*, 2017b). Older adults tend to elaborate more top-down search strategies and rely mostly on their cognitive abilities and knowledge (*i.e.* they visit fewer links, take longer dwell time to decide where to go next) whereas young adults elaborate more bottom-up strategies and rely on features of the search environment (*i.e.* they visit a greater number of links, leave webpages faster and are more sensitive to results' rank) (Chin & Fu, 2010).

Many research works also demonstrated that complexity is one of the major factor impacting IS activity (Barsky & Bar-Ilan, 2012; Borlund & Dreier, 2014; Dommes *et al.*, 2011; Ingwersen & Järvelin, 2005; Monchaux, Amadieu, Chevalier, & Mariné, 2015; Wildemuth, Freund, & Toms, 2013). Many definitions of complexity can be found in literature (for a review, see Liu & Li, 2012). Most of these research works distinguished objective and subjective complexity (Campbell, 1988). In search problems, objective complexity is dependent to the features of the search problems, such as the amount of helpful information provided by the task, the number and clearness of the navigational search paths users have to elaborate or the level of elaboration of the cognitive processes required by the task (Arguiello, 2014; Bell & Ruthven, 2004; Barsky & Bar-Ilan, 2012). Subjective complexity depends on the user's characteristics (*i.e.* prior knowledge or abilities) and how these characteristics interact with the features of the task (Borlund & Dreier, 2014; Ingwersen & Järvelin, 2005). Complexity can impact search performance (Dommes *et al.*, 2011), querying (Barsky & Bar-Ilan, 2012) and navigation (Odijk, Ryen, White, Hassan Awadallah, & Dumais, 2015). Because search problem complexity can increase the amount of cognitive resources that users have to engage to adapt to the search task's requirement, this factor is particularly sensitive for older adults. Prior works by Dommes *et al.*, (2011) asked young and older users to search for information for simple search problems (*i.e.* all relevant keywords provided), complex search problems (*i.e.* relevant keywords switched with vague synonyms) and impossible ones (*i.e.* participants had to discover that no answer existed). Their results showed that older users explored less than young ones for the most complex search problems that required more cognitive resources (*i.e.* fewer content webpages, fewer queries and fewer new keywords). Similar results were found by Sanchiz *et al.*, (2017a, 2017b) who operationalized search complexity in the same way. Their results showed that older adults had poorer search performance for fact-finding simple search problems (*i.e.* older users took longer time to find the target answer). For more complex open-ended search problems, older users produce queries that were semantically more general, they reformulated less and were outperformed by young ones.

1.2 Information search support tool: how to support older users' interaction with a search engine to search for information.

Over the years, there has been a strong research interest for IS support tools, especially query formulation ones (Anick, 2003; Jansen & Booth, 2009; Martinsky & Navrat, 2012; Smith, Gwizdka, & Feild, 2017). Querying support tools mostly consist in query suggestions that provide new keywords (or whole query) semantically related to users' query. Their objective is

to help users reformulate their query to increase chances to retrieve relevant search results on SERPs. Some studies reported that querying support tools can improve search performance, the number of relevant content pages consulted (Fonseca, Golgher, De Moua; Pôssas, & Ziviani, 2003), help users elaborate new relevant navigational paths (Kelly, Gyllstrom, & Bailey, 2009) and foster the elaboration of new search strategies (O'day & Jeffries, 1993 ; Treevan, Alvarado, Ackerman, & Krager 2004). However, some empirical results also showed that such tools are often misused (Meadow, Hewett, & Aversa, 1981; Anick, 2003; Smith *et al.*, 2017) and can suggest keywords that are not consistent with users's mental representation, which can eventually alter search performance (Jonassen & Erdelez, 2005 ; Muramatsu & Pratt, 2001). Hence, we argue that these support tools are not adapted for older users who are less flexible than young ones and more sensitive to distractions and information that are not coherent with their mental representation of the search goal (Eppinger *et al.*, 2007; Connelly, Hasher, & Zacks, 1991; Sharit *et al.*, 2008). The suggested keywords could increase extraneous cognitive load (*i.e.* increase the amount of cognitive resources allocated to the processing of the tasks characteristics and not to the task itself, Sweller, 1994) and impair IS behavior. Besides querying support tools, other support tools for older adults have been investigated. Sanchiz, Chevalier, Fu and Amadiou (2017) showed that pre-activating prior knowledge about the search topic could help users elaborate a more coherent mental representation of the search goal, support the integration of new information and even help older adults produce semantically more specific queries in a knowledge domain for which they have poor prior knowledge. Djouani, Caro, Boucheix, Bugajska and Bergerot (2011) investigated how a support tool that allows users to pre-visualize content webpages before actually clicking on a link to visit a webpage could support webpages selection. Their results showed that the pre-visualization support tool and a hierarchically organized interface could help users select webpages more rapidly, but no interactions with age appeared.

These empirical findings show that older users need to be helped when processing of SERPs and content webpages, when selecting webpages and when navigating between several webpages. We argue that information processing on SERPs, reformulation and website selection particularly require users to keep active in working memory the search goal in order to assess information relevance. However, both the age-related decline of update in working memory (Mead, Spaulding, Sit, Meyer, & Walker, 1997) and the saturation of cognitive resources (because older users can have fewer cognitive resources available in working memory due to the age-related decline of other fluid abilities, Eppinger *et al.*, 2007; Sharit *et al.*, 2008)

can impair those activities. The age-related decline of working memory refreshing can also cause older users to have more difficulties than young ones to keep active in working memory the previous queries produced during earlier stages of the search (Aula, 2003). Indeed, because aging can decrease the maintaining of information in working memory all along the search activity, older users can elaborate search strategies that are less relevant, and they can have longer dwell times on webpages than young ones (Chevalier *et al.*, 2015; Chin & Fu, 2010). Eventually, older users can take decisions unadapted decisions that do not take into account useful information with regards to the search goal (Kitajima & Toyota, 2012). Hence, to be beneficial for older users, support tools should cope with older adults' lower cognitive fluid abilities and should particularly support search goal and information refreshing in working memory. Support tools for older users should especially assist older users for query reformulation, SERPs evaluation, content webpages selection and navigation that require many cognitive resources. In the present study, we argue that an IS support tool for older users should also mostly rely on older adults' inner cognitive resources (such as prior knowledge or vocabulary skills) to limit possible conflicts between users' mental representation and the information provided in the support tool; and it should appear as early as possible to support the initial stage of the search.

2. Research aim and hypotheses

Older adults' difficulties processing SERPs, reformulating or selecting webpages to visit can be related to the decline of flexibility, processing speed and update in working memory (Dommes *et al.*, 2011; Eppinger *et al.*, 2007; Miyake *et al.*, 2000; Salthouse, 1996; Sharit *et al.*, 2008). The present study had two major research focuses:

- Investigating how a support tool helping older users keep active their search goal in working memory could cope (at least partially) with older adults' difficulties and improve search strategies. This system should help participants remember their last query and hence support comparisons between the query and webpages content.
- Investigating how older users' search behavior evolve all along the activity with regards to the search problems requirements (*i.e.* complexity) and how the support tool can impact the different stages of the activity.

To this end, we combined data from on-line activity and eye-tracking measures. The experimental support tool designed specifically addressed older adults' difficulties with a search engine to help them reformulate their queries, evaluate the SERPs and select websites

more accurately. As shown in Figure 1 below, the tool consisted in a module, presented at the top of the web browser, that displayed the ultimate query produced at all time (*i.e.* both on SERPs and on content webpages).

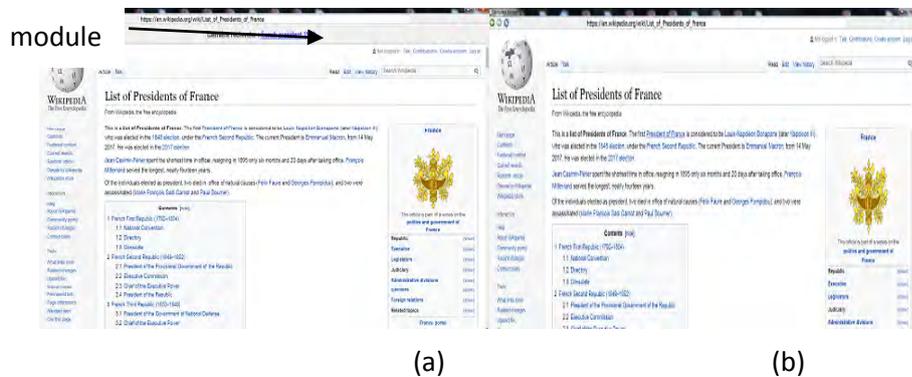


Figure 1: Screen captures of the two experimental condition (Fig. 1a experimental group who search with the IS tool and Fig. 1b control group).

We argue that the last query produced by users reflect their current search sub-goal. Two functions of the supporting tool aimed at coping with older users' difficulties: the search goal refreshing in working memory function and the navigational support function (see figure 2 below for an overview of the functions and hypothetical effects of the support tool). The search goal refreshing function aimed at helping older users keeping active in working memory their current query at low cognitive cost and guiding attention to relevant information. The navigational function aimed at helping older users return easily on SERPs to support more flexibility and exploration. The functions of the support tool are detailed in the section 3.2.2. We formulated the following main hypotheses:

Effect of age and interaction between age and search problem complexity on IS behavior

Because of the decline of flexibility (Eppinger *et al.*, 2007; Salthouse *et al.*, 2008), we expected older adults to produce fewer queries, fewer new keywords and spend longer time querying. In addition, older adults' lower update in working memory (Miyake *et al.*, 2000) and difficulties to elaborate a coherent representation of the search environment they interact with (Aula, 2005) should cause longer dwell time on SERPs, on content webpages for older adults as compared to young ones (Chin *et al.*, 2015; Chin & Fu, 2010; Dommes *et al.*, 2011; Sharit *et al.*, 2008; Sanchiz *et al.*, 2017a, 2017b). These difficulties should appear as soon as the initial phase of

the activity (Sanchiz *et al.*, 2017a, 2017b) and should also be greater for more complex search problems that require more processing and cognitive resources.

Effect of the IS supporting tool and interaction between age, the IS tool and complexity on IS behavior

The supporting tool should foster deeper analyses of the SERPs more careful selection of content webpages to open up and deeper processing of websites and fewer content webpages accessed from the SERPs). The tool should particularly help older reformulate by helping them extract relevant keywords. The tool should be more useful for older adults (hence older adults should have more eye fixations and click on the IS tool than young ones), especially for complex search problems.

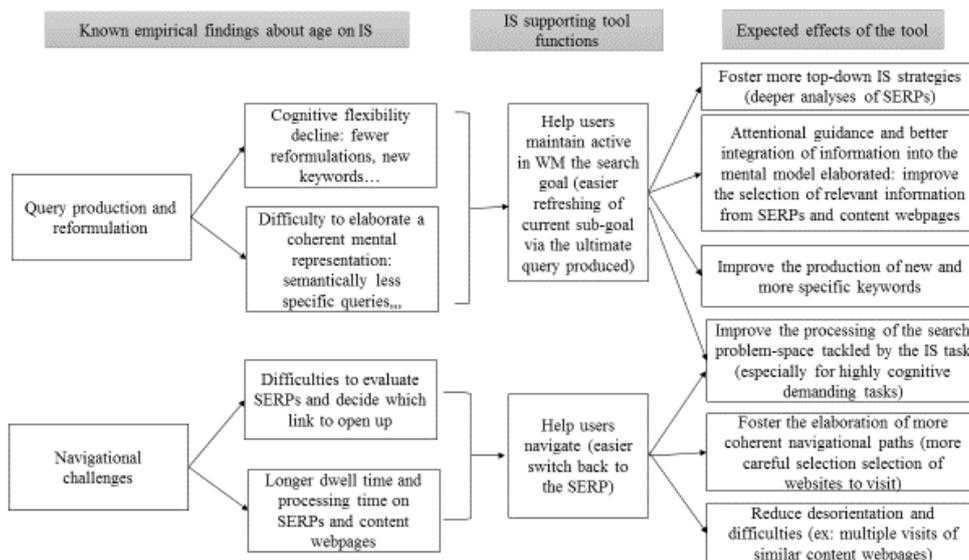


Figure 2: overview of hypothetical effects of the IS supporting tool for older users

3. Method

3.1 Participants

48 volunteers took part in this experiment: 18 older adults (12 women and 6 men, $M_{age} = 65.11$ $SD = 5.30$, from 60 to 84) and 30 young adults (24 women and 6 men, $M_{age} = 21.93$ $SD = 2.79$, from 18 to 34). Participants were French speakers recruited on the University of Toulouse and local seminars dedicated to older adults. Older adults were retired, in good health (Mini Mental

State Examination for older adults: $M = 29.77$ $SD = .55$; Folstein, Folstein & McHugh, 1975). No age differences appeared on upper educational level ($t(48) = 1.39$, $p = ns$).

3.2 Design

As presented in previous sections, three independent variables were investigated in this experiment: age (VI 1 young *vs* older), search problem complexity (VI 2, within-subject: simple, inferential and multicriteria, see description in section 3.2.1 below) and the experimental search condition with a supporting tool (VI 3, between-subject with the tool or without the tool, see description in section 3.2.2 below).

3.2.1 Information search problems

Consistently with prior works (Chin *et al.*, 2009; Dommes *et al.*, 2011; Sanchiz *et al.*, 2017a, 2017b), we designed three types of search problems varying in complexity. Participants had to search the answer for 3 simple, 3 inferential and 3 multicriteria search problems of various knowledge domains (literature, politics, media, music *etc*). Complexity was determined *a priori* based on the cognitive requirements and the amount of information provided by the search problem statements (see Table 1 below for all search problem statements). This manipulation of complexity is in line with prior works by Bell and Ruthven (2004) who argued that complexity increases with the level of preciseness of the information to be found, the amount of useful information provided and the complexity and preciseness of the navigational path to elaborate to find the target information.

To find the target answer of simple problems, participants had to extract the relevant keywords provided in the search problem statements and formulate them into a query. The answer was directly accessible on the SERP, hence no reformulation or no content webpages processing was necessary. For inferential search problems, participants had to select the relevant concepts from the search problem statements but also to reformulate them into more relevant ones. Relevant keywords were replaced by vague synonyms in the search statements (for example “*urban music*” instead of “*rap music*”, “*French President*” instead of “*de Gaulle*”...). Participants could infer new keywords from prior topic knowledge or by extracting them on content webpages. Finally, for multicriteria search problems, participants had to keep active in working memory a series of criteria to find a single answer that matched them all. Participants could either elaborate sub-goals to investigate criteria one after another, or gather pieces of information for more and more criteria with each new query. Hence, for most cases

reformulating and/or navigating into multiple content webpages was necessary to find the target answer.

Table 1: all search problems statements (per complexity level and translated from French) and the requirements expected to complete the search problems. Bold and italic characters are for the purpose of the present paper only (participants did not see any bold or italic letters).

	Search problem statements	Actions required by the search problems
Simple	<ul style="list-style-type: none"> • Which French president, nicknamed “Force Tranquille” was called “Force Fragile” after he publically announced his disease? • How long is the gestation period of the polar bear? • Who wrote the novel “Le sabotage amoureux”? 	<ul style="list-style-type: none"> • Select (at least) the main concepts (bold letters), articulate them into a query • Analyze the SERP to find the answer • No need to open up a website or to reformulate
Inferential	<ul style="list-style-type: none"> • Find out how the <i>key speech</i> given by the <i>French President</i> in 1958 in <i>Alger</i> was <i>parodied</i>? • How do bees locate a convenient spot to settle their <i>habitation</i>? • Find out which French musical group of <i>urban music</i>, composed of 5 artists who are named after Egyptian gods come from <i>Southern France</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Select (at least) the main concepts of the search problems • Reformulate the vague keywords (italic) into more specific and useful ones) • Find on SERPs a relevant website to open up to find the target answer.
Multicriteria	<ul style="list-style-type: none"> • Which French political tv show, presented by two famous journalists has received political celebrities such as Georges Marchais and Francois Mitterrand in the seventies? • Which French writer, who is a master of suspense and fantastic, has written an historical and fantastic best-seller and a series of young adults’ novels whose female heroine has super powers? • Sam, 13, is looking for a costume for next Halloween. He would like to find the suit of a character mainly green, who carries a sword or a bow and arrows and who has super powers. Find a character who matches all these criteria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Select (at least) the main concepts of the search problems, phrase them into one (or multiple) query (ies). • Potentially divide the main search goal into different sub-goals to gather relevant information • Explore different content webpages or SERPs to find one answer that matches all criteria.

3.2.2 IS support tool

The support tool consisted in a module added at the top of the screen that displays at all time the ultimate query produced by participants (see Figure 2 below for images displaying each experimental condition). The tool had the following 2 functions:

- Search goal refreshing in WM. By displaying the ultimate query produced by participants (i.e. which reflects users' current search sub-goal) the tool plays the role of an external memory that helps users keep active in working memory their search goal. The refreshing function also serves as an attentional guide: at low cognitive costs, users can take a look at their query and develop new strategies to process SERPs and content webpages (i.e. find information semantically related to their current query). This function eventually helps the extraction of new relevant information and the integration of new information to users' mental representation of the search goal.
- Navigational support. The query displayed in the module was clickable: users could click on it to return to the SERP. This function supports the exploration of content webpages: older users do not have to allocate resources to remember the navigational path they have taken to return to SERP.

Apparatus

Eye movements were recorded using an SMI RED250mobile binocular and remote eye tracker (SMI, Teltow, Germany). The sampling rate was set to 250Hz. This eye tracker possesses a 0.4° spatial accuracy and a 0.03° spatial resolution. We used a flat display screen DELL 22" with a refresh rate of 75 Hz and a resolution of 1920x1080 pixels. All eye movements were extracted using the SMI Research default algorithm provided by the SMI BeGaze software 3.5. Data about the on-line activity was saved on log files.

3.2.3 Procedure

Participants completed the experiment on a computer located in the research CLLE lab. They used Google search engine a web browser designed specifically for of the experiment. Participants first completed an online questionnaire to provide demographic data and internet habits. Then, participants performed a series of cognitive tests assessing cognitive flexibility (Trail making Test part A & B, Spreen & Sprauus, 1991), updating in working memory (n-back test, Kirchner, 1958) and processing speed (XO comparison tests Salthouse, 1996). Then participants had a small training with our web browser before starting the information search tasks. Participants search for the answer to 9 information search problems (randomized order) one by one. Half (i.e. 16 young and 11 older adults) performed the tasks with the supporting tool and the other half performed the search tasks without the tool (i.e. 15 young and 7 older adults). After each search task, participants completed a paper questionnaire to self-assess their level of satisfaction, interest and difficulties during the search.

3.2.4 Variables and data analyses

Dependent variables (DV) related to the processing of the supporting tool

An area of interest (AOI) was built on the module displaying participants' ultimate query. Indicators from eye-tracking and on-line data were computed:

- DV1: Number of clicks on the tool box. For each search problem, we retrieved the number of times participants clicked on the IS tool to return to the SERP (to return to SERP or Google homepage, participants could either click on the tool or click on the backwards arrow or enter a new query in the URL bar).
- DV2: Number of eye fixations on the tool box was collected for the whole search activity (*i.e.* fixations for all content webpages and SERPs) per search problem. In addition, to analyze how the support tool affected content webpage processing (and guided participants' attention for instance), we collected the number of eye fixations on the tool box for content webpages (*i.e.* all web pages except SERPs). Eye fixations were also collected for the initial content webpages processed at the beginning of the search (*i.e.* after the first query produced and before reformulating) in order to investigate the impact of the support tool on the initial search strategies elaborated by users. We argue that this *DV* represents to what extent users exploited their initial query (*i.e.* and visited a great number of content webpages) or, on the contrary, switched to a new navigational path by reformulating.

DVs related to search performance

- DV3: Percentage of correct answers found. For each search problem, 1 point was granted when participants found the correct answer and 0 was granted when participants found no answer or an incorrect one. Scores were transformed into percentage.

DVs related to the overall information search activity

Query production and reformulation

- DV4: Number of queries produced (*i.e.* total number of reformulations participants made plus the first query produced).

DV5: Mean time spent querying. For each query, we calculated the time spent formulating each query by dividing the time spent to phrase the query (*i.e.* the time between a click on the *Google* search box to enter the first letter of the query until the

query is validated) by the number of keywords contained in that query (mean time spent querying was then calculated). Analyses of SERPs and navigation from SERPs

- DV6: Dwell time on SERPs. In addition, we also collected the dwell time on the initial SERP retrieved (*i.e.* after the validation of the initial query and before participants reformulated or accessed a content webpage) in order to investigate whether the processing of the initial SERP can represent a challenge for older users.
- DV7: Dwell time on content webpages In addition, the dwell time on the initial content webpage(s) opened up was also collected (*i.e.* time spent on content webpage(s) between the first content webpage opened from the initial SERP until participants returned to the SERP to reformulate their query) to investigate how the support tool could help older participants process content webpages at the beginning of the activity.
- DV8: Level of exploitation of the initial query (*i.e.* number of webpages opened up for the initial query, per search problem). We argue that the more content webpages participants viewed for the initial query, the more they exploited the search path initiated by the query; whereas the lesser content web pages they consulted (*i.e.* the sooner they returned to a SERP or reformulated their query) the sooner they explored a new search path.

4 Results

To investigate how age impacted the search behavior with regards to the level of complexity of the problems and how the IS support tool could improve older users' search strategies, we conducted 2*2*3 Mixed ANOVAS (age and support tool as between-subject, complexity within-subject). Section 4.1 will present results about search performance, section 4.2 results related to cognitive abilities and on-line use of the tool and section 4.3 results about the activity (query production, navigation and initial stage of the search). Only main results will be reported, see Appendix 1 for an overview of the effect of complexity.

4.1 Age differences regarding cognitive fluid abilities and on-line use of the supporting tool

As expected, older adults had lower cognitive flexibility (Trail Making Test: number of correct moves drawn: $t(48) = 2.53, p < .02$) and lower processing speed (XO comparison $t(48) = 5.03, p < .001$) than young adults; but no age differences appeared on working memory updating (n-back score: $t(48) = 1.25, p = ns$).

Use of the supporting tool

To investigate how young and older adults used the support tool, mixed ANOVAS were conducted on the two age groups who performed the search problems with the support tool. Analyses investigated the on-line use of the support tool for all pages and for content webpages only.

Table 2: means and (standard deviations) for the DVs related to the on-line use of the supporting tool.

	Young adults N= 16	Older adults N= 11
Mean number of clicks on tool	5.46 (.75)	8.04 (.91)***
Mean number of fixations for the whole search activity	6.38 (2.08)	14.82 (2.51)***
Mean number of fixations for webpages only (i.e. all pages but SERPs)	2.83 (1.25)	7.85 (1.51)***
Mean number of fixations for the initial webpage(s) only (i.e. first website opened from the SERP)	.45 (.63)	2.53 (.76)***

*** $p < .05$

Older adults significantly clicked on the support tool ($F(1,25) = 4.75, p < .04, \eta^2_p = .16$), and made more fixations on the support tool box ($F(1,25) = 6.69, p < .02, \eta^2_p = .20$) than young adults. Older users also made more fixations at the tool box for all content webpages consulted ($F(1,27) = 6.55, p < .02, \eta^2_p = .21$) and also for the initial content webpages opened up (*i.e.* before reformulating a new query), ($F(1,27) = 4.44, p = .04, \eta^2_p = .15$) than young ones.

Interactions between age and search complexity regarding the use of the supporting tool

Interactions between age and complexity did not reach significance for the number of clicks on and the number of fixations on the tool box (respectively $F(1,25) = 3.39, p = .07, \eta^2_p = .12$; $F(1,25) = 2.54, p = .09, \eta^2_p = .09$). However, the interaction between age and complexity ($F(1,27) = 4.32, p = .02, \eta^2_p = .15$) showed that older adults made more fixations than young adults on the tool box when processing content webpages for multicriteria search problems ($p < .02$). Effects of age was marginal for inferential search problems ($p = .06$) and disappeared for simple ones ($p = ns$).

In a nutshell, older adults used the navigational and refresh in working memory functions of the support tool more than young ones (*i.e.* older adults made more clicks and more eye fixations on the tool box than young ones both for the whole activity, when processing content webpages and at the beginning of the search). The more complex the search problems were, the more older adults used the support tool to refresh their search goal in working memory

4.2 Search performance: Percentage of correct answers

Results of the mixed ANOVAS showed no significant effects on search performance (all $p = ns$, older adults; $M\% = 66.5$ $SD = 2.7$ and young adults: $M\% = 64.9$ $SD = 3.6$).

4.3 Query strategies

Number of queries produced

Results of the mixed ANOVAS showed no significant effects for the number of queries produced by participants (all $p = ns$).

Ratio of time querying

As a reminder, the time spent querying was collected by dividing the time spent entering the time taken to formulate the query by the number of keywords (*i.e.* query length). We argue that this reflects to what extent users had difficulties reformulating their query. Results of the mixed ANOVAS revealed that older adults took significantly more time to produce their queries than younger adults ($F(1,44) = 32.20$, $p < .001$, $\eta^2_p = .42$). Effect of the supporting tool did not reach significance ($p = ns$). The interaction between age and the supporting tool ($F(1,44) = 4.33$, $p = .04$, $\eta^2_p = .09$) showed that when older adults did not have the supporting tool, they took longer time to formulate their queries than young adults ($p < .001$); whereas no age differences appeared when users had the support tool ($p = ns$).

4.4 Search engine result pages analyses and navigation

Mean dwell time on all SERPs

As expected, older adults spent significantly more time on all SERPs than younger adults ($F(1,44) = 7.38$, $p < .01$, $\eta^2_p = .14$, respectively $M_{sec} = 127.61$ $SD = 10.26$ and $M_{sec} = 92.64$ $SD = 7.77$). Effect of the support tool and interaction between age and the tool did not reach significance (all $p = ns$). The interaction between age and complexity was near to significant ($F(2,88) = 3.42$, $p < .07$, $\eta^2_p = .07$). Post hoc tests showed that for inferential and multicriteria search problems, older adults tended to spend longer time on SERPs than young adults (respectively $p < .04$ and $p < .03$) whereas no age differences appeared for simple ones ($p = ns$).

Mean time spent on content web pages (i.e. websites)

Older adults tended to spend more time on websites than young ones ($F(1,44) = 3.58, p = .06, \eta^2_p = .07$, respectively $M_{sec} = 125.38 SD = 13.20$ and $M_{sec} = 93.62 SD = 10.39$). No significant effect of the support tool and interactions appeared (all $p = ns$). However, the interaction between age and complexity was close to significant ($F(2,92) = 53.36, p = .06, \eta^2_p = .07$): older adults tended to spend more time on websites for multicriteria search problems, whereas for simple and inferential ones, no effect of age appeared ($p = ns$).

4.5 Initial stage of the activity

Dwell time spent on the initial SERP retrieved

Older adults spent significantly more time analyzing the first SERP than young ones ($F(1,44) = 4.90, p = .03, \eta^2_p = .10$, respectively $M_{sec} = 41.94 SD = 4.41$ and $M_{sec} = 29.71 SD = 3.33$). As a reminder, as the supporting tool only displayed the query produced in the SERP after it was entered on Google, the support tool could not have any impact on the initial query produced. Hence, we did not investigate the impact of the support tool on the first SERP.

Dwell Time on the initial content webpages opened up

Older adults spent more time on the first webpages opened up than younger adults ($F(1,44) = 4.44, p = .04, \eta^2_p = .09$, respectively $M_{sec} = 25.49 SD = 3.04$ and $M_{sec} = 17.38 SD = 2.35$). Participants who had the tool spent more time analyzing the first webpages than participants who performed the search tasks without it ($F(1,44) = 4.16, p < .05, \eta^2_p = .09$, respectively $M_{sec} = 24.68 SD = 2.47$ and $M_{sec} = 16.88 SD = 2.92$). All interactions were not significant (all $p = ns$).

Level of exploitation of the initial query produced (i.e. number of webpages opened up for the initial query)

Older adults opened up more webpages from the initial SERP than young ones ($F(1,44) = 5.20, p < .03, \eta^2_p = .11$, respectively $M = 6.38 SD = .71$ and $M = 4.34 SD = .54$). The support tool did not have a significant impact ($p = ns$). Interaction between age and complexity was not significant ($p = ns$), however the interaction between age and the support tool did reach significance ($F(1,44) = 10.75, p < .01, \eta^2_p = .20$). Post hoc tests showed that without the supporting tool, older adults exploited more the initial query they produced (i.e. they visited more webpages from the initial SERP) than young ones ($p = .001$ respectively $M = 7.94 SD = 1.11$ and $M = 2.98 SD = .79$); whereas no age differences appeared when users had the support

tool ($p = ns$ respectively $M = 4.81$ $SD = .89$ and $M = 5.70$ $SD = .74$). The triple interaction between age, complexity and the supporting tool ($F(2,88) = 4.73$, $p = .01$, $\eta^2_p = .10$) showed that older adults who performed the search with the tool opened up fewer webpages from the initial SERP than young ones for inferential and multicriteria search problems, ($p = .02$ and $p = .001$) (see Table 3 below). No interaction between age and complexity appeared for participants who had the supporting tool to search for information (all $p = ns$).

Tableau 3: Means and (*SD*) for the number of content webpages opened up for the first query produced (i.e. level of exploitation of the initial query produced).

	Without the IS support tool		With the IS support tool	
	Young adults	Older adults	Young adults	Older adults
Simple search problems	2.46 (.98)	2.69 (1.39)	4.03 (.92)	5.49 (1.11)
Inferential search problems	3.10 (1.44)	9.29 (2.03)	6.96 (1.35)	4.36 (1.62)
Multicriteria search problems	3.37 (1.40)	11.86 (1.98)	6.12 (1.31)	4.58 (1.58)

Results summary

Tableau 4: Summary of all significant effects.

	Age	Support tool	Age* Support tool	Age*Search complexity	Age*Support tool *Search complexity
<u>Performance</u>	ns	ns	ns	ns	ns
Percentage of correct answers					
<u>Global activity</u>					
Number of queries produced	ns	ns	ns	ns	ns
Ratio of time querying	*	ns	*	ns	ns
Mean dwell time on all SERPs	*	ns	ns	^	ns
Mean time spent on content web pages	*	ns	ns	^	ns
<u>Initial stage of the activity</u>					
Dwell time spent on the initial SERP	*				
Dwell time on the initial content webpages opened up	*	*	ns	ns	ns
Level of exploitation of the initial query	*	ns	*	ns	*

* $p < .05$, ^ $p < .07$

In a nutshell, older adults had longer dwell time on SERPs and content webpages (both for the overall activity and for the initial stage of the search), and they exploited their initial query more than young ones (see Table 4 above). The support tool fostered deeper processing of the content webpages consulted for the initial navigational path elaborated. Eventually, the support tool helped older users reformulate their queries more rapidly and be more flexible at the beginning

of the search (i.e. they switched to a new navigational path by reformulating faster than without the support tool).

5. Discussion

The present experiment aimed at investigating how an IS support tool that helps older users keep active their search goal in working memory could cope (at least partially) with older adults' difficulties and improves IS search strategies.

5.1 Effects of age and interaction with complexity

Unlike what we expected, no age-related differences were found on search performance. However, these results are consistent with previous findings (Sanchiz *et al.*, 2017b)) showing that prior knowledge can help older users find as much correct answers as young ones. In the present study, users had to search for answer to various topics (literature, movies, politics) for which they might have had good prior knowledge. After each search problem, participants (paper-based questionnaire) self-evaluated the amount of prior knowledge they had about the search topic (i.e. 0 = no knowledge at all; 1 = some knowledge that was helpful; 2 = I knew the answer; when participants knew the answer before and did not search on the internet, no data were collected). Overall, older adults declared that they had some useful prior knowledge a greater number of times than young ones ($t(18) = -5.28; p < .001$). Consistently, the absence of age differences on search performance, as well as on the number of queries produced, might be explained by helpful prior knowledge that might have helped older users formulate useful queries and search for the answer.

Interestingly, older adults took longer time to formulate their queries than young ones. In order to reformulate a more fruitful query, users both need to reactivate in working memory the former mental operations they have performed since the beginning of the search (i.e. previous queries, and previous keywords evaluated as relevant or irrelevant...) and to integrate new information to their mental representation of the search goal (new keywords discovered on content webpages for instance) (Salthouse, 1996; Miyake, 2000). Prior works have shown that the age-related decline of processing speed impact older adults *via* two mechanisms: the limited time and the simultaneity mechanisms. First, older adults processed information more slowly than young ones (i.e. they took longer time to complete the actions necessary and then might lack of time for the later operations required by the task). Secondly, older adults have more difficulties to keep in mind the fruits of earlier mental operations during a task. Thus, longer

dwelling time querying might reflect how older users can have a challenge recalling the previous queries they formulated, which probably required a larger amount of cognitive resources and left little resources available to produce keywords. This phenomenon was most likely increased by lower cognitive flexibility. Results also showed that older adults spent more time evaluating the SERPs and processing content webpages; which confirmed that older adults can have difficulties assessing the search engine relevance, and planning their search (i.e. plan which content webpage to open up and anticipate how useful it can be with regards to the search goal) (Chevalier *et al.*, 2015; Dommès *et al.*, 2011; Sanchiz *et al.*, 2017a, 2017b). As expected, the more complex the search problems were (i.e. the more requirements the search problems imposed on participants), the more older adults tended to face challenges. Indeed, older users spent longer dwelling time on SERPs both for multicriteria and for inferential search problems (i.e. problems that required to navigate in a greater number of webpages and to produce new keywords).

5.2 Effect of the IS support tool

As a reminder, older users interacted with the support tool more than young ones (*i.e.* more clicks and eye fixations). Overall, as we expected, the support tool guided users' attention towards information that were relevant to their search goal (and current query) and fostered more analytic search strategies. Indeed, in line with a prior study (Sanchiz *et al.*, 2017c), the support tool promoted deeper processing of the SERPs and the content webpages visited. Users selected more carefully the content webpages to open up, particularly for inferential and multicriteria search problems that were more complex and required more resources to select relevant content webpages to find the target information. The support tool also fostered deeper processing of the initial search path elaborated, which probably shows that users allocated more resources to extracting useful information early in the activity.

5.3 Impact of the support tool on older users' search activity

As we expected, by helping older users refresh the search goal in working memory (and most likely relevant information closely related), the support tool improved older users' search strategies *via* two mechanisms. First, the support tool reduced the amount of parallel processing older users had to perform during critical stages of the search (such as SERPs evaluation and reformulation). This eventually helped them save up some cognitive resources in order to develop more elaborate search strategies. Secondly, the support tool guided older adults' attention to information that were relevant to their current search goal at low cognitive cost (*i.e.*

they could take a look at their query and directly search for relevant concepts in the webpages they processed).

Indeed, the support tool helped older users reformulate their queries more efficiently (*i.e.* older users no longer needed more time than young ones to reformulate). As a reminder, to reformulate their queries, users need to recall their previous queries and produce new keywords (by retrieving information from their prior knowledge or by extracting new ones from the internet). Hence, as older users no longer had to allocate large amount of cognitive resources to information refreshing in working memory, they still had enough cognitive resources available left to reformulate more efficiently (for example to decide which keywords were no longer useful and should be switched by new ones). Interestingly, this pattern tends to show that the support tool can cope with lower processing speed and can decrease the difficulties caused by the limited time and simultaneity mechanisms (Salthouse, 1996) which impair the amount of cognitive resources available in working memory. Indeed, the support tool not only helped older users refresh the fruits of the earlier mental operations performed (*i.e.* current query), but also helped them elaborate a more coherent mental representation of their search by extracting new relevant information on the web and integrate them into their mental model. Consequently, older adults managed to reformulate their queries on the basis of relevant information and with more cognitive resources available in working memory. Hence, the support tool improved older users search strategies (Aula, 2003) and fostered more efficient decisions (Chin *et al.*, 2015).

Interestingly, the patterns presented above (*i.e.* attentional guidance to relevant information and cognitive resources saving) also appeared for the initial stage of the search that usually represents a challenge for older users (Sanchiz *et al.*, 2017). First, the support tool fostered deeper processing of the initial content webpages visited, because it probably drove users' attention to relevant information (*i.e.* related to their search content). Hence, older users most likely allocated their cognitive resources to process carefully the content of the initial webpages visited in order to extract useful information and improve the coherence of their mental model. Consequently, as older users managed to elaborate a more coherent mental model and saved up some resources in working memory (*i.e.* because the tool reduced the number of parallel processes required by the task at the beginning of the search and also avoided the processing of irrelevant and non-useful information), older adults managed to be more flexible at the initial stage of the activity. Indeed, the support tool reduced the exploitation of the initial query produced (older adults no longer opened up more webpages than young ones for the first query produced) and fostered the elaboration of a new search path (by reformulating on SERPs) as

young adults did. This pattern tends to show that supporting search goal refreshing in working memory and guiding the attention to relevant information at low cognitive costs can cope with the age-related decrease of cognitive flexibility and support more exploration at the beginning of the search for older users.

Interestingly, the support tool was not used in the same way by young and older users for search problems that were more complex (*i.e.* inferential and multicriteria search problems). For young adults, the support tool fostered deeper exploitation of the initial search path elaborated for inferential and multicriteria search problems (*i.e.* more content webpages opened up for the first query). Young adults seemed to have used the tool as a way to guide their attention to locate as much relevant information as possible before switching to a new search path by reformulating a new query. On the contrary, for older users, the tool supported more flexible search strategies for inferential and multicriteria search problems, as it helped them switched to a new search path more quickly by reformulating a new query (and thus explore a new navigational path). This pattern is relatively new as prior results found in literature showed that older users tend to exploit their query (Chin *et al.*, 2009) and spend more time processing the webpages retrieved from the initial query produced (Sanchiz *et al.*, 2017b). The query displayed at all time probably fostered better selection of information, supported the assessment of information relevance and the integration of new information extracted from the initial content webpages to older users' mental model. The tool managed, at least partially, to cope with older users' lower flexibility and processing speed to help them switch to a new navigational path.

6. Limitations and implications of the study

In a nutshell, our main findings corroborated older adults' difficulties when processing SERPs, formulating query, and the initial SERP and content webpages consulted (Chevalier *et al.*, 2015; Chin & Fu, 2010; Dommes *et al.*, 2011; Pak & Price, 2004; Sharit *et al.*, 2008; Sanchiz *et al.*, 2017a, 2017b). The more complex the search problems were, the more older users faced challenges when processing SERPs and content webpages. The support tool that allows older users to refresh their search goal in working memory appeared to be a good way to cope (at least partially) with older adults' difficulties when interacting with a search engine. Indeed, the supporting tool does not require much resources to be processed and presents low risks to be in conflict with users' mental representation (since the tool displays the fruit of the users' own activity). Further works should address some limits: first, results should be replicated with larger samples of users. Indeed, we had a relatively small number of older adults (18 in total,

11 using the regular Google engine and 8 using our support tool). This small sample is explained by the use of eye tracking (glasses and the age-related evolution of sight made it difficult to collect eye-tracking data for many older adults). In addition, further works should investigate the impact of the support tool for more ecological search tasks (*i.e.* self-generated, free browsing or free exploration search tasks).

Our support tool also have interesting implications for older adults who have to perform information search tasks in environments where they can be interrupted (such as in a working environment where multitasking can occur). Indeed, older adults are particularly sensitive to interruptions and distractions. Hence, this support could be very helpful to help older users get back to the search task at low cognitive cost, as they would not have to allow a large amount of cognitive resources to recall their search goal.

7. References

- Anick, P. (2003, July). *Using terminological feedback for web search refinement: a log-based study*. In Proceedings of the 26th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (p. 88-95). ACM.
- Arguello, J. (2014). *Predicting search task difficulty*. In M. de Rijke, T. Kenter, A. de Vries, C. Zhai, F. de Jong, & K. Radinsky, et al. (Eds.), Proceedings of the 36th European conference in information retrieval (ECIR'14) (p. 88-99). Amsterdam: Springer.
- Aula, A. (2003). *Query formulation in web information search*. Proceedings of the IADIS International Conference. (p.403-410).
- Barsky, E., & Bar-Ilan, J. (2012). The impact of task phrasing on the choice of search keywords and on the search process and success. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(10), 1987-2005.
- Bell, D. J., & Ruthven, I. (2004). Searcher's assessments of task complexity for web searching. In S. McDonald & J. Trait (Eds.), *Advances in information retrieval lecture, notes in computer science* (p. 57-71). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Borlund, P., & Dreier, S. (2014). An investigation of the search behaviour associated with Ingwersen's three types of information needs. *Information Processing and Management*, 50(4), 493-507.
- Campbell, D. J. (1988). Task complexity: A review and analysis. *Academy of management review*, 13(1), 40-52.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Oxford, England: Houghton Mifflin.
- Chevalier, A., Dommès, A., & Marquié, J.C. (2015). Strategy and accuracy during information search on the Web: Effects of age and complexity of the search questions. *Computers in Human Behavior*, 53, 305-315.
- Chin, J., & Fu, W. T. (2010, April). *Interactive effects of age and interface differences on search strategies and performance*. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 403-412). ACM.
- Chin, J., Anderson, E., Chin, C. & Fu, W-T. (2015). *Age differences in information search: An exploration-exploitation tradeoff model*. Proceedings of the 59th Annual Meeting

- of the Human Factors and Ergonomics Society 2015, Los Angeles, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Connelly, S. L., Hasher, L., & Zacks, R. T. (1991). Age and reading: the impact of distraction. *Psychology and aging*, 6(4), 533.
- Crabb, M., & Hanson, V. L. (2014, October). *Age, technology usage, and cognitive characteristics in relation to perceived disorientation and reported website ease of use*. In Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility (p. 193-200). ACM.
- Dinet, J., Chevalier, A., & Tricot, A. (2012). Information search activity: An overview. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 62(2), 49-62.
- Djouani, M., Dambreville, S. C., & Boucheix, J. M. (2014). Un système de navigation pour optimiser la recherche d'information sur le web. *Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, 15(1), 21.
- Dommes, A., Chevalier, A., & Lia, S. (2011). The role of cognitive flexibility and vocabulary abilities of younger and older users in searching for information on the web. *Applied Cognitive Psychology*, 25(5), 717–726.
- Eppinger, B., Kray, J., Mecklinger, A., & John, O. (2007). Age differences in task switching and response monitoring: Evidence from ERPs. *Biological Psychology*, 75(1), 52-67.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198.
- Fonseca, B. M., Golgher, P. B., De Moura, E. S., Pôssas, B., & Ziviani, N. (2003). Discovering search engine related queries using association rules. *Journal of Web Engineering*, 2(4), 215-227.
- Ingwersen, P., & Järvelin, K. (2005, December). Information retrieval in context: IRiX. In ACM SIGIR forum (Vol. 39, No. 2, pp. 31e39). ACM.
- Jansen, B. J., Booth, D. L., & Spink, A. (2009). Patterns of query reformulation during Web searching. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 60(7), 1358-1371.
- Jonassen, D., & Erdelez, S. (2005). Teachers' perceptions about usability of a case library. *Journal of Computing in Teacher Education*, 22(2), 67-74.
- Kelly, D., Gyllstrom, K., & Bailey, E. W. (2009, July). A comparison of query and term suggestion features for interactive searching. In *Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval* (pp. 371-378). ACM.
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352.
- Kitajima, M., & Toyota, M. (2012). Simulating navigation behaviour based on the architecture model Model Human Processor with Real-Time Constraints (MHP/RT). *Behaviour & Information Technology*, 31(1), 41-58.
- Liu, P., & Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42, 553-568.
- Marchionini, G. (1989). Information-seeking strategies of novices using a full-text electronic encyclopedia. *Journal of the American Society for Information Science*, 40(1), 54.
- Martinsky, L., & Navrat, P. (2012). Query formulation improved by suggestions resulting from intermediate web search results. *Computing and Information System*, 16(1), 56-73.
- Matsuda, Y., Uwano, H., Ohira, M., & Matsumoto, K. I. (2009, July). *An analysis of eye movements during browsing multiple search results pages*. In International

- Conference on Human-Computer Interaction (p. 121-130). Springer Berlin Heidelberg.
- Mead, S. E., Spaulding, V. A., Sit, R. A., Meyer, B., & Walker, N. (1997, October). *Effects of age and training on World Wide Web navigation strategies*. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Vol. 41, No. 1, p. 152-156. SAGE Publications
- Meadow, C. T., Hewett, T. T., & Aversa, E. S. (1982). A computer intermediary for interactive database searching. I. Design. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 33(5), 325-332.
- Mellor, D., Firth, L., & Moore, K. (2008). Can the Internet Improve the Well-being of the Elderly? *Ageing international*, 32(1), 25-42.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100.
- Monchaux, S., Amadiou, F., Chevalier, A., & Mariné, C. (2015). Query strategies during information searching: Effects of prior domain knowledge and complexity of the information problems to be solved. *Information Processing & Management*, 51(5), 557-569.
- Muramatsu, J., & Pratt, W. (2001, September). *Transparent Queries: investigation users' mental models of search engines*. In Proceedings of the 24th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (p. 217-224). ACM.
- Odiijk, D., White, R. W., Hassan Awadallah, A., & Dumais, S. T. (2015, October). *Struggling and success in web search*. In Proceedings of the 24th ACM International on Conference on Information and Knowledge Management (p. 1551-1560). ACM.
- Pak, R., & Price, M. M. (2008). Designing an information search interface for younger and older adults. *Human Factors*, 50, 614–628. doi: 10.1518/001872008X3123140
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, 103(3), 403.
- Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132(4), 566.
- Sanchiz, M., Chevalier, A., & Amadiou, F. (2017). How do older and young adults start searching for information? Impact of Age, Domain Knowledge and Problem Complexity steps of Information Searching. *Computers in Human Behavior*, 72, 67–78. doi: 10.1016/j.chb.2017.02.038
- Sanchiz, M., Chin, J., Chevalier, A., Fu, W. T., Amadiou, F., & He, J. (2017). Searching for information on the web: Impact of cognitive aging, prior domain knowledge and complexity of the search problems. *Information Processing and Management*, 53(1), 281-294. doi: 10.1016/j.ipm.2016.09.003
- Sharit, J., Hernández, M. A., Czaja, S. J., & Pirolli, P. (2008). Investigating the roles of knowledge and cognitive abilities in older adult information seeking on the web. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(1), 3.
- Smith, C. L., Gwizdka, J., & Feild, H. (2017). The use of query auto-completion over the course of search sessions with multifaceted information needs. *Information Processing & Management*, 53(5), 1139-1155.
- Spreen, O., & Strauss, E. (1998). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. Oxford University Press.
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4), 295-312.

- Teevan, J., Alvarado, C., Ackerman, M. S., & Karger, D. R. (2004, April). *The perfect search engine is not enough: a study of orienteering behavior in directed search*. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (p. 415-422). ACM.
- Thayer, S. E., & Ray, S. (2006). Online communication preferences across age, gender, and duration of Internet use. *CyberPsychology & Behavior*, 9(4), 432-440.
- Wagner, N., Hassanein, K., & Head, M. (2014). The impact of age on website usability. *Computers in Human Behavior*, 37, 270-282.
- Wildemuth, B., Freund, L., & Toms, E. (2013, June). *Designing known-item and fact-finding search tasks for studies of interactive information retrieval*. In Proceedings of the second association for information science and technology ASIS&T (European Workshop) (p. 131-162).
- Xie, B. (2008). Multimodal Computer-Mediated Communication and Social Support among Older Chinese Internet Users. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 13(3), 728-750.

8. Appendix

Table 5: Main effect of complexity

	<i>F</i> (2,88)	<i>p</i>	η^2_p	Post hoc Bonferroni <i>p</i>
Percentage of correct answers	74.39	.001	.63	Simple > Inferential and Multicriteria ($p < .001$) Inferential > Multicriteria ($p < .001$)
Nb of click on tool	105.53	.001	.81	Simple < Inferential ($p < .001$) Inferential > Multicriteria ($p < .001$)
Nb of fixations (global activity)	14.58	.001	.37	Simple < Inferential and Multicriteria ($p < .001$)
Nb of fixations on websites	13.46	.001	.35	Simple < Inferential and Multicriteria ($p < .001$)
Nb of fixations on the initial webpages opened up	4.06	.04	.10	Multicriteria > simple ($p < .01$)
Nb of queries	36.50	.001	.45	Simple < Inferential and Multicriteria ($p < .001$)
Time spent on Google	63.65	.001	.58	Simple < Inferential and Multicriteria ($p < .001$) Inferential < Multicriteria ($p = .05$)
Time spent on websites	137.57	.001	.75	Inferential < Multicriteria and simple ($p < .001$) Simple < Multicriteria ($p < .001$)
Time spent on the first SERP	3.28	.04	.07	Simple < Multicriteria ($p < .06$)
Time spent on the initial webpages	.89	ns		
Level of exploitation of the initial query produced	4.41	.02	.09	Simple < Multicriteria ($p < .02$)

Chapitre 11 : Synthèse de la partie empirique : méta-analyse et investigations du rôle des habiletés cognitives fluides et cristallisées investiguées sur la RI Effets de l'âge du domaine de connaissances et de la complexité des tâches

La présente thèse avait pour premier objectif d'investiguer les effets de l'âge et des ressources apportées par les connaissances antérieures (chez les utilisateurs jeunes et plus âgés) en RI. Nous avions pour hypothèses que les adultes plus âgés devraient avoir de moins bonnes performances, plus de difficultés à reformuler leurs requêtes, à analyser les pages de résultats du moteur de recherche et à élaborer des chemins de navigation par rapport aux adultes jeunes (Aula *et al.*, 2010 ; Chevalier *et al.*, 2015 ; Chin *et al.*, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Sharit *et al.*, 2008). Les connaissances antérieures devraient particulièrement soutenir l'activité de RI des âgés en améliorant la performance, les stratégies de reformulation et de navigation élaborées (Chevalier *et al.*, 2015 ; Salthouse *et al.*, 2008) ; alors que la complexité des questions de recherche devrait augmenter les difficultés des utilisateurs plus âgés.

Pour rappel, les précédents chapitres consacrés aux 4 expérimentations conduites pour ce travail de thèse tendent à confirmer que les utilisateurs plus âgés ont plus de difficultés à produire et reformuler leurs requêtes ainsi qu'à analyser les pages du moteur de recherche. Les études 1 et 2 ont identifié que les adultes âgés reformulaient moins, produisaient moins de nouveaux mots clés (résultat aussi observé dans l'étude 3) et utilisaient plus de mots clés issus des énoncés des problèmes de RI que les adultes jeunes. Par ailleurs, l'étude 4 a montré que les âgés nécessitent plus de temps pour reformuler leurs requêtes que les jeunes. Ces difficultés sont apparues dès le début de l'activité de RI, pour la requête initiale produite (étude 2). En outre, nos quatre études ont également souligné que les utilisateurs plus âgés passent davantage de temps que les jeunes à évaluer les résultats du moteur de recherche, et ce, dès la première page de résultats consulté. Par ailleurs, les connaissances antérieures semblent permettre aux adultes plus âgés de compenser certaines difficultés et les aident à produire des requêtes sémantiquement plus pertinentes (étude 1), contenant autant de nouveaux mots clés que les jeunes (étude 2), moins de mots clés issus des énoncés des questions de recherche (étude 1) et à analyser la première page de résultats du moteur de recherche (étude 2).

Afin de vérifier la robustesse des effets observés dans chacune de nos études individuellement, la première partie de chapitre (12.1) rapportera les résultats d'analyses groupées réalisées sur l'ensemble des données des 4 études (ANOVAS mixtes dont le numéro d'étude est intégré au modèle en tant que variable contrôlée) sur les principales VD liées à la formulation des requêtes,

la navigation depuis les pages du moteur de recherche et la performance. La variable indépendante « domaine de connaissances » comprend les données des études 1, 2 et 3 : sont assemblées sous la modalité « domaine favorable aux adultes jeunes » les domaines manga et films fantastiques, alors que la modalité « domaine favorable aux plus âgés comprend le domaine santé. Puisque nous n'avons pas évalué le niveau de connaissances antérieures sur les problèmes de RI de l'expérience 4 qui comprenait plusieurs domaines différents, les analyses investiguant les effets de l'interaction entre âge et domaine de connaissances ne contiennent pas les données de l'expérience 4.

La deuxième partie de ce chapitre (12.2) explorera les effets des habiletés cognitives fluides (flexibilité, vitesse de traitement et rafraichissement en MDT), cristallisées (connaissances, vocabulaire) et du SAE en RI sur l'ensemble de nos données (corrélations de Pearson). Enfin, la dernière partie de ce chapitre (12.3) discutera des résultats observés au regard de la revue de littérature réalisée.

11.1 Méta-Analyse

11.1.1 Résultats des analyses groupées sur les activités de formulation et reformulation de requêtes

Tableau 6: résultats de l'analyse groupée conduite sur l'ensemble de nos études pour les activités de production et reformulation de requêtes dans les quatre expérimentations (A= âgés, J= jeunes).

	Nombre de requêtes	Nombre de mots clés issus des problèmes	Nombre de nouveaux mots clés	Requête initiale : nouveaux mots clés	Requête initiale : mots clés issus des questions
Age	ns	A > J [^]	A < J [^]	ns	ns
Age x Domaine	ns	ns	ns	ns	ns
Age x Complexité	Multicritères : A<J *	ns	Multicritères : A<J *	ns	Simple : A<J *

*** $p < .001$ ** $p < .01$ * $p < .05$ [^] $p < .06$

Effets de l'âge sur la formulation et reformulation de requêtes

Comme l'illustre le tableau 6 ci-dessus, les âgés tendent à produire moins de nouveaux mots clés ($F(1,121) = 3.48, p = .06, \eta^2_p = .03$; respectivement $M = 1.03 SD = .10$ contre $M = 1.28 SD = .09$) et à utiliser plus de mots clés issus des questions de recherche que les jeunes ($F(1,121) = 3.66, p < .06, \eta^2_p = .03$; respectivement $M = 4.23 SD = .19$ contre $M = 3.72 SD = .19$). Aucun

autre effet significatif de l'âge n'est apparu sur le nombre de requêtes produites et sur la première requête formulée par les participants ($p = ns$).

Interactions entre âge et domaine de connaissances sur la formulation et reformulation de requêtes

Aucune interaction entre âge et domaine de connaissances n'a été significative sur les cinq VD liées à la reformulation investiguées ($p = ns$).

Interactions entre âge et complexité des questions de recherche sur la formulation et reformulation de requêtes

Deux interactions intéressantes entre l'âge et la complexité des questions sont apparues sur le nombre de requêtes et de nouveaux mots clés produits (respectivement $F(1,120) = 3.70, p < .03, \eta^2_p = .03$ et $F(1,120) = 4.41, p = .02, \eta^2_p = .04$). Dans les problèmes de recherche multicritères (*i.e.* problèmes qui exigeaient des participants d'explorer davantage de pages web pour trouver une bonne réponse remplissant plusieurs critères) les adultes plus âgés formulaient moins de requêtes ($p < .03$) et moins de nouveaux mots clés que les jeunes ($p < .02$). Alors qu'aucun effet de l'âge n'est apparu dans les problèmes de RI simples ou inférentiels pour ces deux VD ($p = ns$). Au niveau de la requête initiale produite par les participants, l'interaction entre âge et complexité sur le nombre de nouveaux mots clés produits ($F(1,120) = 3.34, p < .04, \eta^2_p = .04$) a également montré que dans les questions simples, les âgés produisaient moins de nouveaux mots clés que les jeunes ($p < .01$) ; alors qu'aucun effet de l'âge n'est apparu dans les questions inférentielles et multicritères ($p = ns$).

11.1.2. Résultats des analyses groupées sur la navigation depuis un moteur de recherche

Tableau 7: résultats de l'analyse groupée conduite sur l'ensemble de nos études pour la navigation depuis un moteur de recherche dans les 4 expérimentations (A= âgés, J= jeunes).

	Temps passé sur Google	Temps passé sur sites	Nombre liens ouverts depuis Google	Nombre sites web différents visités	Temps sur 1 ^{ère} page Google
Age	A>J**	A > J*	A > J *	ns	A > J**
Age x Domaine	ns	ns	Santé : A<J*	Santé : A<J **	ns
Age x Complexité	ns	.08	ns	ns	ns

*** $p < .001$ ** $p < .01$ * $p < .05$

Effets de l'âge sur la navigation depuis les pages du moteur de recherche

Les résultats ont confirmé les observations relevées dans nos différentes études sur le temps passé à analyser les pages du moteur de recherche (voir tableau 7 ci-dessus). Les âgés passaient

significativement plus de temps sur les pages du moteur de recherche ($F(1,117) = 9.42, p < .01, \eta^2_p = .08$ âgés : $M_{sec} = 194.79 SD = 21.53$ jeunes : $M_{sec} = 102.83 SD = 18.96$) ainsi que sur les pages web recherche ($F(1,119) = 4.87, p < .03, \eta^2_p = .04$ âgés : $M_{sec} = 215.63 SD = 16.67$ jeunes : $M_{sec} = 164.64 SD = 14.68$). En outre, les adultes plus âgés passaient également plus de temps à examiner la première page de résultats du moteur de recherche ($F(1,117) = 11.90, p < .001, \eta^2_p = .09$ âgés : $M_{sec} = 79.45 SD = 6.59$ jeunes : $M_{sec} = 47.77 SD = 4.04$). Aucun effet significatif de l'âge n'est apparu sur le nombre de sites web différents consultés ($p = ns$).

Interactions entre âge et domaine de connaissances sur la navigation depuis les pages du moteur de recherche

Deux interactions significatives sont apparues sur le nombre de liens ouverts depuis les pages du moteur de recherche ($F(1,123) = 4.42, p < .04, \eta^2_p = .04$) et le nombre de sites web différents ($F(1,123) = 6.38, p = .01, \eta^2_p = .05$) consultés par les participants. Dans le domaine santé, les adultes âgés ouvraient moins de liens depuis le moteur de recherche que les jeunes ($p < .02$ respectivement $M = 2.41 SD = .29$ contre $M = 3.42 SD = .28$) et visitaient moins de sites web différents ($p < .03$ respectivement $M = 1.49 SD = .15$ contre $M = 1.94 SD = .14$). Alors que dans le domaine films/manga, aucun effet de l'âge n'est apparu ni sur le nombre de liens ouverts depuis Google ($p = ns$ respectivement $M = 2.66 SD = .29$ contre $M = 2.93 SD = .23$), ni sur le nombre de sites web ($p = ns$ respectivement $M = 1.46 SD = .11$ contre $M = 1.40 SD = .11$). Il est cependant important de bien noter que ces effets s'expliquent vraisemblablement par une plus grande difficulté des adultes jeunes dans le domaine santé qui, avec de moins bonnes connaissances antérieures ouvraient plus de liens et visitaient plus de sites web différents que dans le domaine films/mangas. En effet, des analyses complémentaires (test t sur groupes appariés, fichier de données *splitté* par groupes d'âge) vérifient bien cette hypothèse : les jeunes ouvraient plus de liens et de sites web en santé qu'en manga/films (respectivement $t(63) = 1.89, p < .06$ et $t(63) = -3.57, p < .001$) alors qu'aucune différence n'est observée chez les âgés entre le domaine manga/films et santé (respectivement $t(60) = 1.06, p = ns$ et $t(60) = -.20, p = ns$). Aucune interaction entre l'âge et le domaine de connaissances n'a été observée sur le nombre de sites web consultés.

Interactions entre âge et complexité des questions de recherche sur la navigation et le traitement des pages du moteur de recherche

Aucune interaction entre âge et domaine de connaissances n'a été significative sur les 7 VD liées à la navigation ($p = ns$).

11.1.3. Résultats des analyses groupées sur la performance

Tableau 8: résultats de l'analyse groupée conduite sur l'ensemble de nos études pour la performance dans les 4 expérimentations (A= âgés, J= jeunes).

	Pourcentage de bonnes réponses trouvées	Temps de complétion
Age	A<J **	A<J **
Age x Domaine	Mangas/films : A<J *	ns
Age x Complexité	ns	ns

*** $p < .001$ ** $p < .01$ * $p < .05$

Effets de l'âge sur la performance

Les ANOVAS mixtes réalisées sur l'ensemble de nos données ont montré que les âgés avaient de moins bonnes performances que les jeunes. Ils trouvaient moins de bonnes réponses ($F(1,121) = 5.51, p = .02, \eta^2_p = .04$; âgés : $M\% = 76.23 SD = 3.9$ jeunes : $M\% = 85.1 SD = 3.8$) et mettaient plus de temps pour parvenir aux bonnes réponses ($F(1,122) = 5.70, p < .03, \eta^2_p = .05$; voir tableau 8).

Interactions entre âge et domaine de connaissances sur la performance

Une interaction significative est apparue entre l'âge et le domaine de connaissances sur le nombre de bonnes réponses trouvées ($F(1,117) = 5.39, p < .02, \eta^2_p = .04$). Les âgés trouvent significativement moins de bonnes réponses dans les domaines favorables aux adultes jeunes ($p = .02$ âgés : $M\% = 74.6 SD = 6.1$ jeunes : $M\% = 94.3 SD = 5.9$) alors que dans le domaine santé (pour lequel les âgés avaient de plus fortes connaissances antérieures), aucun effet de l'âge n'est apparu ($p = ns$ âgés : $M\% = 71.0 SD = 5.7$ jeunes : $M\% = 75.0 SD = 5.5$). En lien avec l'interaction observée sur le nombre de sites web différents consultés, l'absence d'effet de l'âge sur la performance en santé n'est vraisemblablement pas due à une meilleure mobilisation des connaissances antérieures par les âgés, mais plutôt à la baisse de performance des jeunes dans le domaine santé. En effet, le domaine santé était sûrement plus complexe que le domaine favorable aux adultes jeunes (les performances étaient significativement moins bonnes en santé que dans les domaines films/mangas: $F(1,122) = 8.88, p < .01, \eta^2_p = .07$). Ainsi, les connaissances en santé ont probablement aidé les adultes âgés à maintenir un niveau de performance plutôt stable à l'inverse des jeunes, qui, en l'absence de connaissances antérieures solides, ont eu plus de difficultés à trouver les bonnes réponses que dans le domaine films/manga. Des analyses complémentaires (test t sur groupes appariés, fichier de données *splitté* par groupes d'âge) vérifient bien cette hypothèse : les jeunes avaient de moins bonnes

performance en santé qu'en manga/films ($t(63) = 3.67, p < .001$) alors qu'aucune différence n'est apparue chez les âgés ($t(60) = .62, p = ns$)

Interactions entre l'âge et la complexité des questions de recherche sur la performance

L'interaction significative entre l'âge et la complexité des questions n'a pas été significative ($p = ns$).

11.2 Effets des fluides et cristallisées en RI

11.2.1 Résultats préliminaires sur les habiletés fluides des participants jeunes et âgés

Tableau 9 : Statistiques descriptives des habiletés cognitives fluides investiguées : résultats des tests t de Student, (Moyennes et (écarts-types))

	Adultes jeunes	Adultes âgés
Flexibilité cognitive : TMT B (temps en secondes) (N = 132)	58.68 (26.28) ***	76.61 (42.12)
Flexibilité cognitive : TMT B (nombre de bons mouvements) (N = 132)	22.13 (.73) **	20.65 (4.15)
Vitesse de traitement : Comparaison XO (N = 121)	29.10 (5.72) ***	23.77 (6.51)
Rafraîchissement en MDT : n-back (N = 48)	23.03 (2.81)	23.43 (2.50)

Test t , *** $p < .001$ ** $p < .01$ * $p < .05$

Les analyses effectuées (voir tableau 9) ont confirmé que les adultes âgés avaient un moins bon niveau de flexibilité cognitive au regard du bon nombre de mouvements qu'ils ont réalisé à l'épreuve du TMT B ($t(132) = 3.07, p < .01$) et de vitesse de traitement ($t(121) = 4.82, p < .001$) par rapport aux adultes jeunes. En revanche, aucune différence significative n'a été observée sur le niveau de mise à jour en MDT (étude 4 uniquement : ($t(44) = -.45, p = ns$).

11.2.2 Résultats préliminaires sur les habiletés cristallisées des participants jeunes et âgés

Tableau 10 : Statistiques descriptives des habiletés cristallisées investiguées : résultats des tests t de Student, (Moyennes et (écarts-types))

	Adultes jeunes	Adultes âgés
Connaissances antérieures domaine favorable aux jeunes (<i>i.e.</i> manga/films fantastiques %) (N = 124)	58.03 (20.25) ***	44.00 (22.26)
Connaissances antérieures domaine santé (%) (N = 124)	38.49 (18.50) ***	52.50 (21.60)
Vocabulaire : Mill Hill (N = 171)	30.64 (14.98) *	37.14 (19.94)
SAE (général) (maximum = 4) (N = 132)	2.91 (.46) *	2.60 (.51)
SAE (utilisation des nouvelles technologies) (maximum = 4) (N = 132)	3.91 (1.46)	4.03 (1.76)
SAE (capacités d'adaptations) (maximum = 4) (N = 132)	4.25 (1.43)	4.03 (1.76)
SAE (élaboration de stratégies de recherche sur Internet) (maximum = 4) (N = 132)	2.95 (.52)	2.75 (.61)

Test t , *** $p < .001$ ** $p < .01$ * $p < .05$

Les analyses effectuées ont montré que les âgés avaient un niveau significativement plus élevé de vocabulaire ($t(171) = -2.45, p < .02$), de connaissances antérieures sur le domaine santé ($t(132) = -3.92, p < .001$) et un niveau de connaissances antérieures plus faible sur le domaine favorable aux adultes plus jeunes ($t(132) = 3.71, p < .001$) (voir Tableau 10 ci-dessus).

Les études 2, 3 et 4 effectuées pendant ce travail de thèse ont également investigué le sentiment d'auto-efficacité (SAE) en recherche d'informations des utilisateurs *via* l'échelle de Rodon et Meyer (2012, 2016, 2017). Nous avons complété cette échelle de 10 items (voir annexe 7, p. 274) par 2 items supplémentaires pour investiguer 3 dimensions du SAE en RI:

- **Le SAE dans l'utilisation des nouvelles technologies** (items que nous avons produits)

Cette dimension comprend les 2 items ($\alpha = .93$): « *je me sens bien à l'idée d'utiliser un ordinateur* » et « *je suis à l'aise à l'idée d'utiliser les nouvelles technologies* »

- **Le SAE dans la capacité à s'adapter en RI**

Cette dimension comprend les 5 items suivants ($\alpha = .96$):

« *J'ai la certitude de pouvoir faire face de manière efficace à des résultats inattendus quand j'interroge Internet* », « *Grâce à mes compétences, je sais m'ajuster à l'imprévu lorsque je consulte Internet* », « *Je reste serein(e) quand la recherche d'information sur Internet devient difficile car je peux compter sur mes capacités d'adaptation* », « *Si je suis «coincé(e)»* », « *je sais appliquer une nouvelle méthode de recherche pour poursuivre* », « *Quels que soient les imprévus que je rencontre au cours d'une recherche sur Internet, je suis capable de réagir efficacement* »

- **Le SAE dans la capacité à élaborer et mettre en œuvre des stratégies de recherche**

Cette dimension comprend les 5 items suivants ($\alpha = .75$):

« *Je peux trouver n'importe quelle information sur Internet si je persévère* », « *Si je rencontrais quelque difficulté à trouver une information sur Internet, je suis certain(e) de pouvoir mettre en œuvre une nouvelle stratégie de recherche* », « *Lorsque je consulte Internet, il est facile pour moi de me tenir à mon objectif de recherche et de l'atteindre* », « *Je peux résoudre la majorité des difficultés rencontrées au cours d'une consultation sur le Web si je fais l'effort nécessaire* », « *Quand je suis confronté(e) à des réponses négatives suite à une requête sur Internet, je peux trouver plusieurs nouvelles stratégies* ».

Les résultats ont montré que pour l'ensemble des 12 items ($\alpha = .90$) les adultes plus âgés ont un SAE en RI plus faible que les jeunes ($t(125) = 2.00, p = .05$). Mais aucune des trois dimensions investiguées plus en profondeur n'a fait état de différences significatives entre les adultes jeunes et plus âgés ($p = ns$).

11.2.3 Investigations sur l'impact des habiletés fluides, cristallisées et du SAE en RI sur l'activité

Le travail de recherche mené dans cette thèse avait pour ambition d'analyser finement comment certaines variables cognitives, sensibles à l'avancée en âge, influencent l'activité de RI des utilisateurs jeunes et plus âgés. Pour raffiner notre analyse sur l'impact du déclin de la flexibilité, de la vitesse de traitement et de la mise à jour en MDT ainsi que des ressources apportées par les habiletés cristallisées (*i.e.* connaissances antérieures et vocabulaire) et du SAE en RI, nous avons conduit des analyses de corrélations sur l'ensemble des données de toutes nos études. La figure 9 ci-dessous représente schématiquement les corrélations significatives observées entre ces variables et l'activité de RI avec un moteur de recherche.

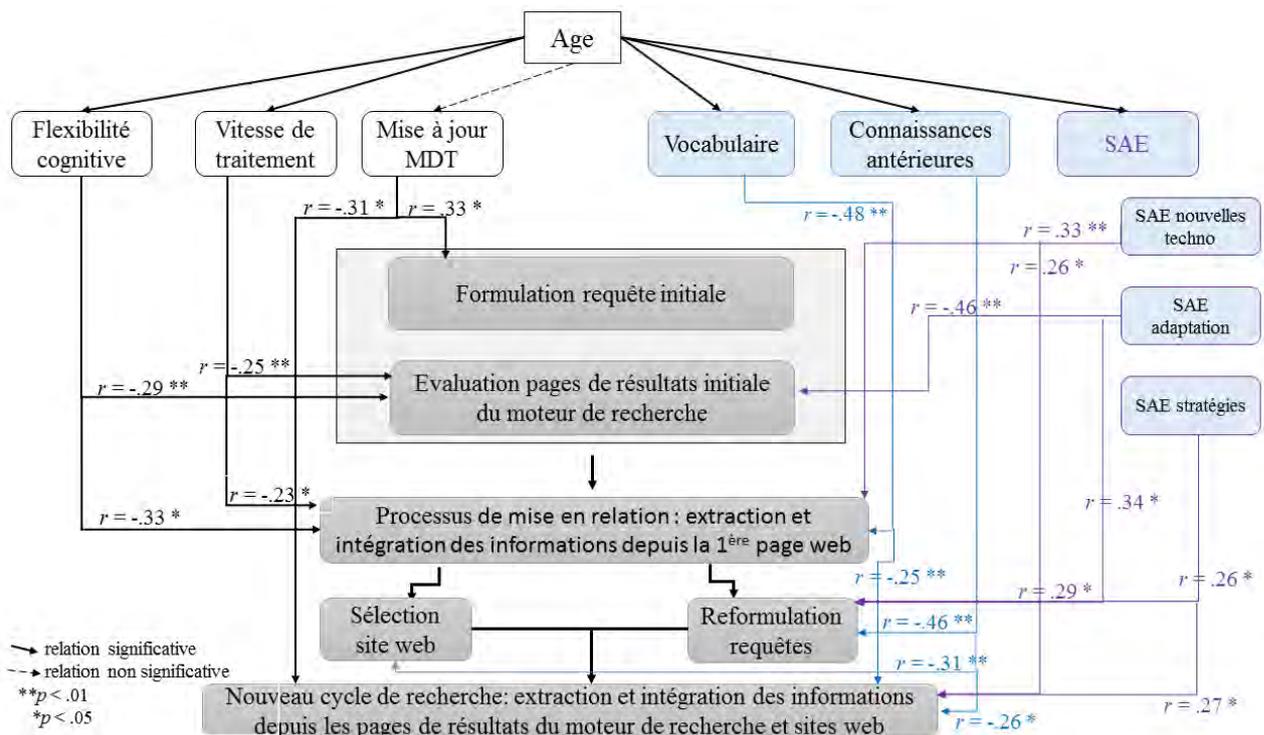


Figure 9 : Schémas des corrélations entre habiletés fluides et cristallisées et SAE sur l'activité de RI avec moteur de recherche

11.2.3.1 Impact du déclin des habiletés cognitives fluides investiguées sur la RI

Nos résultats ont montré que les habiletés cognitives fluides impactaient principalement la première phase de la RI : la première requête initialement formulée, la première page de résultats du moteur de recherche et la première page web consultée.

Résultats significatifs sur la première requête produite

Plus les utilisateurs avaient un niveau de mise à jour en MDT élevé, plus ils produisaient de nouveaux mots clés (*i.e.* inférés depuis leurs connaissances antérieures) dans leur requête initiale ($r = .33, p = .02$).

Résultats significatifs sur la première page de résultats du moteur de recherche et la première page web

Plus les utilisateurs avaient un niveau de flexibilité cognitive et de vitesse de traitement fort, moins ils passaient de temps à traiter la première page de résultats du moteur de recherche (respectivement $r = -.29, p < .01$ et $r = -.25, p < .01$) et à traiter la première page web ouverte (respectivement $r = -.18, p < .04$ et $r = -.23, p = .03$).

Résultats significatifs sur l'activité globale

Les analyses ont montré peu d'effet des variables cognitives fluides sur l'activité globale. Seul un fort niveau de mise en jour en MDT réduisait le nombre de liens ouverts depuis le moteur de recherche ($r = -.29, p < .05$) et le temps passé sur des sites web ($r = -.31, p < .04$).

11.2.3.2 Impact des habiletés cognitives cristallisées et du SAE

A l'inverse des résultats présentés sur l'influence des habiletés cognitives fluides, les habiletés cristallisées tendaient à impacter l'ensemble de l'activité (et moins la phase initiale de la RI). Les résultats présentés dans la figure 9 ci-dessus rendent compte des relations significatives entre les connaissances antérieures, le niveau de vocabulaire et le SAE chez l'ensemble des participants.

Résultats significatifs sur la première phase de la RI : requête initiale, première page de résultats et première page web

Aucun résultat significatif n'est apparu sur la première requête produite. Plus les utilisateurs avaient un SAE sur la capacité à s'adapter face aux imprévus en RI fort, moins ils passaient de

temps à analyser la première page de résultats du moteur de recherche ($r = -.46, p < .01$). De même, un fort SAE sur la capacité à utiliser les nouvelles technologies ainsi que de solides habiletés de vocabulaire réduisaient le temps passé à examiner la première page web consultée (respectivement $r = -.33, p < .001$ et $r = -.48, p < .001$).

Résultats significatifs sur l'activité globale : reformulations des requêtes

Les analyses ont montré que plus les utilisateurs avaient des connaissances antérieures solides, moins ils reformulaient leurs requêtes (*i.e.* ils produisaient moins de requêtes différentes) et moins ils utilisaient de mots clés issus des questions de recherche (respectivement $r = -.46, p < .001$ et $r = -.29, p < .01$). À l'inverse, plus les participants avaient une SAE élevée dans les trois dimensions, plus ils reformulaient leurs requêtes (respectivement $r = .29, p = .01$ et $r = .34, p = .01$ et $r = .26, p = .02$).

Résultats significatifs sur l'activité globale : navigation depuis le moteur de recherche

En lien avec les patterns de résultats observés sur les activités de formulation, les analyses ont montré que plus les participants avaient de connaissances antérieures, moins ils ouvraient de liens depuis le moteur de recherche et moins ils visitaient de pages web différentes (respectivement $r = -.31, p < .01$ et $r = -.26, p = .02$). Plus les utilisateurs avaient un SAE élevé dans la capacité à utiliser les nouvelles technologies et à élaborer des stratégies de recherche pertinentes pour rechercher de l'information, plus ils visitaient de pages web différentes (respectivement $r = .23, p < .04$ et $r = .27, p < .02$).

Points à retenir

Les corrélations rapportées ci-dessus permettent donc de rendre compte du rôle crucial des habiletés fluides dans la phase initiale de la RI. Le déclin de la flexibilité, de la vitesse de traitement et de la mise à jour en MDT semblent bien pouvoir, en partie au moins, expliquer pourquoi les âgés tendent à passer plus de temps à traiter la première page de résultats du moteur de recherche et la première page web. En outre, le déclin de la mise à jour en MDT semble également pouvoir rendre compte des difficultés des âgés à explorer une plus grande partie de l'espace-problème abordé par la tâche de recherche. À l'inverse, les habiletés cristallisées impactent davantage les étapes suivantes de l'activité de RI. Des connaissances antérieures solides et un vocabulaire riche réduisent le nombre de requêtes (en soutenant probablement la production de requêtes sémantiquement plus précises et fructueuses, ce qui

à terme, nécessitent moins de reformulations). A l'inverse, un SAE en RI élevé supporte davantage d'exploration (*i.e.* ouverture de plus de pages web par exemple).

11.3 Impact des habiletés cognitives chez les utilisateurs âgés

Ce paragraphe propose une rapide exploration de l'impact des habiletés fluides et cristallisées spécifique aux utilisateurs plus âgés (*i.e.* corrélations significatives entre les habiletés cognitives fluides et cristallisées et les activités de RI qui apparaissent uniquement dans le groupe de participants âgés). Ces résultats sont exploratoires, de plus amples analyses (de médiation notamment) sont nécessaires.

Les analyses ont montré que plus les adultes âgés ont un niveau de flexibilité cognitive élevé, plus ils obtenaient de meilleures performances (*i.e.* nombre de bonnes réponses trouvées $r = .37$, $p = .03$). En début de recherche, de solides connaissances antérieures aidaient les utilisateurs âgés à produire plus de nouveaux mots clés dans leur requête initiale ($r = .51$, $p < .03$) et à utiliser moins de mots clés issus des problèmes de RI ($r = -.56$, $p = .01$). Au niveau de l'activité globale, de bonnes connaissances antérieures ont réduit le nombre de reformulations et de mots clés provenant des problèmes de RI dans les requêtes (respectivement $r = -.53$, $p = .001$ et $r = -.48$, $p = .01$). Enfin, un niveau de vocabulaire plus riche réduisait le temps passé à traiter les pages de résultats du moteur de recherche ($r = -.36$, $p < .01$), augmentait le nombre de pages web visitées ($r = .40$, $p < .001$) et augmentait le nombre de liens ouverts depuis les pages du moteur de recherche ($r = .31$, $p < .01$).

PARTIE 3 DISCUSSION, CONCLUSION ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Chapitre 12 Discussion

La première partie de ce chapitre propose une synthèse des principaux résultats observés dans nos travaux de recherche puis les confronte à la revue de littérature réalisée pour en dégager les principaux apports empiriques. Dans un second temps, une discussion plus générale posera les bases d'un nouveau modèle de la RI avec moteur de recherche qui présente les effets de l'évolution avec l'âge de certaines fonctions cognitives sur l'activité des utilisateurs plus âgés.

Rappel des objectifs et des principales hypothèses.

La première partie du présent travail de thèse avait pour objectif d'étudier comment l'avancée en âge et les connaissances sur le domaine (*i.e.* connaissances thématiques) impactent les interactions avec un moteur de recherche pour rechercher de l'information et dans des tâches de complexité variée. La seconde partie du travail de recherche investiguait comment deux dispositifs d'aide à la RI (par pré-activation des connaissances antérieures et par soutien au maintien du but de recherche en MDT) peuvent aider les utilisateurs plus âgés à répondre aux exigences de l'activité de RI et améliorer les stratégies de recherche. Conformément aux travaux empiriques sur les effets du vieillissement en RI, nous avons pour hypothèses que les adultes plus âgés devraient avoir de moins bonnes performances, davantage de difficultés que les jeunes à produire et reformuler leurs requêtes, à analyser les pages de résultats du moteur de recherche et à naviguer dans des sites web que les jeunes (Aula *et al.*, 2010 ; Chevalier *et al.*, 2015 ; Chin *et al.*, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Sharit *et al.*, 2008). Les connaissances antérieures devraient permettre de soutenir l'activité de RI des âgés : améliorer la performance et les stratégies de reformulation et de navigation élaborées (Chevalier *et al.*, 2015 ; Salthouse *et al.*, 2008). Les difficultés des âgés devraient être plus fortes pour les problèmes de recherche plus complexes qui mobilisent davantage de ressources cognitives.

12.1 Discussion des principaux résultats

12.1.1 Discussion des effets du vieillissement cognitif et des connaissances antérieures sur les activités de production et reformulation de requêtes en RI avec moteur de recherche

Dans l'ensemble, les résultats de nos travaux valident les effets connus du vieillissement cognitif en RI sur la reformulation des requêtes (Chevalier *et al.*, 2015 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Sharit *et al.*, 2008). Les utilisateurs plus âgés peuvent rencontrer plus de difficultés que les jeunes pour développer des stratégies de reformulation élaborées (*i.e.* ils produisent moins de nouveaux mots clés et utilisent plus de mots clés issus des problèmes de recherche). Ces difficultés peuvent en outre s'accroître lorsque les tâches sont plus coûteuses sur le plan cognitif et exigent des utilisateurs de naviguer dans davantage de pages web. En effet, dans les problèmes de RI multicritères, (*i.e.* qui exigent de traiter une plus grande quantité d'informations, de naviguer dans des pages web pour trouver une réponse remplissant plusieurs critères), les adultes plus âgés produisaient moins de requêtes et moins de nouveaux mots clés que les jeunes.

Les activités de reformulation requièrent des utilisateurs qu'ils récupèrent en MDT le fruit des opérations cognitives précédentes (*i.e.* du but de recherche et des différents sous-buts élaborés, des mots clés produits auparavant, des informations pertinentes recueillies au fil de l'activité *etc*) et qu'ils réalisent de nouvelles opérations cognitives pour changer le contenu de leur requête (*e.g.* inférences ou récupération de connaissances antérieures). Ces résultats semblent montrer que les adultes plus âgés ne disposent pas de suffisamment de ressources cognitives pour faire face à ces exigences et élaborer des stratégies de reformulation riches. En d'autres termes, moins les utilisateurs âgés ont de ressources disponibles en MDT, moins ils développent des stratégies de reformulation élaborées (*i.e.* basées sur des changements importants de mots-clés). Toutefois, nos résultats sur l'impact des habiletés fluides en RI ne permettent pas de conforter les résultats observés dans d'autres travaux empiriques (Dommes *et al.*, 2011 ; Sharit *et al.*, 2008). En effet, la flexibilité cognitive, la vitesse de traitement et le rafraichissement en MDT ne sont pas corrélés significativement aux activités de reformulation. Ainsi, contrairement au modèle de Sharit et ses collaborateurs (2008), nos travaux semblent montrer que le déclin des habiletés fluides pourrait avoir un effet plutôt indirect sur la reformulation des requêtes. Nous développerons dans la discussion générale une piste d'explication pouvant

rendre compte du rôle déclin des habiletés fluides sur la gestion (et la quantité) de ressources cognitives disponibles en MDT en RI.

Si nos résultats ne semblent pas soutenir les postulats montrant un effet direct des habiletés fluides sur les stratégies de reformulation des requêtes, nos travaux tendent à soutenir le rôle compensatoire des connaissances antérieures sur les activités de formulation (Chevalier *et al.*, 2011). En effet, les connaissances antérieures permettent aux utilisateurs âgés de produire des requêtes initiales plus élaborées (avec plus de nouveaux mots-clés) et réduisent le nombre de mots-clés issus des problèmes de recherche dans les reformulations (Hembrooke *et al.*, 2005 ; Monchaux *et al.*, 2015 ; Vakkari *et al.*, 2003 ; Wildemuth, 2004). Les connaissances sur le domaine permettent probablement aux âgés d'élaborer un modèle mental de la recherche plus cohérent (liens sémantiques entre les informations plus pertinents, meilleures inférences *etc*) qui favorise une meilleure intégration des informations provenant des pages web ou des connaissances antérieures au modèle mental. Ce phénomène soutient, à terme, la production de requêtes plus spécifiques ou plus élaborées (stratégies de reformulation plus riches en comparaison à des changements mineurs du contenu de la requête).

12.1.2 Discussion des effets du vieillissement cognitif et des connaissances antérieures sur les activités d'analyse des pages de résultats et de navigation en RI avec moteur de recherche

Nos travaux confirment un effet robuste de l'âge sur le temps passé à traiter les pages de résultats du moteur de recherche, les sites web et le nombre de liens ouverts depuis les pages *Google* (Aula *et al.*, 2010 ; Chevalier *et al.*, 2015 ; Chin & Fu, 2010 ; Chin *et al.*, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011). Conformément aux travaux conduits par Chin et ses collaborateurs (2010 ; 2015), les adultes plus âgés explorent moins (*i.e.* ouvrent notamment moins de sites web différents sur les pages du moteur de recherche) et consacrent plus de temps à traiter les pages web consultées. En outre, ces résultats enrichissent aussi nos connaissances sur les effets du vieillissement cognitif en RI en montrant que la phase initiale de l'activité est particulièrement critique pour les âgés. En effet, ces-derniers allouent plus de ressources au traitement de la première page de résultats du moteur de recherche et exploitent davantage le chemin de navigation élaboré à partir de leur requête initiale (études 2 et 4) que les jeunes.

Contrairement aux résultats peu concluants sur les effets des habiletés fluides dans la reformulation des requêtes, nos analyses révèlent que le déclin de la flexibilité cognitive et de la vitesse de traitement affectent particulièrement le temps passé à évaluer les résultats du

moteur de recherche et à traiter le contenu du premier site web ouvert. Ces résultats semblent corroborer les postulats défendus notamment par Salthouse (1996). D'une part, traiter le contenu des pages de résultats du moteur de recherche et des sites web demande plus de temps aux utilisateurs âgés (via le déclin du mécanisme du temps limité), ce qui consomme des ressources. D'autre part, il est aussi plus coûteux pour les âgés de traiter le contenu de la page initiale de résultats parce que cette étape nécessite de nombreux traitements parallèle (*i.e.* maintenir active en MDT la représentation mentale de son but de recherche, élaborer des représentations mentales transitoires des différents résultats proposés par le moteur de recherche, enrichir son modèle mental avec les premières informations extraites et comparer les résultats du moteur au but de recherche pour en évaluer la pertinence). Ainsi, les ressources cognitives des utilisateurs âgés sont plus rapidement saturées que celles des jeunes (Salthouse, 1996), et ce, dès le début de l'activité. La saturation des ressources cognitives dès le début de l'activité peut ainsi entraîner une série de difficultés tout au long de l'activité pour les utilisateurs âgés :

- En réduisant la capacité des âgés à consolider le modèle mental de leur but de recherche et à y intégrer de nouvelles informations extraites depuis le web au fur et à mesure de l'activité,
- En dégradant l'évaluation des différents résultats du moteur de recherche. Nos résultats apportent des enrichissements aux modèles computationnels SNIF-ACT et Colides+Pic (Fu & Pirolli, 2010 ; Karanam *et al.*, 2012), qui postulent que les utilisateurs traitent séquentiellement les différents liens proposés sur une page web. Il est plus long, plus coûteux pour les plus âgés d'élaborer et de maintenir actif en MDT des représentations mentales cohérentes des différents liens traités tout en maintenant actif en MDT la représentation du but de recherche et en évaluant la pertinence de chaque chemin de navigation (*i.e.* liens) possibles. Ainsi, on peut observer des comportements de recherche relevant plutôt de l'exploitation et de la persévération chez les âgés qui tendent à explorer moins de chemins de navigation différents (soit en reformulant moins à un niveau macro, soit en ouvrant moins de sites web depuis *Google* à un niveau micro).
- En dégradant la capacité des adultes plus âgés à développer des stratégies de recherche plus flexibles qui s'adapteraient à l'évolution de l'activité et de leurs besoins informationnels.

Contrairement à nos attentes, nos résultats ne présentent pas d'effet compensatoire clair des connaissances antérieures sur les activités de navigation. En effet, les deux interactions observées sur le nombre de liens, de sites ouverts et de bonnes réponses dans le domaine santé (pour lequel les âgés avaient de meilleures connaissances antérieures) s'expliquent par de plus

grandes difficultés des adultes jeunes à rechercher de l'information dans un domaine pour lequel ils avaient moins de connaissances. Sur le plan théorique, les modèles computationnels (SNIF-ACT et Colides+Pic, Fu & Pirolli, 2010 ; Karanam *et al.*, 2012) postulent que la décision d'ouvrir un lien dépend de la force de la proximité sémantique entre le but de recherche de l'utilisateur, et le contenu du lien en question. Or, selon ces modèles, la force de l'association sémantique entre les concepts dépend du niveau de connaissances antérieures des utilisateurs (*i.e.* de meilleures connaissances sur le domaine devraient permettre de prendre des décisions plus pertinentes, et ce, plus rapidement). Nos résultats ne permettent pas de conforter ce postulat chez les utilisateurs plus âgés (nous n'observons aucune interaction entre l'âge et les connaissances sur le temps passé à traiter les pages de résultats du moteur de recherche ni sur le nombre de liens ouverts par les plus âgés dans la méta-analyse). Nos résultats semblent donc identifier des difficultés pour les utilisateurs âgés à bénéficier de leurs connaissances antérieures lorsqu'ils naviguent dans des pages web.

Bien que ces résultats nécessitent de plus amples investigations, nous pouvons imaginer, au vu des patterns de résultats décrits plus haut, que la saturation des ressources cognitives en MDT (due notamment au déclin des habiletés fluides qui génèrent des difficultés dès le début de l'activité) ne permet pas aux utilisateurs âgés de bénéficier de leurs connaissances antérieures pour évaluer la pertinence des informations et explorer des pages web depuis le moteur de recherche. Toutefois, un effet intéressant du niveau de vocabulaire est apparu sur l'élaboration de chemins de navigation différents : chez les âgés, le niveau de vocabulaire soutient davantage d'exploration et augmente le nombre de sites web différents et de liens ouverts depuis *Google*. Le niveau de vocabulaire semble pouvoir soutenir l'activité des âgés de façon moins coûteuse que les connaissances antérieures. En effet, alors que récupérer en mémoire les connaissances antérieures en parallèle des traitements principaux effectués pour la RI semble coûteux, développer des stratégies de recherche descendantes basées sur les habiletés de vocabulaire semble exiger moins de ressources cognitives pour les âgés. De plus amples investigations apparaissent essentielles pour comprendre comment le vocabulaire permet de soutenir l'exploration chez les utilisateurs âgés. Une première piste d'explication pourrait postuler que le niveau de vocabulaire favorise des traitements basés sur des appariements sémantiques ou lexicaux entre la requête produite et les liens sur le moteur de recherche, et permet ainsi de développer des stratégies de sélection des sites web moins coûteuses. Une deuxième piste de recherche pourrait également investiguer si le niveau de vocabulaire soutient la capacité des âgés à anticiper le contenu des résultats du moteur de recherche (par la production d'inférences

par exemple) et à planifier leur recherche ; leur permettant ainsi de préserver suffisamment de ressources cognitives en MDT pour explorer davantage de sites web.

12.1.3 Discussion des effets du vieillissement cognitif et des connaissances antérieures sur la performance en RI avec moteur de recherche

Les résultats de la méta-analyse conduite sur l'ensemble de nos travaux tendent à confirmer que les effets du vieillissement cognitif sur la RI dégradent également la performance des utilisateurs plus âgés qui trouvent moins de bonnes réponses et sont moins efficaces que les jeunes (*i.e.* ils prennent plus de temps pour parvenir à la bonne réponse) (Chevalier *et al.*, 2011 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Pak & Price, 2008). Par ailleurs, les connaissances antérieures, ainsi qu'un bon niveau de flexibilité cognitive et de vitesse de traitements, améliorent les performances en RI des utilisateurs âgés.

Ces patterns de résultats semblent corroborer les postulats présentés plus haut. Le déclin des habiletés fluides pourrait augmenter le coût cognitif des opérations mentales à réaliser en RI et pourrait dégrader la performance. Cette explication peut également rendre compte de l'absence d'effets de l'âge sur la performance dans notre étude 3, pour laquelle les âgés avaient un niveau de flexibilité cognitive aussi élevé que celui des jeunes. Nous reviendrons plus en détail sur la question de la représentativité de notre population d'adultes plus âgés ainsi que de l'effet du niveau d'études dans le chapitre abordant les limites (chap. 12.5, p.235). À l'inverse, les connaissances antérieures peuvent soutenir les traitements impliqués en RI et ainsi faciliter l'extraction, l'intégration des informations au modèle mental élaboré, améliorer l'évaluation de la pertinence et la production d'inférences pour, à terme, soutenir l'activité et la performance.

Les investigations menées sur les habiletés de RI (chapitre 8, p. 138) tendent à montrer que les adultes plus âgés ont de moins bonnes habiletés de RI que les jeunes (sur les trois composantes interactions opérationnelles, navigationnelles et traitement de l'information). Ces plus faibles habiletés pourraient expliquer, en partie au moins, pourquoi les utilisateurs plus âgés font face à davantage de difficultés que les jeunes dès le début de l'activité. Pour les tâches de RI ayant un but de recherche de fait précis, la composante « interactions opérationnelles » pourrait rendre compte chez des utilisateurs âgés aux traitements plus longs des pages de résultats du moteur de recherche. Dans les tâches de RI impliquant davantage de navigation et de construction du sens, les composantes de traitement d'informations et de navigation des utilisateurs âgés

soutiendraient respectivement des traitements approfondis des pages web et favoriseraient davantage de comportements d'exploration.

12.1.4 Discussion des effets du vieillissement cognitif et du rôle des outils d'aide à la RI

Les travaux de recherche menés sur nos deux outils d'aide par pré-activation des connaissances antérieures et par maintien du but en MDT ont montré que ces dispositifs peuvent soutenir l'élaboration de stratégies de recherche plutôt *top-down* sur lesquelles les âgés s'appuieraient davantage que les jeunes (Chin & Fu, 2010 ; Chin *et al.*, 2015).

La pré-activation des connaissances antérieures favoriserait des stratégies de recherche plus analytiques (*i.e.* temps passé à analyser les pages de résultats du moteur de recherche plus long et chemins de navigation élaborés investigués plus en profondeur au détriment de l'exploration de chemins de navigation différents) et soutient la formulation de requêtes sémantiquement plus spécifiques. En outre, la pré-activation des connaissances permet aussi aux utilisateurs plus âgés ayant de faibles connaissances antérieures sur un domaine de produire des requêtes aussi riches sur le plan sémantique que les jeunes.

Par ailleurs, aider les utilisateurs plus âgés à maintenir leur but de recherche actif en mémoire de travail (*i.e.* favoriser le rafraichissement de la dernière requête élaborée) permettrait de faciliter la production de requêtes par les utilisateurs plus âgés (*i.e.* temps de reformulation moins longs et requêtes sémantiquement plus spécifiques) et d'élaborer des stratégies de recherche plus flexibles en début d'activité (*i.e.* moins d'exploitation de la requête initiale produite pour élaborer un nouveau chemin de navigation à investiguer).

Ainsi, ces deux outils semblent pouvoir permettre aux utilisateurs plus âgés de libérer certaines ressources cognitives en MDT pour développer des stratégies de reformulation (étude 3) et/ou d'exploration des chemins navigationnels (étude 4) plus approfondies et mieux intégrer les informations extraites au fil de l'activité. Ainsi, améliorer la récupération en MDT de la représentation syllabique des concepts (provenant des connaissances antérieures), plus coûteuse pour les plus âgés (Dorot & Mathey, 2013), semble être ainsi une bonne piste pour contribuer à soutenir le rôle bénéfique des connaissances antérieures. Par ailleurs, permettre aux âgés de rafraichir régulièrement en MDT leur but de recherche en cours (*via* la dernière requête

produite) libèrerait des ressources en MDT pour permettre plus de flexibilité dans l'exploration en début d'activité et dans la reformulation des requêtes (temps plus courts).

12.2 Discussion générale : effets du vieillissement cognitif sur la RI avec un moteur de recherche : articulation entre habiletés fluides et cristallisées et allocation des ressources cognitives sur les processus qui sous-tendent la RI

La présente thèse avait pour objectif premier d'étudier comment le vieillissement, à travers le déclin des habiletés fluides, et les connaissances antérieures peuvent impacter les ressources cognitives à disposition des utilisateurs plus âgés pour rechercher de l'information avec un moteur de recherche. Dans l'ensemble, nos travaux de recherche rendent compte de deux observations :

- La phase initiale de la RI semble être particulièrement sensible au déclin des habiletés fluides et représente une étape critique pour les adultes plus âgés.
- Tout au long de l'activité, les habiletés cognitives et cristallisées semblent jouer un rôle indirect dans l'impact de l'âge sur l'activité en agissant sur la quantité de ressources cognitives disponibles et le temps nécessaire pour réaliser les opérations mentales impliquées en RI (compréhension, évaluation de la pertinence, sélection des informations *etc*).

Nos travaux de recherche tendent à démontrer que la gestion de l'allocation des ressources cognitives sur les différents processus qui sous-tendent la RI pourrait être critique pour les utilisateurs plus âgés. Les résultats de nos deux outils d'aide à la RI nourrissent cette piste de recherche. Les effets limités de notre premier outil d'aide à la RI par pré-activation des connaissances antérieures et les résultats plus significatifs de l'outil d'aide par maintien du but en MDT semblent montrer qu'un outil d'aide qui n'allège pas la quantité de processus cognitifs parallèles à effectuer pour rechercher de l'information ne peut pas être optimal pour les plus âgés. Ces résultats nous amènent à penser que la relation entre les habiletés fluides et cristallisées, et les effets du vieillissement cognitif sur la RI sont médiés par le temps et les ressources cognitives disponibles pour effectuer toutes les activités cognitives parallèles impliquées en RI.

Le modèle de la mémoire du travail « *Time-Based Resource Sharing* » développé par Camos et Barrouillet (2013) pourrait soutenir cette piste. Celui-ci postule que l'attention est la

principale ressource dont dispose les individus pour réaliser une tâche mobilisant leur MDT. Ce modèle défend le postulat que deux types de processus cognitifs sont menés dans la MDT : les traitements cognitifs en lien avec la tâche (dans le cas de la RI, des traitements de compréhension de contenu, d'évaluation de la pertinence des résultats, *etc*) et le maintien des informations en MDT (*i.e.* renforcement de la trace mnésique). Ainsi, la manière dont les individus allouent leurs ressources attentionnelles aux traitements cognitifs et au maintien de l'activation des informations va directement impacter la quantité de ressources cognitives disponibles pour l'un ou l'autre de ces processus. Les résultats empiriques sous-tendant ce modèle montrent que moins un individu alloue de ressources à la réactivation des informations en MDT, plus la trace mnésique de ces informations diminue. En outre, moins un individu dispose de temps pour réactiver les informations en MDT, plus on observe un déclin de la trace mnésique des informations en MDT (Barrouillet, Bernardin, & Camos, 2004). Ces résultats nous semblent particulièrement critiques pour la recherche d'informations chez des utilisateurs plus âgés pour plusieurs raisons :

- La RI implique une grande quantité de traitements cognitifs à effectuer en parallèle. Les utilisateurs doivent donc allouer des ressources attentionnelles au maintien du but en mémoire de travail, au traitement du contenu des pages, à la comparaison entre les représentations mentales élaborées des contenus des pages et de celle du but...
- Les utilisateurs âgés sont particulièrement sensibles aux distractions, notamment à cause du déclin des habiletés d'inhibition (Hasher & Zacks, 1999 ; Connelly *et al.*, 1991, 2012). Ainsi les adultes âgés peuvent avoir tendance à allouer des ressources attentionnelles pour traiter une plus grande quantité d'informations sur le web. En conséquence, selon le modèle TBRS, ils disposeraient de moins de temps pour focaliser leurs ressources attentionnelles sur les différents traitements à réaliser et sur le maintien des informations en mémoire de travail.
- Les postulats de ce modèle sont cohérents avec les mécanismes de temps limité et de simultanéité impliqués dans le déclin de la vitesse de traitement (Salthouse, 1999). Les adultes plus âgés, qui ont besoin de plus de temps pour réaliser les opérations mentales exigées par une tâche, disposent en conséquence de moins de temps que les jeunes, non seulement pour réaliser la tâche mais aussi pour allouer des ressources au rafraîchissement des informations en mémoire de travail.
- Par ailleurs, selon ce modèle, les processus de traitements et de refocalisation de l'attention sur les informations à réactiver se font séquentiellement, par alternance. Or, pour les adultes

plus âgés qui tendent à avoir un moins bon niveau de flexibilité cognitive, alterner entre ces deux processus pourrait être plus coûteux. Le risque serait ainsi que les adultes plus âgés allouent la plupart de leurs ressources cognitives à l'un de ces mécanismes au détriment de l'autre.

Le modèle TBRS postule ainsi que la charge cognitive, dans une tâche mobilisant la mémoire de travail, provient davantage de la durée durant laquelle la tâche à réaliser capture l'attention et ne permet pas à l'individu d'allouer des ressources attentionnelles au rafraichissement des traces mnésiques. La charge cognitive est ainsi fonction du temps total nécessaire pour exécuter la tâche et de la quantité de ressources attentionnelles capturées par la tâche. Les postulats de ce modèle nous semblent particulièrement intéressants pour approfondir notre compréhension des effets de l'âge sur la RI, particulièrement parce que nous n'observons pas toujours de relations directes entre le niveau d'habiletés fluides et les activités impliquées en RI. En effet, les habiletés fluides, comme la flexibilité cognitive, la vitesse de traitement et le rafraichissement en MDT, nous semblent liées aux facteurs impliquant une évolution des capacités de la MDT selon le modèle TBRS (Camos & Barrouillet, 2011). En impactant la quantité de ressources attentionnelles disponibles, la capacité des âgés à alterner entre traitements et rafraichissement en MDT, ainsi que la dégradation de la trace mnésique en MDT, le déclin des habiletés fluides pourrait ainsi réduire le temps disponible pour allouer des ressources attentionnelles au rafraichissement des informations en MDT en RI. Ce phénomène serait particulièrement critique dans les tâches de RI complexes qui nécessitent de nombreux de traitements parallèles (compréhension, navigation *etc*).

12.3 Bases d'un modèle de l'activité de RI chez les personnes plus âgées

Les résultats empiriques discutés précédemment nous ont amené à poser les bases d'un nouveau modèle de l'activité de RI chez des adultes plus âgés (voir figure 10 ci-dessous). Comparativement au précédent cadre théorique proposé en introduction (Sharit *et al.*, 2008), ce modèle propose de dissocier, à un niveau macro, deux types de processus qui sous-tendent la RI : les traitements et le rafraichissement de la trace mnésique des informations en MDT. Le paragraphe suivant décrit plus en détails les nouveaux points de ce modèle.

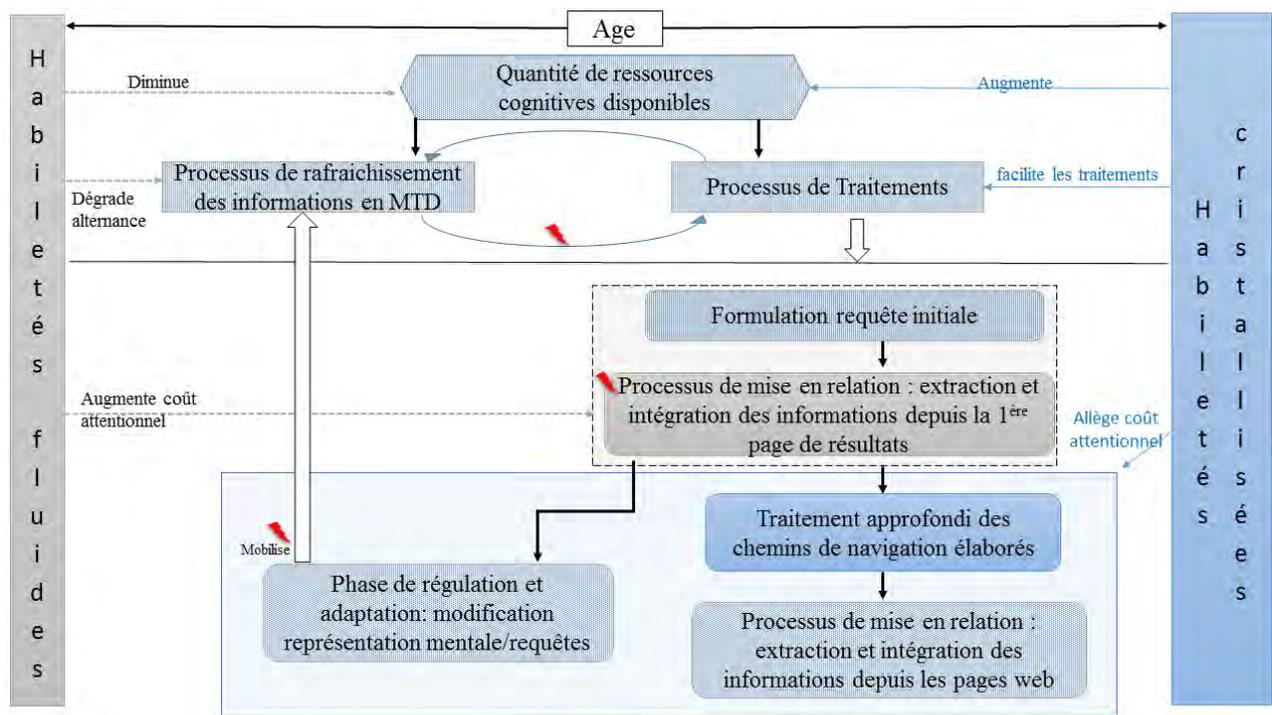


Figure 10: schéma de l'impact de l'âge sur l'activité de RI (en gris sont représentés les effets observés des habiletés fluides, en bleu les effets des habiletés cristallisées et en pointillés des effets combinés des deux types d'habiletés. Les éclairs rouges représentent les étapes les plus critiques pour les utilisateurs âgés).

Le modèle cognitif de la tâche de RI avec moteur de recherche auprès d'adultes plus âgés que nous proposons rend compte de deux activités qui sous-tendent la RI.

- D'une part les processus de traitement, qui impliquent les activités de production de requêtes, de traitement des pages de résultats et de mise en relation des informations.
- D'autre part les processus de rafraîchissement et de mise à jour en MDT qui impliquent le renforcement de la trace mnésique de la représentation mentale du but de recherche, le maintien des représentations mentales transitoires élaborées (sur les différents résultats du moteur de recherche par exemple) et du fruit des précédentes opérations cognitives effectuées (*i.e.* requêtes précédentes, chemins de navigation antérieurs...).

12.3.1 Effets de l'évolution des habiletés fluides avec l'avancée en âge dans la RI

Le déclin des habiletés fluides agirait indirectement sur la quantité de ressources attentionnelles dont disposent les adultes plus âgés pour traiter et rafraîchir les informations en MDT, mais également sur leur capacité à allouer alternativement à l'un ou l'autre de ces processus ses ressources cognitives.

Les résultats empiriques de nos travaux montrent que le déclin des habiletés fluides (flexibilité cognitive, vitesse de traitement et rafraichissement en mémoire de travail) tend à augmenter le coût en ressources attentionnelles des traitements effectués en début d'activité (*i.e.* élaboration d'une représentation mentale cohérente, production de la requête initiale, évaluation de la première page de résultats et extraction/ intégration de nouvelles informations à la représentation mentale). Les effets de la hausse du coût en ressources attentionnelles peuvent ainsi entraîner une saturation des ressources en mémoire de travail et augmenter les difficultés des utilisateurs âgés à alterner le focus attentionnel entre processus de traitement et de rafraichissement des informations en MDT. Ce phénomène est critique dès la phase initiale de l'activité (*i.e.* lors de l'évaluation de la première page de résultats et de la consolidation du modèle mental du but de recherche avec les premières informations extraites).

En outre, ces difficultés se répercutent également dans les étapes de l'activité sollicitant davantage les deux types de processus (traitements et rafraichissement). En effet, les activités impliquant une régulation et une adaptation du but de recherche représentent un challenge pour les utilisateurs plus âgés qui ont plus de difficultés à modifier la représentation du but et/ou à modifier leur requête. Ainsi le traitement des pages de résultats du moteur de recherche (*i.e.* évaluation et sélection des liens à ouvrir) et la reformulation sont critiques pour les adultes plus âgés. En effet, ces étapes reposent particulièrement sur l'alternance du focus attentionnel entre traitements et rafraichissement en MDT puisque les utilisateurs doivent allouer leurs ressources cognitives pour mobiliser la représentation mentale du but de recherche et les représentations transitoires des différents résultats du moteur de recherche, puis allouer des ressources au traitement des informations. Ainsi, plus les étapes de la RI s'appuient sur cette alternance, plus les conséquences délétères des effets de l'âge risquent de s'accroître.

Par ailleurs, notre modèle postule que l'augmentation du coût cognitif des activités de RI, dû au déclin des habiletés fluides, serait critique lorsque les tâches de RI sont exigeantes. En effet, dans les tâches de RI plus complexes, les ressources cognitives des âgés risquent d'être saturées et certaines étapes de l'activité pourraient se dégrader (particulièrement si les utilisateurs ne disposent pas d'habiletés cristallisées suffisantes pour compenser ce déclin). De plus amples investigations sont à conduire pour approfondir cette hypothèse de recherche (notamment en analysant l'impact d'une pression temporelle, ou d'un temps limité).

Les postulats de notre modèle sur le rôle indirect des habiletés fluides dans les processus de rafraîchissement en MDT et dans les processus de traitement nous semblent soutenus par les investigations conduites sur nos deux outils d'aide à la RI. En effet, nos résultats ont montré que le second outil d'aide (*i.e.* dispositif d'aide au maintien du but en mémoire de travail par l'affichage de la dernière requête élaborée) s'est avéré utile pour les utilisateurs âgés ; notamment parce que ce dispositif permettait d'alléger le nombre de traitements parallèles à effectuer. La fonction « rafraîchissement du but en MDT » de l'outil, en permettant aux utilisateurs de ne pas avoir à maintenir actif en MDT par leurs seules ressources cognitives le but de recherche en cours, a allégé une partie des activités mentales à réaliser pendant la RI. En outre, le module affichant la requête a pu également agir comme un dispositif de guidage permettant aux utilisateurs plus âgés de fréquemment penser à allouer des ressources attentionnelles au rafraîchissement de la trace mnésique de leur requête en MDT. Ces patterns ont pu par ailleurs être renforcés par la fonction d'aide à la navigation qui permettait aux âgés de passer d'une page *Google* à une page web à moindre coût cognitif (sans avoir à garder en mémoire le chemin de navigation parcouru pour retourner à la page de résultats du moteur de recherche par exemple).

12.3.2 Effets de l'évolution des habiletés cristallisées sur l'impact du vieillissement cognitif en RI

Les habiletés cristallisées, notamment les connaissances antérieures sur le domaine, contribueraient, à l'inverse, à diminuer le coût en ressources attentionnelles des différents processus de traitements et de rafraîchissement en MDT.

Plus un utilisateur a de connaissances sur le domaine, moins il aura besoin de focaliser de ressources attentionnelles pour comprendre le contenu des pages web ou pour sélectionner des mots-clés pertinents pour reformuler ses requêtes (il en serait de même pour d'autres habiletés cristallisées comme le vocabulaire). De solides connaissances antérieures sur le domaine pour lequel l'utilisateur recherche de l'information amélioreraient ainsi non seulement la qualité des traitements effectués (*i.e.* représentations mentales plus cohérentes du but de recherche et des différentes pages web consultées, stratégies de reformulation plus riches, évaluation de la pertinence des informations plus précises *etc*), mais diminueraient également le coût cognitif de ces traitements. Ainsi, en allégeant le coût en ressources des traitements à effectuer pour rechercher de l'information avec un moteur de recherche, les connaissances antérieures pourraient diminuer le risque de saturation des ressources en mémoire de travail.

En soutenant les traitements cognitifs des informations, les connaissances antérieures devraient permettre aux utilisateurs plus âgés de disposer de plus de ressources attentionnelles et favoriser ainsi l'allocation de ressources attentionnelles sur les processus de rafraichissement des informations en mémoire de travail. En outre, les connaissances antérieures devraient également alléger le coût cognitif des processus de rafraichissement en augmentant la force de l'association sémantique entre les différents concepts en mémoire (*i.e.* rafraichissement des concepts proches sur le plan sémantique sera moins coûteux et plus rapide).

Enfin, en favorisant les processus de traitements (*i.e.* en termes de coût cognitif et temporel), les connaissances antérieures devraient également permettre aux utilisateurs plus âgés de disposer de davantage de temps pour renforcer les traces mnésiques des informations en MDT. Avoir plus de temps disponible pour le maintien et le rafraichissement des informations en MDT grâce aux connaissances antérieures permettraient ainsi aux adultes plus âgés de développer des stratégies de recherche plus riches et cohérentes au regard de leur but de recherche.

12.4 Conclusion sur les principaux apports de nos travaux

Sur le plan fondamental, les travaux de recherche menés pendant la thèse corroborent les résultats empiriques observés dans la littérature sur les difficultés des adultes âgés à interagir avec un moteur de recherche en RI pour formuler des requêtes, évaluer les informations, sélectionner des sites web et naviguer dans différentes pages web (Aula *et al.*, 2010 ; Chevalier *et al.*, 2015 ; Chin *et al.*, 2010 ; Chin & Fu, 2010 ; Dommes *et al.*, 2011 ; Salthouse *et al.*, 2008). Nos travaux enrichissent ces constats grâce à l'analyse plus fine des différentes étapes de l'activité de RI avec un moteur de recherche. Sur la base du modèle en 3 étapes de la RI de Sharit *et al.*, (2008), nos recherches ont identifié que l'évaluation de la première page de résultats du moteur de recherche (et dans une moindre mesure la formulation de la requête initiale) pose des difficultés pour les utilisateurs plus âgés.

Par ailleurs, nos travaux ont également investigué le rôle de l'évolution des habiletés fluides (flexibilité cognitive, vitesse de traitement et rafraichissement en mémoire de travail) dans l'impact de l'âge sur la RI (cf chapitre 11). Dans l'ensemble, nous avons montré que le déclin des habiletés fluides lié à l'âge apparaît critique pour le début de l'activité. Les adultes plus âgés ayant un moins bon niveau de flexibilité cognitive, de vitesse de traitement et de rafraichissement en mémoire de travail peuvent ainsi produire une requête initiale moins

élaborée, passer plus de temps à examiner les résultats initiaux du moteur de recherche et la première page web ouvertes que les jeunes. Ce constat reflète probablement une plus grande difficulté à élaborer un modèle mental cohérent du but de recherche qui intègre à la fois des informations provenant du contexte et des connaissances antérieures.

Nos expérimentations ont aussi montré que les connaissances antérieures pouvaient représenter des ressources compensatoires pour les utilisateurs âgés tout au long de l'activité. Les connaissances antérieures sur le domaine pour lequel les utilisateurs recherchent de l'information peuvent ainsi soutenir la reformulation des requêtes, la sélection des sites web à consulter et l'examen des différents chemins de navigation élaborés. Cependant nos travaux ne permettent pas toujours d'établir un rôle bénéfique constant des connaissances antérieures sur l'activité de RI (que ce soit sur la performance, la production des requêtes ou la navigation).

Ces conclusions nous ont amené à développer les bases d'un nouveau modèle de la RI qui rend compte du rôle des habiletés fluides et des connaissances antérieures sur les ressources cognitives disponibles en mémoire de travail pour permettre aux plus âgés de répondre aux exigences de la RI.

Sur le plan appliqué, nos travaux de recherche tendent à montrer qu'un outil d'aide à la RI utile pour les plus âgés ne devrait pas seulement compenser le déclin des habiletés fluides, mais plutôt soutenir l'allocation des ressources attentionnelles sur le traitement des activités cognitives qui sous-tendent la RI et le rafraichissement des informations pertinentes en MDT (*i.e.* but de recherche, fruit des différentes opérations mentales effectuées...). Dans cet objectif, l'outil d'aide à la RI devrait s'attacher :

- à réduire (momentanément ou tout au long de l'activité de recherche) le nombre de traitements à effectuer en parallèle pour libérer des ressources attentionnelles et permettre aux utilisateurs plus âgés de disposer de plus de temps libre pour rafraichir les informations en MDT (et ainsi faciliter l'alternance de la focalisation de l'attention sur les traitements et le renforcement des traces mnésiques).
- à soutenir l'alternance de la focalisation des ressources attentionnelles sur ces deux processus (par guidage méta-textuel par exemple ou en soutenant les processus de régulation). Il s'agirait par exemple de guider les ressources attentionnelles sur des traitements pertinents à chaque étape de la RI pour limiter le temps passé par les adultes plus âgés à traiter une grande quantité d'informations pour pouvoir disposer de plus de temps pour rafraichir les informations en MDT.

Nos travaux ont permis de développer un outil d'aide à la RI, par soutien au maintien du but de recherche en mémoire de travail, qui semble pouvoir répondre aux besoins des utilisateurs plus âgés.

Enfin, nos expérimentations ont également posé les bases d'une tâche de mesure des habiletés de recherche d'informations basée sur l'activité en ligne réelle des utilisateurs. Cet outil, qui décompose les habiletés de RI en trois composantes (interactions opérationnelles, habiletés navigationnelles et habiletés de traitement de l'information) sera développé est enrichi dans nos futurs travaux.

12.5 Limites des études conduites

Dans le présent chapitre, nous discuterons des limites rencontrées dans nos études ainsi que des questions de recherche que ces difficultés génèrent.

Nous évoquerons :

- (1) La question de la représentativité des adultes âgés de nos études et l'impact du niveau d'études sur le vieillissement cognitif sur nos résultats empiriques,
- (2) Les différents types de connaissances sur le domaine et les liens entre connaissances et intérêt sur la recherche d'informations,
- (3) Les notions de tâches de RI imposées/spontanées, de familiarité avec l'activité de RI et des facteurs affectifs et motivationnels dans l'impact de l'âge sur la RI

12.5.1 Représentativité des adultes âgés participant à nos expérimentations et effet du niveau d'étude

Une partie de nos études (étude 3 sur le dispositif d'aide à la RI par pré-activation des connaissances antérieures) ne réplique pas les résultats classiquement observés dans la littérature sur les effets de l'âge dans la reformulation de requêtes (Chevalier *et al.*, 2015 ; Dommes *et al.*, 2011). Ces résultats surprenant peuvent d'une part s'expliquer par une absence de différence de flexibilité cognitive entre les adultes jeunes et plus âgés. D'autre part, il nous semble intéressant de discuter d'un autre facteur pouvant jouer un rôle majeur dans la préservation du niveau de flexibilité cognitive des adultes plus âgés (ce qui, à terme, peut contribuer à limiter les effets délétères de l'âge sur les activités de production de requêtes en RI). Les adultes âgés de nos études 3 et 4 étaient des retraités recrutés *via* la newsletter du campus et de la ville d'Urbana-Champaign (étude 3) ou sur l'université du temps libre de

Toulouse (étude 4). Ces adultes âgés avaient tous un très haut niveau d'études (plus de 6 ans d'études supérieures en moyenne pour l'étude 3 contre plus de 3 ans en moyenne pour les jeunes). Si nombre de changements neurologiques peuvent contribuer à expliquer la diminution ou le maintien plus ou moins important des capacités cognitives d'un individu à l'autre, de nombreux travaux ont également pointé le rôle du niveau d'études comme facteur de protection contre le vieillissement (Foubert-Samier, Catheline, Amieva, Dilharreguy, Helmer Allard, & Dartigues, 2012 ; Guerrero-Sastoque, Bouazzaoui, Burger, & Tacconnat, 2017 ; Mortimer & Graves, 1993). Les travaux de Mortimer et Graves (1993) montrent ainsi que plus un individu a un niveau socioéconomique élevé (reflété par un niveau d'études supérieures important), moins il est exposé à des facteurs de risques pouvant dégrader le fonctionnement cognitif. Un individu avec un fort niveau d'études serait ainsi plus stimulé sur le plan cognitif et présenterait moins de risques de développer des maladies infectieuses ou chroniques par exemple. En outre, pour Stern (2009), un fort niveau d'études permettrait aux individus de développer de nouveaux réseaux cérébraux alternatifs pour compenser les altérations de certains processus dues au vieillissement. Outre ce phénomène de compensation et de réorganisation cérébrale, un fort niveau d'études permettraient aussi aux individus d'acquérir davantage de connaissances et d'habiletés (notamment de vocabulaire ou d'habiletés inférentielles) qui peuvent compenser le déclin cognitif lié à l'âge (Christensen, Henderson, Griffiths, & Levings, 1997). Ces résultats empiriques représentaient un problème pour la sélection des participants âgés dans le cadre de nos études. Par choix, nous avons décidé de recruter des adultes âgés ayant à minima le même niveau d'études que notre population d'adultes jeunes (*i.e.* à minima 1 ou 2 années d'études après le baccalauréat) ; et ce, afin de limiter le bruit induit par un niveau d'études plus faible sur l'activité de RI. Toutefois, les difficultés de recrutement nous ont parfois amené à recruter des adultes âgés ayant un niveau d'études très haut (voire plus haut que celui des jeunes pour les études 3 et 4). Ainsi, il est très probable que les adultes plus âgés disposaient d'un niveau de réserve cognitive (Stern, 2009) ou de capacités mnésiques (Guerrero-Sastoque *et al.*, 2017) très importantes.

Ce phénomène pose deux limites à nos études. Premièrement, le niveau d'études élevé de ces participants a probablement limité l'impact du déclin cognitif lié au vieillissement sur leurs capacités cognitives que nous prenons en compte (la flexibilité cognitive par exemple). Deuxièmement, ces participants âgés sont également peu représentatifs de la population âgée globale. En effet, atteindre un tel niveau d'études il y a quelques années en arrière témoigne également d'un niveau socioéconomique ou d'habiletés importantes et peu communs. Il

faudrait donc pour nos prochaines expérimentations varier le niveau d'études de la population d'adultes plus âgés afin d'augmenter la validité externe de nos travaux.

12.5.2. Opérationnalisation des connaissances sur le domaine et intérêt pour la tâche

Les travaux de recherche menés dans cette thèse se sont principalement intéressés à l'impact de l'âge à travers le déclin de certains processus cognitifs ainsi qu'aux effets des ressources apportées par les connaissances sur le domaine dans la RI. Parmi les ressources internes à disposition des individus, nous avons principalement étudié les connaissances antérieures thématiques liées au domaine de la recherche ainsi que les habiletés et compétences dans la tâche de RI elle-même. Nos expérimentations proposaient aux utilisateurs jeunes et âgés de rechercher de l'information dans deux domaines de connaissances différents (pour lesquels ils avaient un niveau de connaissances antérieures plus ou moins différents) La première limite de cette opérationnalisation est que nous comparons deux domaines différents (films/manga vs santé) qui ne sont pas nécessairement équivalents (en termes de complexité des concepts, de richesse sur le plan de la terminologie, d'intérêt...). Pour éviter les soucis d'équivalence entre deux domaines de connaissances, les futurs travaux conduits pourraient sélectionner un domaine neutre pour lequel les adultes jeunes et plus âgés pourraient avoir une même variété de connaissances.

Outre d'autres facteurs cognitifs, tels que les habiletés spatiales ou les facteurs liés à la mémoire épisodique des individus (Downing, Moore, & Brown, 2005 ; Etcheverry *et al.*, 2012), d'autres types de connaissances peuvent également impacter l'activité de RI. Nos travaux se sont centrés sur les connaissances thématiques, déclaratives sur le domaine, parce qu'elles permettent notamment de soutenir le traitement des pages web (*i.e.* moteur de recherche ou sites web) voire de compenser le déclin de certaines habiletés cognitives avec le vieillissement. Cependant, un bon niveau de connaissances déclaratives sur un domaine est probablement associé à un bon niveau de connaissances plutôt procédurales ou métacognitives sur ce domaine (Dochy, Segers, & Buehl, 2002). Ces connaissances, qui ne relèvent pas de connaissances déclaratives (*i.e.* de faits ou d'informations liées au domaine) peuvent aider les individus à élaborer des stratégies de recherche ou de traitements de l'information plus pertinentes par rapport au domaine. Les connaissances factuelles thématiques (plutôt déclaratives) pourraient donc influencer davantage le contenu sémantique de la recherche (*i.e.* ce que l'utilisateur va rechercher), alors que les connaissances métacognitives et procédurales liées à un domaine spécifique tendraient à influencer le mode opératoire de la recherche (*i.e.* comment l'utilisateur va s'y prendre pour

rechercher de l'information, les opérations qu'il doit réaliser selon les circonstances). En effet, plusieurs travaux empiriques ont montré l'impact bénéfique des connaissances méta et procédurales liées au domaine sur l'élaboration de stratégies *top-down* (Rouet, & Le Bigot, 2007 ; Rouet, 2006 ; Smith, 2015). Ces connaissances, liées aux moyens d'actions (*i.e.* connaissances sur la façon d'aborder un domaine pour rechercher de l'information, sur les indices textuels et méta textuels pertinents pour le domaine ou encore sur les sources d'informations les plus utiles) sont cruciales pour la mise en œuvre de stratégies de recherche pertinentes et peuvent ainsi impacter la performance de manière critique. Par exemple, un individu ayant de bonnes connaissances factuelles sur le domaine des films fantastiques peut développer des connaissances plutôt méta sur les différents univers qui s'affrontent et se confondent (*les super héros des studios Marvel ou DC par exemple*) et ainsi élaborer des stratégies de traitements élaborées qui permettent d'anticiper les éventuelles confusions et d'organiser en des représentations mentales plus cohérentes les informations relevées au fil de l'activité de RI. Ces connaissances pourraient ainsi être particulièrement cruciales pour la production de requêtes. En effet, outre les connaissances factuelles (*sur le nom d'un personnage de film par exemple*), des connaissances méta et procédurales liées au domaine pourraient contribuer à la production de requêtes plus riches, à la fois sur le plan sémantique (*i.e. mots clés plus précis*) et sur le plan procédural/méta (*requêtes contenant des mots clés que l'on sait plus fréquents et plus utilisés dans le domaine et qui permettront de trouver davantage de résultats pertinents sur Google par exemple*). De futurs travaux devraient ainsi investiguer de nouvelles opérationnalisations des connaissances antérieures qui tiendraient compte à la fois des connaissances thématiques (*i.e. déclaratives ou factuelles*) ainsi que des connaissances métacognitives et procédurales liées au domaine. L'enrichissement de l'opérationnalisation des connaissances antérieures devraient fournir des données plus riches et plus fines pour comprendre comment l'activité de RI des utilisateurs jeunes et âgés.

Outre les connaissances métacognitives et procédurales liées au domaine, un bon niveau de connaissances antérieures s'accompagne également d'un intérêt accru pour le domaine (Tobias, 1994). Ainsi, il peut être difficile de dissocier l'impact des connaissances antérieures de celui de l'intérêt pour le domaine dans les effets que nous observons sur la RI. En effet, l'intérêt pour le domaine, ainsi que l'intérêt pour la tâche de RI, peuvent influencer le temps et les ressources attentionnelles alloués à l'exploration et au traitement de l'information dans nos problèmes de RI (Bowler, 2010 ; Lawless, Brown, Mills, & Mayall, 2003 ; Tobias, 1994). Les utilisateurs pourraient ainsi être plus intéressés et se montrer plus curieux dans un domaine pour lequel ils

ont de plus solides connaissances antérieures. Outre l'intérêt pour le domaine, les utilisateurs peuvent également se différencier au niveau de leur intérêt situationnel pour la tâche de RI elle-même. Ces questions pourraient être également investiguées dans de futurs travaux de recherche. La dernière expérience réalisée dans le présent travail de thèse a inclus dans les questionnaires post activité de RI un item mesurant l'intérêt situationnel (*i.e.* pour la tâche de recherche elle-même). Les résultats n'ont montré aucune corrélation significative de l'intérêt à rechercher l'information sur les principaux indicateurs de l'activité. Toutefois, notre question interrogeant spécifiquement l'intérêt situationnel pour chaque problème de recherche, il est possible que les réponses aient également pris en compte l'intérêt pour le domaine de la recherche et non la tâche de RI elle-même.

12.5.3 Tâches de RI imposées/spontanées (*i.e.* générées par l'utilisateur), familiarité avec l'activité de RI et facteurs affectifs et motivationnels de l'âge sur la RI

Comme nous l'avons présenté dans les chapitres précédents en introduction de la présente thèse, la recherche d'informations émane de la prise de conscience d'un besoin informationnel (Tricot, 2006) et nécessite l'élaboration d'une représentation mentale cohérente de son but de recherche. Ce besoin informationnel peut émaner de plusieurs sources soit internes à l'utilisateur (*i.e.* dans ce cas c'est l'utilisateur lui-même qui élabore son propre but de recherche) soit externes à l'individu (*i.e.* dans ce cas c'est une source extérieure qui impose un but de recherche à l'utilisateur). Cette distinction entre source interne et source externe du but de recherche a été étudié par plusieurs auteurs (Armbruster & Armstrong, 1993 ; Tricot & Rouet, 2004; Tricot, 2006). Les résultats empiriques de ces travaux ont montré qu'au-delà de la performance et du temps consacré à la tâche de recherche, la source du but de recherche peut influencer le comportement et les stratégies de recherche d'informations des utilisateurs. En effet, la décision de rechercher de l'information pour combler un manque informationnel est notamment fonction du rapport entre le coût engendré par la recherche (*i.e.* coût temporel et coûts en ressources cognitives) et le bénéfice rapporté par celle-ci (Fu & Pirolli, 2010 ; Tricot, 2006). Dans une situation où la source du but de recherche est interne, on peut imaginer que le bénéfice rapporté de la recherche peut être plus important (*i.e.* information utile pour une autre tâche, ou plus intéressante par exemple) et le coût de la recherche moins lourd (*i.e.* parce que la recherche aborde un domaine ou un système de recherche familier, parce que l'utilisateur est plus motivé...). A l'inverse, lorsque le but de recherche est imposé par une source externe à l'individu, comme c'est le cas pour nos expérimentations, on peut imaginer que le bénéfice

apporté est amoindri (*i.e.* peu de motivations ou d'intérêt, l'information à trouver n'a pas d'autre utilité ou ne sera pas/peu rencontrée à l'avenir...) et son coût plus important (*i.e.* sites web à explorer peu familiers, stress généré par la passation d'une expérience ...). Pour pouvoir investiguer de manière fine les processus cognitifs mis en œuvre en RI, il est nécessaire (au moins dans un premier temps) d'imposer des tâches de recherche communes à tous les utilisateurs afin de garantir des conditions d'observations comparables entre tous les utilisateurs. Ce que cette méthodologie gagne en validité interne peut ne pas refléter totalement le comportement de recherche spontané des utilisateurs lorsqu'ils réalisent des tâches de recherche en contexte plus écologique et avec un but de recherche plus personnel. En effet, de précédents travaux ont montré que lorsqu'un individu recherche de l'information dans un environnement de recherche plutôt usuel, fréquent (que ce soit dans un environnement réel : Kitajima & Toyota, 2012 ou dans un environnement numérique : Tricot, 2006), celui-ci peut trouver des moyens de combler son but de recherche grâce à la récupération de schémas en mémoire. L'individu dans un contexte de recherche familier dispose donc de connaissances et de stratégies de recherche qui soutiennent son activité de recherche tant sur le plan conceptuel (*i.e.* le contenu de sa recherche) qu'opératoire (*i.e.* la manière de mener sa recherche). En revanche, dans un environnement de recherche plus rare, moins familier, l'individu ne dispose pas forcément de stratégies pertinentes pour soutenir son activité. Une partie des stratégies qu'il a automatisées peuvent être transférés à ce nouvel environnement de recherche ; c'est ce que Smith (2015) qualifie notamment de compétences transversales non spécifiquement liées à un domaine. Toutefois, transférer les stratégies pertinentes automatisées ou les habiletés à rechercher de l'information dans un domaine peu familier peut être un challenge ; particulièrement pour les utilisateurs plus âgés dont les ressources en MDT sont très vite saturées dans des tâches de recherche exigeantes. Ainsi, une partie des résultats que nous observons (et que nous pouvons relever dans la littérature) pourrait ne pas être répliquée dans des tâches de RI générées par l'utilisateur lui-même. On pourrait imaginer que lorsqu'un utilisateur âgé décide de rechercher de l'information pour lui-même, il s'investit davantage et ose explorer une plus grande quantité de sites et de pages web différentes que lorsqu'il est face à une tâche imposée par un expérimentateur. Sur un plan méthodologique, certains travaux proposent ainsi de comparer des tâches de recherche spontanées et imposées, ou encore élaborent un compromis en demandant aux individus de choisir une tâche parmi une liste de différentes consignes de recherche (Thatcher, 2008). Ce phénomène est d'autant plus important qu'il risque de toucher plus en profondeur les adultes plus âgés qui disposent de moins de ressources et subissent parfois la menace du stéréotype sur leurs compétences, supposées

moindres, à rechercher de l'information. En effet, nos recherches se sont focalisées sur les facteurs cognitifs pouvant expliquer les différences de comportement des utilisateurs jeunes et plus âgés en RI.

Or, si certaines habiletés cognitives et les connaissances antérieures peuvent expliquer une partie des résultats observés, d'autres facteurs, d'ordre affectif ou motivationnels, pourraient être investigués. Certains travaux ont par exemple montré un effet du sentiment d'auto-efficacité (SAE) dans la tâche de RI sur l'activité de recherche (Rodon & Mayer, 2012). Le sentiment d'auto-efficacité dans la tâche découle de la théorie de Bandura (1977) qui postule que plus un individu a confiance en ses capacités à accomplir correctement une tâche, plus il aura de meilleures performances. Le rôle du SAE dans la tâche de RI nous intéresse pour ce présent travail de thèse dans la mesure où celui-ci peut engendrer des émotions négatives chez les âgés qui subissent souvent le poids d'un stéréotype négatif sur la capacité des seniors à interagir avec les nouvelles technologies. En effet, la menace du stéréotype, qui correspond à la crainte de renforcer des opinions négatives au sein d'une sous-population réputée plus « faible » qu'une autre (Forbes, & Schmader, 2010 ; O'Brien, & Crandall, 2003 ; Schmader & Johns, 2003), peut avoir un impact important sur les ressources disponibles en mémoire de travail et la performance des individus à des tâches. Ainsi, la performance en RI, mais également la capacité des utilisateurs à explorer des pages web, à persévérer malgré la difficulté ou à mettre un terme à l'activité de recherche (que ce soit de renoncer/ abandonner ou arrêter après avoir trouvé une réponse dont l'utilisateur n'est pas certain) pourraient en être affectés. Les utilisateurs plus âgés peuvent souffrir de croyances négatives sur leurs capacités à rechercher de l'information : ils seraient moins compétents et moins aptes à utiliser Internet que les jeunes. Dans nos études, nous n'avons pas observé de différences significatives entre les jeunes et les âgés sur le SAE en RI. Malgré ces résultats, les effets de la menace du stéréotype pourraient tout de même apparaître lorsque les âgés se comparent aux utilisateurs jeunes en RI. C'est d'ailleurs l'un des premiers aspects discutés dans le *debrief* de nos expérimentations avec les participants plus âgés qui déclarent très vite se sentir moins performants et moins habiles avec les nouvelles technologies que les jeunes. Les auteurs travaillant sur le SAE ont montré que le sentiment de compétence en ses capacités à rechercher de l'information sur Internet est fonction de l'usage et de l'expérience d'utilisation d'internet (Rodon & Meyer, 2012). Afin de limiter les risques de la menace de ce stéréotype et de l'usage d'internet, nous avons délibérément choisi de recruter des adultes âgés déclarant utiliser Internet plusieurs fois par semaine. De plus, les dernières études menées dans le présent travail de thèse ont intégré au

protocole expérimental l'échelle de SAE dans l'utilisation d'internet pour répondre à des questions précises de Rodon et Meyer (2012). Nos résultats ont montré que le SAE en RI pouvait en effet soutenir l'exploration d'un plus grand nombre de pages web et la reformulation des requêtes (voir chapitre 11.2.3.2, p217).

12.6 Cadre général des futurs travaux de recherche

Les futurs travaux de recherche que nous mènerons auront pour objectif d'enrichir les bases du modèle de la RI avec moteur de recherche développé dans ce travail de thèse sur un plan fondamental (12.6.1) et appliqué (12.6.2). Nos préoccupations de recherche se focaliseront sur l'étude du coût en ressources cognitives des différentes opérations cognitives menés en RI et de l'impact facilitateur des connaissances sur les traitements des informations et la gestion de l'allocation des ressources sur les processus de rafraichissement et de traitement.

Sur un plan plus général, les deux pistes de recherche présentées dans ces deux volets ambitionnent, d'une part d'analyser en détail certaines étapes de la RI avec un moteur de recherche (*i.e.* l'évaluation des pages de résultats et la sélection des liens), et d'autre part de prendre en compte la dynamique de l'activité de RI. Sur un plan méthodologique, certains de nos travaux ont investigué les différentes stratégies de recherche des adultes jeunes et âgés en phase initiale de l'activité (pour laquelle nous postulons qu'elle se base davantage sur des processus descendants) en comparaison à l'activité globale de recherche. Les indicateurs utilisés étaient plutôt statiques (*i.e.* nombre de mots clés nouveaux, de mots clés issus des problèmes informationnels, des mots clés sémantiquement spécifiques *etc.*). Il nous semble important de poursuivre ces recherches en amorçant l'investigation d'indicateurs plus dynamiques qui prendraient en compte l'évolution des stratégies de reformulation au fur et à mesure de l'activité, des comportements de navigation et d'exploration des sites web consultés...

12.6.1 1^{er} volet de recherche : Perspectives de recherche fondamentales

Une première piste de recherche envisagée s'attachera à mieux caractériser comment les connaissances antérieures soutiennent l'activité des utilisateurs âgés : soit en optimisant les processus de recherche *via* les processus de compréhension soit en impliquant également une compensation de certaines habiletés cognitives fluides (*i.e.* les connaissances antérieures seraient dans ce postulat un médiateur des effets de l'âge sur la RI). Pour déterminer comment les connaissances antérieures facilitent et allègent le coût cognitif des traitements des

informations en RI, un nouveau protocole examinera les stratégies de recherche des utilisateurs jeunes et âgés en situation écologique ou en situation dégradée (*i.e.* protocole de double tâche pour saturer les ressources cognitives disponibles en MDT).

Par ailleurs, pour investiguer nos hypothèses sur le rôle crucial de la flexibilité cognitive, de la vitesse de traitement et du rafraichissement en MDT dans le coût cognitif des processus de traitements et de rafraichissement des informations ainsi que la gestion de l'allocation de ces ressources entre ces deux processus, il nous semble également important d'approfondir les recherches menées auprès de populations jeunes et âgés ayant un moins bon niveau d'études et d'habiletés fluides. De nouvelles expériences répliqueront donc les protocoles utilisés auprès de populations jeunes et âgés sans diplôme d'études supérieures.

Enfin, les futurs travaux de recherche devraient également s'intéresser à l'évolution de la représentation mentale du but de recherche élaborée par les utilisateurs. En effet, au regard du déclin de certains processus cognitifs comme la flexibilité cognitive et le rafraichissement des informations en MDT (Miyake *et al.*, 2000 ; Sharit *et al.*, 2008), les utilisateurs plus âgés pourraient présenter davantage de difficultés que les jeunes à s'adapter à l'évolution de l'activité. Ces difficultés à intégrer de nouvelles informations et à élaborer de nouveaux sous-buts pourraient en effet conduire les adultes âgés à persévérer dans l'exploration d'un chemin navigationnel non pertinent/conduisant à une impasse. Ces difficultés peuvent par exemple se traduire par la reformulation de requêtes via des stratégies de reformulation de bas niveau qui consistent en des changements mineurs (ajouts d'opérateurs/d'articles, changement de l'ordre des mots clés, suppression puis ajouts de mots clés non pertinents précédemment utilisés...). De telles reformulations de requêtes ont peu de chances de permettre au moteur de recherche de fournir de nouveaux résultats pertinents pour le but de recherche. Si les modèles computationnels comme SNIF-ACT (Fu & Gray, 2006 ; Fu & Pirolli, 2007 ; Pirolli & Fu, 2003) peuvent prédire les décisions de changer de piste informationnelle pour explorer une nouvelle sous-partie de l'espace problème de la recherche (*i.e.* soit via la reformulation de requêtes par un changement de mots clés plus radical, soit par l'ouverture d'un nouveau site web), ils sont toutefois insuffisant pour décrire le comportement des utilisateurs âgés. Ainsi, étudier les éléments déclencheurs qui facilitent ou inhibent l'évolution des sous-buts de recherche et des stratégies de recherche des utilisateurs pourrait permettre de soutenir les interactions avec un moteur de recherche (*i.e.* reformulation de requêtes, sélection de sites web *etc*) et à terme soutenir l'efficacité des utilisateurs âgés.

Etude de l'impact des habiletés cognitives évoluant avec l'avancée en âge et des connaissances antérieures sur l'évaluation et la sélection des liens depuis les pages du moteur de recherche

La prochaine expérimentation que nous envisageons de conduire au premier trimestre 2018 (le travail d'élaboration du matériel expérimental a débuté fin 2016) examinera, dans un moteur de recherche expérimental, les effets de l'âge et des connaissances antérieures thématiques (*i.e.* sur le domaine pour lequel les utilisateurs doivent rechercher de l'information) sur l'évaluation et la sélection des liens. Les processus d'évaluation et de sélection des liens sur les pages de résultats du moteur de recherche seront investigués en fonction de leur degré d'appariement lexical et/ou sémantique avec la consigne du problème de RI. Il s'agira, d'analyser l'impact du rang des liens (*i.e.* l'ordre de présentation des liens sur la page de résultats du moteur de recherche) et de la proximité lexicale (*i.e.* mots clés communs) et sémantique (*i.e.* mots clés différents mais proches sur le plan sémantique) entre les liens du moteur de recherche et les requêtes des utilisateurs sur les stratégies d'évaluation et de sélection des liens chez des utilisateurs jeunes et plus âgés. Les résultats empiriques observés dans la littérature nous amènent à postuler que les adultes plus jeunes devraient être influencés par le rang ainsi que le contenu lexical des liens présentés sur les pages du moteur de recherche. Les utilisateurs jeunes devraient davantage se baser sur un appariement lexical avec leur requête ou sur le rang des liens. En d'autres termes, les adultes jeunes devraient sélectionner des liens contenant plus de mots clés communs avec leur requête (*i.e.* mots clés contenus dans la description des liens) et des liens présentés dans les trois premières positions sur la page du moteur de recherche. Les adultes plus âgés, qui semblent avoir plus de difficultés à sélectionner des sites web à visiter (Chevalier *et al.*, 2015 ; Chin & Fu, 2010 ; Sanchiz *et al.*, 2017) devraient mettre plus de temps à sélectionner un site web à consulter et sélectionner plus de sites moins pertinents que les jeunes (*i.e.* liens contenant des mots clés proches sur le plan lexical mais pas pertinents avec le problème de RI sur le plan sémantique). Ces résultats devraient être particulièrement forts lorsque les âgés recherchent de l'information dans un domaine pour lequel ils disposent de peu de connaissances antérieures. En revanche, lorsque les âgés disposent de plus de connaissances antérieures, nous nous attendons à ce qu'ils soient davantage guidés par des stratégies de sélection *top-down* et qu'ils privilégient un appariement sémantique entre leur requête et les liens présentés sur le moteur de recherche. A terme, ces stratégies de sélection descendantes devraient permettre aux adultes plus âgés de sélectionner des sites web plus pertinents et d'obtenir de meilleures performances.

Ces travaux ont pour objectif d'isoler les différentes étapes de la RI en se focalisant sur la phase d'évaluation des pages du moteur de recherche. Toutefois, l'activité de RI étant cyclique, les traitements réalisés pour évaluer les pages du moteur de recherche et sélectionner des liens à visiter peuvent intervenir à différents moments de la recherche (*i.e.* après la première requête produite ou après les possibles multiples reformulations effectuées par les utilisateurs). Ainsi, dans la continuité des travaux réalisés pendant cette thèse, nous nous intéresserons également à l'impact de l'évolution de l'activité sur ces processus d'évaluation et de sélection des liens. Ces investigations nous permettront ainsi d'analyser l'impact des connaissances sur le domaine, des informations extraites sur des pages web et des caractéristiques du moteur de recherche sur la sélection des liens.

L'expérience aura donc un double objectif :

- Analyser l'impact de l'âge sur la sélection des liens : est-ce que les utilisateurs jeunes et âgés se basent plutôt sur l'activation de connaissances en mémoire, et des représentations mentales élaborées (*i.e.* processus *top-down* basés sur des inférences par exemple) ou sur l'extraction de mots clés sur les pages web consultées et leur identification sur les pages du moteur de recherche (*i.e.* processus *bottom-up*) ?
- Analyser comment la sélection des liens évolue au fur et à mesure que les utilisateurs traitent de l'information sur les pages web qu'ils consultent (*i.e.* est-ce que les utilisateurs procèdent d'avantage par identification des mots clés relevés sur les pages web consultées ? Est-ce qu'ils enrichissent leur représentation mentale avec de nouvelles informations découvertes sur les pages web pour produire plus d'inférences et sélectionner des sites web plus pertinents sur le plan sémantique mais ne contenant pas nécessairement les mots clés de leurs requêtes ?).

Cette expérience s'appuiera en outre sur l'utilisation d'un oculomètre pour investiguer avec précision les stratégies d'appariement lexical et sémantique élaborées pour sélectionner les liens depuis le moteur de recherche. Ces travaux seront réalisés durant le premier semestre 2018 en collaboration avec Jean-Christophe Sakdavong (MCF, CLLE) et Pierre-Vincent Paubel (Ingénieur, CLLE) qui travaillent sur les aspects techniques de l'élaboration du moteur de recherche et de l'oculomètre. Une première expérience pilote (10 participants jeunes et 10 plus âgés) a été menée pendant la thèse (premier trimestre 2017) afin de collecter des données sur les sites web et mots clés nécessaires à l'élaboration du contenu de notre moteur de recherche expérimental.

12.6.2 2^{ème} volet de recherche : Perspectives de recherche appliquées

Etude de nouveaux dispositifs d'aide à la RI adaptés aux difficultés des utilisateurs plus âgés

Un second volet de recherche poursuivra l'investigation de dispositifs d'aide à la RI ayant pour objectif de libérer des ressources cognitives en mémoire de travail pour les utilisateurs plus âgés. Ce volet de travaux poursuivra le travail d'analyse des interactions entre les utilisateurs jeunes et âgés et le moteur de recherche. Au regard des résultats empiriques que nous avons observés, il nous semble en effet intéressant de produire un dispositif de guidage ayant pour objectif d'aider les utilisateurs âgés à évaluer les pages de résultats du moteur de recherche et à sélectionner les liens à ouvrir. Au-delà du fait de libérer des ressources en MDT, ce dispositif de guidage devrait soutenir l'exploration de pages web et l'intégration des informations extraites des pages web en une représentation mentale cohérente. Ainsi, cet outil d'aide à la RI guidant les traitements de la page de résultats pourrait alléger la quantité de ressources attentionnelles nécessaire et permettre aux âgés de traiter plus rapidement les résultats du moteur de recherche (*i.e.* sélectionner plus rapidement les liens à ouvrir) pour pouvoir disposer de plus de temps pour rafraichir les informations en MDT. Le dispositif d'aide que nous envisageons d'investiguer aurait une double fonction :

- (1) Fonction d'aide informationnelle : en aidant les utilisateurs (notamment âgés) à comprendre le contenu du site web (élaborer une macro-structure du document pertinente pour la décision de sélectionner ou non le site web en question dans l'objectif de le traiter plus en profondeur pour trouver une information).
- (2) Fonction d'aide organisationnelle et navigationnelle : en aidant les utilisateurs à anticiper le contenu du site web pour leur permettre d'élaborer un parcours de navigation plus cohérent (*i.e.* sélectionner un ou plusieurs sites web qui soient pertinent au regard du but de recherche et ainsi éviter d'allouer des ressources à la navigation et au traitement de pages web peu utiles et distractrices).

En aidant les utilisateurs à anticiper le contenu des sites web et à élaborer une représentation mentale plus cohérente du contenu des sites web proposés par le moteur de recherche, cet outil d'aide à la RI devrait soutenir l'activité des utilisateurs plus âgés et compenser le déclin de la flexibilité cognitive et du maintien et du rafraichissement des informations en MDT.

Références

- Amadiou, F., Bastien, C., & Tricot, A. (2008). Les méthodes on-line 1: Analyse des parcours. Dans Chevalier, A., & Tricot, A. (dir) *Ergonomie des documents électroniques* (p. 251-270). Presses Universitaires de France.
- Amadiou, F., Van Gog, T., Paas, F., Tricot, A., & Mariné, C. (2009). Effects of prior knowledge and concept-map structure on disorientation, cognitive load, and learning. *Learning and Instruction, 19*(5), 376-386. doi: 10.1016/j.learninstruc.2009.02.005
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychological review, 111*(4), 1036. doi: 10.1037/0033-295X.111.4.1036
- Anderson, J. R. & Lebiere, C. (1998). *The atomic components of thought*. Hillsdale, NJ: L. Erlbaum.
- Andrés, P., Guerrini, C., Phillips, L. H., & Perfect, T. J. (2008). Differential effects of aging on executive and automatic inhibition. *Developmental neuropsychology, 33*(2), 101-123. doi: 10.1080/87565640701884212
- Anick, P. (2003, July). *Using terminological feedback for web search refinement: a log-based study*. In Proceedings of the 26th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in informaion retrieval (p. 88-95). ACM. doi: 10.1145/860435.860453
- Arguello, J. (2014). *Predicting search task difficulty*. In M. de Rijke, T. Kenter, A. de Vries, C. Zhai, F. de Jong, & K. Radinsky, et al. (Eds.), Proceedings of the 36th European conference in information retrieval (*ECIR'14*) (p. 88–99). Amsterdam: Springer.
- Armbruster, B. B., & Armstrong, J. O. (1993). Locating information in text: A focus on children in the elementary grades. *Contemporary Educational Psychology, 18*(2), 139-161.
- Aula, A. (2003). *Query formulation in web information search*. Proceedings of the IADIS International Conference. (p.403-410).
- Aula, A. (2005). User study on older adults' use of Web and search engines. *Universal Access in the Information Society, 4*, 67–81. doi: 10.1007/s10209-004-0097-7
- Aula, A., Khan, R. M., & Guan, Z. (2010, April). *How does search behavior change as search becomes more difficult?* In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 35-44). ACM.
- Aula, A., & Nordhausen, K. (2006). Modeling successful performance in Web searching. *Journal of the American Society for Information Science and Technology, 57*(12), 1678-1693. doi: 10.1002/asi.20340
- Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? *Psychology and aging, 12*(1), 12.
- Bandura, A. (1977). Self-efficacy: toward a unifying theory of behavioral change. *Psychological review, 84*(2), 191.
- Barrouillet, P., Bernardin, S., & Camos, V. (2004). Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General, 133*(1), 83. doi: 10.1037/0096-3445.133.1.83
- Barrouillet, P., & Camos, V. (2007a). Le développement de la mémoire de travail. In J. Lautrey (Ed.), *Psychologie du développement et de l'éducation* (pp. 51–86). Paris: PUF.

- Barsky, E., & Bar-Ilan, J. (2012). The impact of task phrasing on the choice of search keywords and on the search process and success. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(10), 1987–2005. doi: 10.1002/asi.22654
- Bayen, U. J., Phelps, M. P., & Spaniol, J. (2000). Age-related differences in the use of contextual information in recognition memory: A global matching approach. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 55(3), P131-P141. doi: 10.1093/geronb/55.3.P131
- Bell, D. J., & Ruthven, I. (2004). Searcher's assessments of task complexity for web searching. In S. McDonald & J. Trait (Eds.), *Advances in information retrieval lecture, notes in computer science* (pp. 57–71). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Benton, A. L., Hamsher, K. D., & Sivan, A. (1989). *Multilingual Aphasia Examination*. Iowa City, IA: AJA Associates. *NEUROPSYCHOLOGY, BLOCKING, SCHIZOPHRENIA*, 59.
- Bétrancourt, M., & Dambreville, S. C. (2006). Comment concevoir des documents électroniques favorisant l'apprentissage? Dans Dessus, P. & Gentaz, E. (dir). *Apprentissages et enseignement*, Dunod, p.163-182, 2006, Sciences cognitives et éducation.
- Bilal, D. (2000). Children's use of the Yahoo!igans! Web search engine: I. Cognitive, physical, and affective behaviors on fact-based search tasks. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 51(7), 646-665. doi: 10.1002/(SICI)1097-4571(2000)51:7<646::AID-ASI7>3.0.CO;2-
- Blackmon, M. H., Kitajima, M., & Polson, P. G. (2005, April). *Tool for accurately predicting website navigation problems, non-problems, problem severity, and effectiveness of repairs*. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (p. 31-40). ACM. doi: 10.1145/1054972.1054978
- Borgman, C. L. (1996). Why are online catalogs still hard to use? *Journal of the American Society for Information Science (1986-1998)*, 47(7), 493.
- Borlund, P., & Dreier, S. (2014). An investigation of the search behaviour associated with Ingwersen's three types of information needs. *Information Processing and Management*, 50(4), 493–507. doi: 10.1016/j.ipm.2014.03.001
- Boucard, G. K., Albinet, C. T., Bugajska, A., Bouquet, C. A., Clarys, D., & Audiffren, M. (2012). Impact of physical activity on executive functions in aging: a selective effect on inhibition among old adults. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(6), 808-827. doi: 10.1123/jsep.34.6.808
- Bowler, L. (2010). The self-regulation of curiosity and interest during the information search process of adolescent students. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 61(7), 1332-1344. doi: 10.1002/asi.21334
- Brand-Gruwel, S., Wopereis, I., & Vermetten, Y. (2005). Information problem solving by experts and novices: Analysis of a complex cognitive skill. *Computers in Human Behavior*, 21(3), 487-508. doi: 10.1016/j.chb.2004.10.005
- Brand-Gruwel, S., Wopereis, I., & Walraven, A. (2009). A descriptive model of information problem solving while using internet. *Computers & Education*, 53(4), 1207-1217. doi: 10.1016/j.compedu.2009.06.004
- Brown, A.S. (1991). A review of the tip-of-the-tongue experience. *Psychological Bulletin*, 109, 204-223. doi: 10.1037/0033-2909.109.2.204
- Bruza, P. D., & Dennis, S. (1997, June). Query reformulation on the internet: Empirical data and the hyperindex search engine. In *Computer-Assisted Information Searching on Internet* (p. 488-499). LE CENTRE DE HAUTES ETUDES INTERNATIONALES D'INFORMATIQUE DOCUMENTAIRE.

- Burke, D. M. (2006). Representation and aging. In Bialystok, E. & Craik, F.I.M. (Eds.) *Lifespan cognition: Mechanisms of change* (p. 193–206). New York: Oxford University Press.
- Burke, D. M., & MacKay, D. G. (1997). Memory, language, and ageing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 352(1363), 1845-1856.
- Burke, D. M., & Shafto, M. A. (2008). Language and aging. *The handbook of aging and cognition*, 3, 373-443.
- Byström, K., & Järvelin, K. (1995). Task complexity affects information seeking and use. *Information Processing & Management*, 31(2), 191-213. doi: 10.1016/0306-4573(94)00041-Z
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2011). Developmental change in working memory strategies: from passive maintenance to active refreshing. *Developmental Psychology*, 47, 898–904. doi: 10.1037/a0023193
- Camos, V., & Barrouillet, P. (2013). Le développement de la mémoire de travail : perspectives dans le cadre du modèle de partage temporel des ressources. *Psychologie Française*, 59(1), 21-39. doi: 10.1016/j.psfr.2012.12.003
- Campbell, D. J. (1988). Task complexity: A review and analysis. *Academy of management review*, 13(1), 40-52.
- Caro, S., & Bétrancourt, M. (1998). Ergonomie de la présentation des textes sur écran: guide pratique. *Hypertextes et Hypermédias. Concevoir et utiliser les hypermédias: approches cognitives et ergonomiques*. Paris: Hermès, 123-137.
- Castel, A. D., & Craik, F. I. (2003). The effects of aging and divided attention on memory for item and associative information. *Psychology and Aging*, 18(4), 873-885. doi: 10.1037/0882-7974.18.4.873
- Dambreville, S. C., & Bétrancourt, M. (2001). *Ergonomie des documents numériques*. Documents numériques Gestion de contenu, Ed. Techniques de l'Ingenieur, p.14.
- Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. Oxford, England: Houghton Mifflin.
- Chang, Y., Ounis, I., & Kim, M. (2006). Query reformulation using automatically generated query concepts from a document space. *Information Processing & Management*, 42(2), 453-468. doi: 10.1016/j.ipm.2005.03.025
- Chevalier, A., & Chevalier, N. (2009). Influence of proficiency level and constraints on viewpoint switching: A study in web design. *Applied Cognitive Psychology*, 23(1), 126-137. doi: 10.1002/acp.1448
- Chevalier, A., Dommès, A., & Marquié, J.C. (2015). Strategy and accuracy during information search on the Web: Effects of age and complexity of the search questions. *Computers in Human Behavior*, 53, 305–315. doi: 10.1016/j.chb.2015.07.017
- Chevalier, A., Rozencwajg, P., & Desjours, B. (2011). *Impact of prior knowledge and computer interface organization in information searching performances: A study comparing younger and older web users*. HCI International 2011–Posters' Extended Abstracts, 373-377.
- Chin, J., Anderson, E., Chin, C. & Fu, W-T. (2015). *Age differences in information search: An exploration-exploitation tradeoff model*. Proceedings of the 59th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society 2015, Los Angeles, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Chin, J., & Fu, W. T. (2010, April). *Interactive effects of age and interface differences on search strategies and performance*. In Proceedings of the SIGCHI Conference on

- Human Factors in Computing Systems (p. 403-412). ACM. doi: 10.1145/1753326.1753387
- Chin, J., Fu, W. T., & Kannampallil, T. (2009, April). *Adaptive information search: age-dependent interactions between cognitive profiles and strategies*. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 1683-1692). ACM. doi: 10.1145/1518701.1518961
- Collette, F., & Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie Française*, 59(1), 41-58.
- Collins, A. M., & Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological review*, 82(6), 407.
- Connelly, S. L., Hasher, L., & Zacks, R. T. (1991). Age and reading: the impact of distraction. *Psychology and aging*, 6(4), 533.
- Crabb, M., & Hanson, V. L. (2014, October). *Age, technology usage, and cognitive characteristics in relation to perceived disorientation and reported website ease of use*. In Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility (p. 193-200). ACM. doi: 10.1145/2856046
- Craik, F. I., & Bialystok, E. (2006). Cognition through the lifespan: mechanisms of change. *Trends in cognitive sciences*, 10(3), 131-138. doi: 10.1016/j.tics.2006.01.007
- Christensen, H., Henderson, A. S., Griffiths, K., & Levings, C. (1997). Does ageing inevitably lead to declines in cognitive performance? A longitudinal study of elite academics. *Personality and Individual Differences*, 23(1), 67-78. doi: 10.1016/S0191-8869(97)00022-6
- Czaja, S. J., Sharit, J., Ownby, R., Roth, D., & Nair, S. (2001). Examining age differences in performance in a complex information search and retrieval task. *Psychology and Aging*, 16(4), 564-579. doi: 10.1145/1089107.1089135.
- Darses, F., & Hoc, J. M. (2015). *Psychologie ergonomique: tendances actuelles*. Presses Universitaires de France.
- Deltour, J. J. (1998). Echelle de vocabulaire Mill-Hill de J.-C. Raven, adaptation française. *EAP, Paris*.
- Deursen, A. V., & van Dijk, J. A. (2010). Measuring internet skills. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 26(10), 891-916. doi: 10.1080/10447318.2010.496338
- Dinet, J., Chevalier, A., & Tricot, A. (2012). Information search activity: An overview. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée/European Review of Applied Psychology*, 62(2), 49-62. doi: 10.1016/j.erap.2012.03.004
- Djouani, M., Caro, S., Boucheix, J.-M. & Bugaiska, A. (2011). *Recherche d'information dans les documents numériques : vers une variation des modalités d'exécution procédurale*. In Proceedings of Conférence en Recherche d'Informations et Applications - CORIA 2011, 8th French Information Retrieval Conference, Gabriella Pasi, Patrice Bellot (Eds.), Éditions Universitaires d'Avignon, Avignon, p. 255-270.
- Djouani, M., Dambreville, S. C., & Boucheix, J. M. (2014). Un système de navigation pour optimiser la recherche d'information sur le web. *Revue des Interactions Humaines Médiatisées*, 15(1), 21.
- Dochy, F., Segers, M., & Buehl, M. M. (1999). The relation between assessment practices and outcomes of studies: The case of research on prior knowledge. *Review of educational research*, 69(2), 145-186.
- Dommes, A., Chevalier, A., & Lia, S. (2011). The role of cognitive flexibility and vocabulary abilities of younger and older users in searching for information on the web. *Applied Cognitive Psychology*, 25(5), 717-726. doi: 10.1002/acp.1743

- Dorot, D., & Mathey, S. (2013). Accès aux représentations sémantiques et phonologiques chez des adultes jeunes et âgés: une étude des mots sur le bout de la langue. *Psychologie Française*, 58(1), 1-16. doi: 10.1016/j.psfr.2012.06.002
- Downing, R. E., Moore, J. L., & Brown, S. W. (2005). The effects and interaction of spatial visualization and domain expertise on information seeking. *Computers in Human Behavior*, 21(2), 195-209. doi: 10.1016/j.chb.2004.03.040
- Duggan, G. B., & Payne, S. J. (2008, April). *Knowledge in the head and on the web: Using topic expertise to aid search*. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (p. 39-48). ACM. doi: 10.1145/1357054.1357062
- Dywan, J., & Murphy, W. E. (1996). Aging and inhibitory control in text comprehension. *Psychology and Aging*, 11(2), 199.
- Eastin, M. S., & LaRose, R. (2000). Internet self-efficacy and the psychology of the digital divide. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 6(1).
- Ecker, U. K., Lewandowsky, S., Oberauer, K., & Chee, A. E. (2010). The components of working memory updating: an experimental decomposition and individual differences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(1), 170. doi: 10.1037/a0017891
- Efthimiadis, E. N. (1996). Query expansion. *Annual review of information science and technology*, 31, 121-187.
- Ekstrom, R. B., French, J. W., Harman, H. H., & Dermen, D. (1976). *Manual for kit of factor-referenced cognitive tests* (p. 109-113). Princeton, NJ: Educational testing service.
- Eppinger, B., Kray, J., Mecklinger, A., & John, O. (2007). Age differences in task switching and response monitoring: Evidence from ERPs. *Biological Psychology*, 75(1), 52-67. doi: 10.1016/j.biopsycho.2006.12.001
- Etcheverry, I., Baccino, T., Terrier, P., Marquié, J. C., & Mojahid, M. (2012). Age differences in information finding tasks: Performance and visual exploration strategy with different web page layouts. *Computers in Human Behavior*, 28(5), 1670-1680. doi: 10.1016/j.chb.2012.04.005
- Etcheverry, I., Terrier, P., & Marquié, J. C. (2012). Assessing Web interaction with recollection: Age-related and task-related differences. *Computers in Human Behavior*, 28(1), 11-22. doi: 10.1016/j.chb.2011.08.004
- Etienne, V., Marin-Lamellet, C., & Laurent, B. (2008). Executive functioning in normal aging. *Revue Neurologique*, 164(12), 1010-1017. doi: 10.1016/j.neurol.2008.03.021
- Feltovich, P. J., Prietula, M. J., & Ericsson, K. A. (2006). Studies of expertise from psychological perspectives. *The Cambridge handbook of expertise and expert performance*, 41-67.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198.
- Foltz, P. W. (1996). Comprehension, coherence, and strategies in hypertext and linear text. *Hypertext and Cognition*, 109-136.
- Fonseca, B. M., Golgher, P. B., De Moura, E. S., Pôssas, B., & Ziviani, N. (2003). Discovering search engine related queries using association rules. *Journal of Web Engineering*, 2(4), 215-227.
- Fonseca, B. M., Golgher, P., Pôssas, B., Ribeiro-Neto, B., & Ziviani, N. (2005, October). *Concept-based interactive query expansion*. In Proceedings of the 14th ACM international conference on Information and knowledge Management (p. 696-703). ACM.

- Forbes, C. E., & Schmader, T. (2010). Retraining attitudes and stereotypes to affect motivation and cognitive capacity under stereotype threat. *Journal of personality and social psychology*, *99*(5), 740. doi: 10.1037/a0020971
- Foubert-Samier, A., Catheline, G., Amieva, H., Dilharreguy, B., Helmer, C., Allard, M., & Dartigues, J. F. (2012). Education, occupation, leisure activities, and brain reserve: a population-based study. *Neurobiology of aging*, *33*(2), 423-425. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2010.09.023
- Fu, W. T., & Gray, W. D. (2006). Suboptimal tradeoffs in information seeking. *Cognitive Psychology*, *52*(3), 195-242. doi: 10.1016/j.cogpsych.2005.08.002
- Fu, W. T., & Pirolli, P. (2007). SNIF-ACT: A cognitive model of user navigation on the World Wide Web. *Human-Computer Interaction*, *22*(4), 355-412.
- Gauducheau, N., Cuisinier, F., & Garitte, C. (2008). Utilisation d'hypermédia et recherche d'information chez les enfants. In Chevalier, A., & Tricot, A. (dir). *Ergonomie des documents électroniques* (p. 103-128). Presses Universitaires de France.
- Gilchrist, A. L., Cowan, N., & Naveh-Benjamin, M. (2008). Working memory capacity for spoken sentences decreases with adult ageing: Recall of fewer but not smaller chunks in older adults. *Memory*, *16*(7), 773-787. doi: 10.1080/09658210802261124
- Gollan, T. H., & Brown, A. S. (2006). From tip-of-the-tongue (TOT) data to theoretical implications in two steps: When more TOTs means better retrieval. *Journal of Experimental Psychology: General*, *135*(3), 462. doi: 10.1037/0096-3445.135.3.462
- Guerrero-Sastoque, L., Bouazzaoui, B., Burger, L., & Taconnat, L. (in press, 2017). Effet du niveau d'études sur les performances en mémoire épisodique chez des adultes âgés: rôle médiateur de la métamémoire. *Psychologie Française*.
- Gwizdka, J., & Spence, I. (2006). What can searching behavior tell us about the difficulty of information tasks? A study of Web navigation. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, *43*(1), 1-22. doi: 10.1002/meet.14504301167
- Hanson, V. L. (2010). Influencing technology adoption by older adults. *Interacting with Computers*, *22*(6), 502-509. doi: 10.1016/j.intcom.2010.09.001
- Hargittai, E. (2002). Beyond logs and surveys: In-depth measures of people's web use skills. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, *53*(14), 1239-1244. doi: 10.1002/asi.10166
- Hargittai, E., & Hinnant, A. (2008). Digital inequality differences in young adults' use of the Internet. *Communication Research*, *35*(5), 602-621. doi: 10.1177/0093650208321782
- Hassan, A., White, R. W., Dumais, S. T., & Wang, Y. M. (2014, February). *Struggling or exploring: disambiguating long search sessions*. In Proceedings of the 7th ACM international conference on Web search and data mining (p. 53-62). ACM. doi: 10.1145/2556195.2556221
- Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2007). Inhibitory mechanisms and the control of attention. *Variation in working memory*, *19*, 227-249.
- Hasher, L., Tonev, S. T., Lustig, C., & Zacks, R. T. (2001). Inhibitory control, environmental support, and self-initiated processing in aging. *Perspectives on human memory and cognitive aging: Essays in honour of Fergus Craik*, 286-297.
- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *Psychology of learning and motivation*, *22*, 193-225.
- Hasher, L., Zacks, R. T., & May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. In Gopher, D. & Koriat, A. (dir). *Attention and Performance. Cognitive Regulation of performance: Interaction of Theory and Application*. (p. 653-675). MIT Press.
- Hatano, G., & Inagaki, K. (1984). Two courses of expertise. *Research and Clinical Center for Child Development Annual Report*, *6*(1), 27-36.

- He, W., Erdelez, S., Wang, F. K., & Shyu, C. R. (2008). The effects of conceptual description and search practice on users' mental models and information seeking in a case-based reasoning retrieval system. *Information Processing & Management*, 44(1), 294-309. doi: 10.1016/j.ipm.2007.03.008
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Curtiss, G. (1993). *Wisconsin card sort test manual: Revised and expanded*. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Helsper, E. J., & Eynon, R. (2013). Distinct skill pathways to digital engagement. *European Journal of Communication*, 28(6), 696-713.
- Hembrooke, H. A., Gay, G. K., & Granka, L. A. (2005). The effects of expertise and feedback on search term selection and subsequent learning. *Journal of American Society Information Science Technology*, 56(8), 861-871. doi: 10.1002/asi.20180
- Hirshman, E., & Bjork, R. A. (1988). The generation effect: Support for a two-factor theory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14(3), 484.
- Hölscher, C., & Strube, G. (2000). Web search behavior of Internet experts and newbies. *Computer Networks*, 33, 337-346. doi: 10.1016/S1389-1286(00)00031-1
- Horn, J. L., & Cattell, R. B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta psychologica*, 26, 107-129.
- Houx, P. J., & Jolles, J. (1993). Age-related decline of psychomotor speed: effects of age, brain health, sex, and education. *Perceptual and motor skills*, 76(1), 195-211.
- Hsieh-Yee, I. (1993). Effects of search experience and subject knowledge on the search tactics of novice and experienced searchers. *Journal of the American Society for Information Science*, 44(3), 161.
- Huang, J., & Efthimiadis, E. N. (2009, November). *Analyzing and evaluating query reformulation strategies in web search logs*. In Proceedings of the 18th ACM conference on Information and knowledge management (p. 77-86). ACM. doi: 10.1145/1645953.1645966
- Hu, R., Lu, K., & Joo, S. (2013). Effects of topic familiarity and search skills on query reformulation behavior. *Proceedings of the Association for Information Science and Technology*, 50(1), 1-9. doi: 10.1002/meet.14505001062
- Ihadjadene, M., & Martins, D. (2004). *Experts dans le domaine et experts en internet: Les effets sur la recherche d'information*. Hermès, 39, 133-142.
- Ingwersen, P. (2000). Users in context. In Agosti, M., Crestani, F., & Pasi, G. (Eds.), *Lectures on information retrieval*. Third European Summer-School, ESSIR, Varenna, Italy (p. 157-178). Heidelberg: Springer-Verlag
- Ingwersen, P., & Järvelin, K. (2005, December). *Information retrieval in context: IRiX*. In ACM SIGIR forum (Vol. 39, No. 2, p. 31-39). ACM.
- Jacoby, L. L. (1978). On interpreting the effects of repetition: Solving a problem versus remembering a solution. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 17(6), 649-667.
- Jamet, É., Lemerrier, C., & Février, F. (2008). Evaluer l'utilisation d'un document a posteriori: les méthodes off-line. In Chevalier, A., & Tricot, A. (dir). *Ergonomie des documents électroniques* (pp. 231-250). Presses Universitaires de France.
- Jansen, B. J., Booth, D. L., & Spink, A. (2009). Patterns of query reformulation during Web searching. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 60(7), 1358-1371. doi: 10.1002/asi.21071
- Jansen, B. J., Spink, A., & Narayan, B. (2007, April). *Query modifications patterns during web searching*. In Information Technology, 2007. ITNG'07. Fourth International Conference on (p. 439-444). doi: 10.1109/ITNG.2007.164

- Jenkins, C., Corritore, C. L., & Wiedenbeck, S. (2003). Patterns of information seeking on the Web: A qualitative study of domain expertise and Web expertise. *IT & society, 1*(3), 64-89.
- Jonassen, D., & Erdelez, S. (2005). Teachers' perceptions about usability of a case library. *Journal of Computing in Teacher Education, 22*(2), 67-74.
- Johnson, M. M., Schmitt, F. A., & Pietrukowicz, M. (1989). The memory advantages of the generation effect: Age and process differences. *Journal of Gerontology, 44*(3), 91-94. doi: 10.1093/geronj/44.3.P91
- Joo, S., & Lee, J. (2011, October). *Assessing effectiveness of query reformulations: Analysis of user-generated information retrieval diaries*. In Proceedings of ASIS&T 2011, New Orleans, LA, USA. doi: 10.1002/meet.2011.14504801272
- Karanam, S., & Oostendorp, H. V. (2016). Modeling Age-related Differences in Information Search. *Mensch und Computer 2016–Workshopband*.
- Karanam, S., & van Oostendorp, H. (2016, May). *Age-related Differences in the Content of Search Queries when Reformulating*. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 5720-5730). ACM. doi: 10.1145/2858036.2858444
- Karisani, P., Rahgozar, M., & Oroumchian, F. (2015). A query term re-weighting approach using document similarity. *Information Processing & Management, 52*(3), 478-489. doi: 10.1016/j.ipm.2015.09.002
- Kelly, D., Cushing, A., Dostert, M., Niu, X., & Gyllstrom, K. (2010, April). *Effects of popularity and quality on the usage of query suggestions during information search*. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 45-54). ACM. doi: 10.1145/1753326.1753334
- Kelly, D., Gyllstrom, K., & Bailey, E. W. (2009, July). *A comparison of query and term suggestion features for interactive searching*. In Proceedings of the 32nd international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (p. 371-378). ACM. doi: 10.1145/1571941.1572006
- Kim, Y., Seo, J., Croft, W. B., & Smith, D. A. (2014). Automatic suggestion of phrasal-concept queries for literature search. *Information Processing & Management, 50*(4), 568-583. doi: 10.1016/j.ipm.2014.03.003
- Kintsch, W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review, 95*(2), 163.
- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology, 55*(4), 352-358. doi: 10.1037/h0043688
- Kitajima, M., Blackmon, M. H., & Polson, P. G. (2000). *A comprehension-based model of Web navigation and its application to Web usability*. In McDonald, S., Waern, Y., & Cockton, G. (Eds.), Proceedings of HCI 2000, People and Computers XIV – Usability of Else (p.357-373). New-York: Springer.
- Kitajima, M., & Toyota, M. (2012). Simulating navigation behaviour based on the architecture model Model Human Processor with Real-Time Constraints (MHP/RT). *Behaviour & Information Technology, 31*(1), 41-58. doi: 10.1080/0144929X.2011.602427
- Kray, J., Li, K. Z., & Lindenberger, U. (2002). Age-related changes in task-switching components: The role of task uncertainty. *Brain and cognition, 49*(3), 363-381.
- Kroustallaki, D., Kokkinaki, T., Sideridis, G., Simos, P. (2015). Exploring students' affect and achievement goals in the context of an intervention to improve web searching skills. *Computers in Human Behaviour, 49*, 156-170. doi: 10.1016/j.chb.2015.02.060

- Kubeck, J. E., Miller-Albrecht, S. A., & Murphy, M. (1999). Finding information on the World Wide Web: Exploring older adults' exploration. *Educational Gerontology*, 25(2), 167–183.
- Kuhlthau, C. C. (1997). Learning in digital libraries: An information search process approach. (1997). *LIBRARY TRENDS*, 45(4), 708-724.
- La Heij, W. (1988). Components of Stroop-like interference in picture naming. *Memory & Cognition*, 16(5), 400-410.
- Landauer, T. K., Foltz, P. W., & Laham, D. (1998). An introduction to latent semantic analysis. *Discourse processes*, 25(2-3), 259-284.
- Lau, T., & Horvitz, E. (1999). *Patterns of search: analyzing and modeling web query refinement*. In UM99 User Modeling (p. 119-128). Springer, Vienna.
- Lawless, K. A., Brown, S. W., Mills, R., & Mayall, H. J. (2003). Knowledge, interest, recall and navigation: A look at hypertext processing. *Journal of Literacy Research*, 35(3), 911-934.
- Lazonder, A. W. (2000). Exploring novice users' training needs in searching information on the WWW. *Journal of computer assisted learning*, 16(4), 326-335. doi: 10.1046/j.1365-2729.2000.00145.x
- Lazonder, A. W., Biemans, H. J., & Wopereis, I. G. (2000). Differences between novice and experienced users in searching information on the World Wide Web. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 51(6), 576-581.
- Lei, P. L., Lin, S. S., & Sun, C. T. (2013). Effect of Reading Ability and Internet Experience on Keyword-based Image Search. *Educational Technology & Society*, 16(2), 151-162.
- Lev-Ari, S., & Keysar, B. (2014). Executive control influences linguistic representations. *Memory & Cognition*, 42(2), 247-263.
- Li, Y., & Belkin, N. J. (2008). A faceted approach to conceptualizing tasks in information seeking. *Information Processing & Management*, 44(6), 1822-1837.
- Lin, Y.C., Liang, J.C., Tsai, C.C. Exploring middle-aged and older adults' sources of internet self-efficacy: a case study. (2013). *Computers in Human Behavior*, 29(6), 2733-2743. doi: 10.1016/j.chb.2013.07.017
- Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1997). Intellectual functioning in old and very old age: cross-sectional results from the Berlin Aging Study. *Psychology and Aging*, 12(3), 410.
- Liu, J., Cole, M. J., Liu, C., Bierig, R., Gwizdka, J., Belkin, N. J., & Zhang, X. (2010, June). Search behaviors in different task types. In *Proceedings of the 10th annual joint conference on Digital libraries* (pp. 69-78). ACM. doi: 10.1145/1816123.1816134
- Liu, C., Cole, M., Belkin, N., Gwizdka, J., & Zhang, X. (2011). *Exploring the effect of task difficulty and domain knowledge on dwell times*. In Proceedings of the fifth workshop on human-computer interaction and information retrieval (HCIR).
- Liu, C., Gwizdka, J., & Belkin, N. (2010). *Analysis of query reformulation types on different search tasks*. In Proceedings of the 2010 iSchool iConference, 477-485.
- Liu, C., Gwizdka, J., Liu, J., Xu, T., & Belkin, N. J. (2010). Analysis and evaluation of query reformulations in different task types. *Proceedings of the American Society for Information Science and Technology*, 47(1), 1-9.
- Liu, P., & Li, Z. (2012). Task complexity: A review and conceptualization framework. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 42(6), 553-568. doi: 10.1016/j.ergon.2012.09.001
- Lucassen, T., Muilwijk, R., Noordzij, M. L., & Schraagen, J. M. (2013). Topic familiarity and information skills in online credibility evaluation. *Journal of the American*

- Society for Information Science and Technology*, 64(2), 254-264. doi: 10.1002/asi.22743
- MacKay, D. G. (2012). *The organization of perception and action: A theory for language and other cognitive skills*. Springer Science & Business Media.
- Marchionini, G. (1989). Information-seeking strategies of novices using a full-text electronic encyclopedia. *Journal of the American Society for Information Science*, 40(1), 54.
- Marquié, J. C., Jourdan-Boddaert, L., & Huet, N. (2002). Do older adults underestimate their actual computer knowledge? *Behaviour & Information Technology*, 21(4), 273-280. doi: 10.1080/0144929021000020998
- Mata, R., & Nunes, L. (2010). When less is enough: Cognitive aging, information search, and decision quality in consumer choice. *Psychology and Aging*, 25(2), 289–298. doi: 10.1037/a0017927
- Martinsky, L., & Navrat, P. (2012). Query formulation improved by suggestions resulting from intermediate web search results. *Computing and Information System*, 16(1), 56-73.
- Matsuda, Y., Uwano, H., Ohira, M., & Matsumoto, K. I. (2009, July). *An analysis of eye movements during browsing multiple search results pages*. In International Conference on Human-Computer Interaction (p. 121-130). Springer Berlin Heidelberg.
- McGinnis, D. (2012). Susceptibility to distraction during reading in young, young-old, and old-old adults. *Experimental aging research*, 38(4), 370-393. doi: 10.1080/0361073X.2012.699365
- Mead, S. E., Spaulding, V. A., Sit, R. A., Meyer, B., & Walker, N. (1997, October). *Effects of age and training on World Wide Web navigation strategies*. In Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Vol. 41, No. 1, p. 152-156. SAGE Publications.
- Meadow, C. T., Hewett, T. T., & Aversa, E. S. (1982). A computer intermediary for interactive database searching. I. Design. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 33(5), 325-332.
- Meiran, N., Gotler, A., & Perlman, A. (2001). Old age is associated with a pattern of relatively intact and relatively impaired task-set switching abilities. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 56(2), 88-102. doi: 10.1093/geronb/56.2.P88
- Mellor, D., Firth, L., & Moore, K. (2008). Can the Internet Improve the Well-being of the Elderly? *Ageing international*, 32(1), 25-42.
- Merritt, K., Smith, D., & Renzo, J. C. D. (2005). An investigation of self-reported computer literacy: Is it reliable. *Issues in Information Systems*, 6(1), 289-295.
- Meyer, T., & Rodon, C. (2004). Trouver sur Internet une réponse à une question: auto-efficacité et illusion de compétence [Finding an answer to a question using the Web: Self-efficacy and illusion of competence]. In Perriault, J. (Ed.), *HERMES—Cognition, communication, politique: Pour une critique de la raison numérique Cognition, communication, politics: a critical approach of the digital mind* (p. 27–34). Paris: CNRS Editions.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49-100. doi: 10.1006/cogp.1999.0734
- Monchaux, S., Amadiou, F., Chevalier, A., & Mariné, C. (2015). Query strategies during information searching: Effects of prior domain knowledge and complexity of the

- information problems to be solved. *Information Processing & Management*, 51(5), 557-569. doi: 10.1016/j.ipm.2015.05.004
- Monoï, S., O'Hanlon, N., & Diaz, K. R. (2005). Online searching skills: Development of an inventory to assess self-efficacy. *The Journal of Academic Librarianship*, 31(2), 98-105.
- Morris, N., & Jones, D. M. (1990). Memory updating in working memory: The role of the central executive. *British journal of Psychology*, 81(2), 111-121. doi: 10.1111/j.2044-8295.1990.tb02349.x
- Mortimer, J. A., & Graves, A. B. (1993). Education and other socioeconomic determinants of dementia and Alzheimer's disease. *NEUROLOGY-MINNEAPOLIS-*, 43, 39-39.
- Muramatsu, J., & Pratt, W. (2001, September). *Transparent Queries: investigation users' mental models of search engines*. In Proceedings of the 24th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (p. 217-224). ACM. doi: 10.1145/383952.383991
- Navarro-Prieto, R., Scaife, M., & Rogers, Y. (1999, July). *Cognitive strategies in web searching*. In Proceedings of the 5th Conference on Human Factors & the Web (p. 43-56).
- Naveh-Benjamin, M. (2000). Adult age differences in memory performance: tests of an associative deficit hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 26(5), 1170. doi: 10.1037/0278-7393.26.5.1170
- Naveh-Benjamin, M., & Craik, F. I. (1995). Memory for context and its use in item memory: comparisons of younger and older persons. *Psychology and aging*, 10(2), 284.
- Naveh-Benjamin, M., Guez, J., Kilb, A., & Reedy, S. (2004). The associative memory deficit of older adults: further support using face-name associations. *Psychology and Aging*, 19(3), 541. doi: 10.1037/0882-7974.19.3.541
- Niu, X., & Kelly, D. (2014). The use of query suggestions during information search. *Information Processing & Management*, 50(1), 218-234. doi: 10.1016/j.ipm.2013.09.002
- O'Brien, L. T., & Crandall, C. S. (2003). Stereotype threat and arousal: Effects on women's math performance. *Personality and Social Psychology Bulletin*, 29(6), 782-789. doi: 10.1177/0146167203029006010
- O'Day, V. L., & Jeffries, R. (1993, May). *Orienteering in an information landscape: how information seekers get from here to there*. In Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems (p. 438-445). ACM.
- Odiijk, D., White, R. W., Hassan Awadallah, A., & Dumais, S. T. (2015, October). *Struggling and success in web search*. In Proceedings of the 24th ACM International on Conference on Information and Knowledge Management (p.1551-1560). ACM. doi: 10.1145/2806416.2806488
- Pajić, D. (2014). Browse to search, visualize to explore: Who needs an alternative information retrieving model? *Computers in Human Behavior*, 39, 145-153. doi: 10.1016/j.chb.2014.07.010
- Pak, R., & Price, M. M. (2008). Designing an information search interface for younger and older adults. *Human Factors*, 50, 614-628. doi: 10.1518/001872008X3123140
- Park, D. C. (2000). The basic mechanisms accounting for age-related decline in cognitive function. In Park, D.C., & Schwarz, N. (Eds.), *Cognitive aging: A primer* (p. 3-21). New York: Psychology Press.
- Park, D. C., Smith, A. D., Lautenschlager, G., Earles, J. L., Frieske, D., Zwahr, M., & Gaines, C. L. (1996). Mediators of long-term memory performance across the life span. *Psychology and Aging*, 11(4), 621-637.

- Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging, 17*(2), 299. doi: 10.1037/0882-7974.17.2.299
- Pirolli, P., & Card, S. (1999). Information foraging. *Psychological review, 106*(4), 643.
- Pirolli, P., & Fu, W. T. (2003). SNIF-ACT: A model of information foraging on the World Wide Web. *User modeling 2003*, 146-146.
- Rieh, S. Y. (2006). Analysis of multiple query reformulations on the web: The interactive information retrieval context. *Information Processing & Management, 42*(3), 751-768. doi: 10.1016/j.ipm.2005.05.005
- Rieh, S. Y., & Xie, H. (2001, November). *Patterns and sequences of multiple query reformulations in web searching: A preliminary study*. In *PROCEEDINGS OF THE ANNUAL MEETING-AMERICAN SOCIETY FOR INFORMATION SCIENCE* (Vol. 38, pp. 246-255). Information Today; 1998.
- Rodon, C., & Meyer, T. (2012). Searching information on the Web and Planning Fallacy: A pilot investigation of pessimistic forecasts. *Revue européenne de psychologie appliquée/European Review of Applied Psychology, 62*(2), 103-109. doi: 10.1016/j.erap.2011.12.004
- Rodon & Meyer, (submission under review, April 2016). The Eight-Item Information Retrieval On The Web Self-Efficacy Scale (IROWSE): First Development And Validation In French and Its Translation Into English. *Computers in Human Behavior*.
- Rodon, C., & Chevalier, A. (2017). Toward More Comprehensive Chinese Internet Users' Studies: Translation and Validation of the Chinese–Mandarin Version of the 8-Item Information Retrieval on the Web Self-Efficacy Scale (Ch-IROWSE). *International Journal of Human–Computer Interaction, 33*(10) 846-855. doi: 10.1080/10447318.2017.1294335
- Rouet, J. F. (2006). *The skills of document use: From text comprehension to Web-based learning*. Psychology Press.
- Rouet, J. F., & Le Bigot, L. (2007). Effects of academic training on metatextual knowledge and hypertext navigation. *Metacognition and Learning, 2*(2-3), 157.
- Rouet, J. F., Ros, C., Jegou, G., & Metta, S. (2004). Chercher des informations dans les menus web: interaction entre tâche, type de menu et variables individuelles. *Le Travail Humain, 67*(4), 377-395. doi : 10.3917/th.674.0377
- Rouet, J. F., & Tricot, A. (1998). Chercher de l'information dans un hypertexte: vers un modèle des processus cognitifs. *Hypertextes et Hypermédiat, 57-74*.
- Salmerón, L., Cañas, J. J., & Fajardo, I. (2005). Are expert users always better searchers? Interaction of expertise and semantic grouping in hypertext search tasks. *Behaviour & Information Technology, 24*(6), 471-475. doi: 10.1080/0144329042000320018
- Salthouse, T. A. (1990). Cognitive competence and expertise in aging. *Handbook of the Psychology of Aging, 3*, 310-319.
- Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review, 103*(3), 403.
- Salthouse, T. (2000). *A Theory of Cognitive Aging* (Vol. 28). Elsevier.
- Salthouse, T. A., Atkinson, T. M., & Berish, D. E. (2003). Executive functioning as a potential mediator of age-related cognitive decline in normal adults. *Journal of Experimental Psychology: General, 132*(4), 566. doi: 10.1037/0096-3445.132.4.566
- Salthouse, T. (2012). Consequences of age-related cognitive declines. *Annual Review of Psychology, 63*, 201-226. doi: 10.1146/annurev-psych-120710-100328

- Schmader, T., & Johns, M. (2003). Converging evidence that stereotype threat reduces working memory capacity. *Journal of personality and social psychology*, 85(3), 440. doi: 10.1037/0022-3514.85.3.440
- Sharit, J., Hernández, M. A., Czaja, S. J., & Pirolli, P. (2008). Investigating the roles of knowledge and cognitive abilities in older adult information seeking on the web. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 15(1), 3. doi: 10.1145/1352782.1352785
- Sharit, J., Taha, J., Berkowsky, R. W., Profita, H., & Czaja, S. J. (2015). Online information search performance and search strategies in a health problem-solving scenario. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(3), 211-228. doi: 10.1177/1555343415583747
- Shute, S. J., & Smith, P. J. (1993). Knowledge-based search tactics. *Information Processing & Management*, 29(1), 29-45.
- Sihvonen, A., & Vakkari, P. (2004). Subject knowledge improves interactive query expansion assisted by a thesaurus. *Journal of Documentation*, 60(6), 673-690.
- Sperandio, J. C. (1980). *La psychologie en ergonomie* (No. 80). Presses universitaires de France.
- Sullivan, S. A., & Puntambekar, S. (2015). Learning with digital texts: exploring the impact of prior domain knowledge and reading comprehension ability on navigation and learning outcomes. *Computers in Human Behavior*, 50, 299-313. doi: 10.1016/j.chb.2015.04.016
- Silvestri, F. (2009). Mining query logs: Turning search usage data into knowledge. *Foundations and Trends® in Information Retrieval*, 4(1-2), 1-174. doi: 10.1561/1500000013
- Sit, R. A. (1998). Online library catalog search performance by older adult users. *Library and Information Science Research*, 20(2), 115-131.
- Slegers, K., Van Boxtel, M. P., & Jolles, J. (2012). Computer use in older adults: determinants and the relationship with cognitive change over a 6year episode. *Computers in Human Behavior*, 28(1), 1-10. doi: 10.1016/j.chb.2011.08.003
- Smith, C. L. (2015). Domain-independent search expertise: A description of procedural knowledge gained during guided instruction. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(7), 1388-1405. doi: 10.1002/asi.23776
- Smith, C. L., Gwizdka, J., & Feild, H. (2017). The use of query auto-completion over the course of search sessions with multifaceted information needs. *Information Processing & Management*, 53(5), 1139-1155. doi: 10.1016/j.ipm.2017.05.001
- Sonderegger, A., Schmutz, S., & Sauer, J. (2016). The influence of age in usability testing. *Applied Ergonomics*, 52, 291-300. doi: 10.1016/j.apergo.2015.06.012
- Spreen, O., & Strauss, E. (1998). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. Oxford University Press.
- Starns, J. J., & Ratcliff, R. (2010). The effects of aging on the speed-accuracy compromise: Boundary optimality in the diffusion model. *Psychology and Aging*, 25(2), 377.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028. doi: 10.1037/a0018022
- Stronge, A. J., Rogers, W. A., & Fisk, A. D. (2006). Web-based information search and retrieval: Effects of strategy use and age on search success. *Human Factors*, 48, 434-446. doi: 10.1518/001872006778606804
- Stuss, D. T. (1992). Biological and psychological development of executive functions. *Brain and Cognition*, 20(1), 8-23.
- Sutcliffe, A. G., Ennis, M., & Watkinson, S. J. (2000). Empirical studies of end-user information searching. *Journal of the American Society for Information*

- Science*, 51(13), 1211-1231. doi: 10.1002/1097-4571(2000)9999:9999<::AID-ASII1033>3.0.CO;2-5
- Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and instruction*, 4(4), 295-312.
- Tabatabai, D. & Shore, B.M. (2005). How experts and novices search the Web. *Library & Information Science Research*, 27(2), 222-248. doi: 10.1016/j.lisr.2005.01.005
- Taconnat, L., Froger, C., Sacher, M., & Isingrini, M. (2008). Generation and associative encoding in young and old adults: The effect of the strength of association between cues and targets on a cued recall task. *Experimental Psychology*, 55(1), 23-30. doi: 10.1027/1618-3169.55.1.23
- Taconnat, L., & Isingrini, M. (2004). Cognitive operations in the generation effect on a recall test: Role of aging and divided attention. *Journal of Experimental Psychology Learning Memory and Cognition*, 30(4), 827-837. doi: 10.1037/0278-7393.30.4.827
- Taconnat, L., & Lemaire, P. (2014). Fonctions exécutives, vieillissement cognitif et variations stratégiques. *Psychologie Française*, 59(1), 89-100. doi: 10.1016/j.psfr.2013.03.007
- Taylor, J. K., & Burke, D. M. (2002). Asymmetric aging effects on semantic and phonological processes: naming in the picture-word interference task. *Psychology and Aging*, 17(4), 662. doi: 10.1037//0882-7974.17.4.662
- Teevan, J., Alvarado, C., Ackerman, M. S., & Karger, D. R. (2004, April). *The perfect search engine is not enough: a study of orienteering behavior in directed search*. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (p. 415-422). ACM. doi: 10.1145/985692.985745
- Thatcher, A. Information-seeking behavior and cognitive search strategies in different search tasks on the WWW. (2006). *International Journal of Industrial Ergonomics*, 36, 1055-1068. doi: 10.1016/j.ergon.2006.09.012
- Thayer, S. E., & Ray, S. (2006). Online communication preferences across age, gender, and duration of Internet use. *Cyber Psychology & Behavior*, 9(4), 432-440. doi: 10.1089/cpb.2006.9.432
- Tobias, S. (1994). Interest, prior knowledge, and learning. *Review of Educational Research*, 64(1), 37-54.
- Tricot, A. (2006) Quelques préalables à un modèle cognitif de la recherche d'information et de l'apprentissage avec documents électroniques. In Piolat, A. (Ed.), *Lire, écrire, communiquer, apprendre avec Internet* (p. 441-462). Marseille: Solal.
- Tricot, A., & Chevalier, A. (2015). *Ergonomie des documents électroniques*. Presses Universitaires de France.
- Tricot, A., & Rouet, J. F. (2004). Chapitre 4. Activités de navigation dans les systèmes d'information. In Tricot, A., & Rouet, J-F. (dir). *Psychologie ergonomique: tendances actuelles* (p. 71-95). Presses Universitaires de France.
- Tsai, M. J., & Tsai, C. C. (2003). Information searching strategies in Web-based science learning: The role of Internet self-efficacy. *Innovations in Education and Teaching International*, 40(1), 43-50. doi: 10.1080/1355800032000038822
- Tu, Y. W. (2005). Eighth graders' Web searching strategies and outcomes: The role of epistemological beliefs. (Unpublished master's thesis). National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.
- Tu, Y. W., Shih, M., & Tsai, C. C. (2008). Eighth graders' web searching strategies and outcomes: The role of task types, web experiences and epistemological beliefs. *Computers & Education*, 51(3), 1142-1153. doi: 10.1016/j.compedu.2007.11.003

- Vakkari, P. (2000, April). Cognition and changes of search terms and tactics during task performance: A longitudinal case study. In *Content-Based Multimedia Information Access-Volume 1* (pp. 894-907). LE CENTRE DE HAUTES ETUDES INTERNATIONALES D'INFORMATIQUE DOCUMENTAIRE.
- Vakkari, P. (2001). Changes in search tactics and relevance judgements when preparing a research proposal a summary of the findings of a longitudinal study. *Information Retrieval*, 4(3), 295-310.
- Vakkari, P. (2002). Subject knowledge, source of terms, and term selection in query expansion: An analytical study. In *Advances in Information Retrieval* (p. 110-123). Springer Berlin Heidelberg.
- Vakkari, P., Pennanen, M., & Serola, S. (2003). Changes of search terms and tactics while writing a research proposal: A longitudinal case study. *Information Processing & Management*, 39(3), 445-463. doi: 10.1016/S0306-4573(02)00031-6
- Van der Elst, W., Van Boxtel, M. P., Van Breukelen, G. J., & Jolles, J. (2006). The Stroop color-word test: influence of age, sex, and education; and normative data for a large sample across the adult age range. *Assessment*, 13(1), 62-79. doi: 10.1177/1073191105283427
- Van Deursen, A. J. (2012). Internet skill-related problems in accessing online health information. *International Journal of Medical Informatics*, 81(1), 61-72. doi: 10.1016/j.ijmedinf.2011.10.005
- Van Deursen, A. J., & van Dijk, J. A. (2009). Improving digital skills for the use of online public information and services. *Government Information Quarterly*, 26(2), 333-340. doi: 10.1016/j.giq.2008.11.002
- Van Deursen, A. J., Van Dijk, J. A., & Peters, O. (2011). Rethinking Internet skills: The contribution of gender, age, education, Internet experience, and hours online to medium-and content-related Internet skills. *Poetics*, 39(2), 125-144. doi: 10.1016/j.poetic.2011.02.001
- Van Deursen, A. J., Van Dijk, J. A., & Peters, O. (2012). Proposing a survey instrument for measuring operational, formal, information, and strategic internet skills. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 28(12), 827-837. doi: 10.1080/10447318.2012.670086
- Van Deursen, A. J., & Van Dijk, J. A. (2014). Modeling traditional literacy, Internet skills and Internet usage: An empirical study. *Interacting with Computers*, 28(1), 13-26. doi: 10.1093/iwc/iwu027
- van Oostendorp, H., Karanam, S., & Indurkha, B. (2012). CoLiDeS+ Pic: a cognitive model of web-navigation based on semantic information from pictures. *Behaviour & Information Technology*, 31(1), 17-30. doi: 10.1016/j.procs.2012.10.080
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary score: A meta-analysis. *Psychology and Aging*, 18(2), 332.
- Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: a review of meta-analyses. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 26(7), 849-857.
- Verhaeghen, P., & Salthouse, T. A. (1997). Meta-analysis of age differences in job performance. *Journal of Applied Psychology*, 71, 33-38.
- Volkow, N. D., Logan, J., Fowler, J. S., Wang, G. J., Gur, R. C., Wong, C., Felder, C., Gatley, S.J., Ding, Y.S., Hitzemann, R., & Pappas, N. (2000). Association between age-related decline in brain dopamine activity and impairment in frontal and cingulate metabolism. *American Journal of Psychiatry*, 157(1), 75-80. doi: 10.1176/ajp.157.1.75

- Vörös, Z., Rouet, J. F., & Pléh, C. (2011). Effect of high-level content organizers on hypertext learning. *Computers in Human Behavior*, 27(5), 2047-2055. doi: 10.1016/j.chb.2011.04.005
- Wagner, N., Hassanein, K., & Head, M. (2014). The impact of age on website usability. *Computers in Human Behavior*, 37, 270-282. doi: 10.1016/j.chb.2014.05.003
- Weschler, D. (1955). *Manual for the Weschler adult intelligence scale*. New York: Psychological Corporation.
- Wechsler, D. (1981). *WAIS-R manual: Wechsler adult intelligence scale-revised*. Psychological Corporation.
- White, R. W., Dumais, S. T., & Teevan, J. (2009, February). *Characterizing the influence of domain expertise on web search behavior*. In Proceedings of the Second ACM International Conference on Web Search and Data Mining (p. 132-141). ACM. doi: 10.1145/1498759.1498819
- White, R. W., & Morris, D. (2007, July). *Investigating the querying and browsing behavior of advanced search engine users*. In Proceedings of the 30th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval (p. 255-262). ACM. doi: 10.1145/1277741.1277787
- Wildemuth, B., Freund, L., & Toms, E. (2013, June). *Designing known-item and fact-finding search tasks for studies of interactive information retrieval*. In Proceedings of the second association for information science and technology ASIS&T (European Workshop) (p. 131-162).
- Willoughby, T., Anderson, S.A., Wood, E., Mueller, J., & Ross, C. (2009). Fast searching for information on the Internet to use in a learning context: The impact of domain knowledge. *Computers & Education*, 52, 640-648. doi: 10.1016/j.compedu.2008.11.009
- Xie, B. (2007). Older Chinese, the Internet, and well-being. *Care Management Journals*, 8(1), 33.
- Xie, B. (2008). Multimodal Computer-Mediated Communication and Social Support among Older Chinese Internet Users. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 13(3), 728-750. doi: 10.1111/j.1083-6101.2008.00417.x
- Xu, J., & Croft, W. B. (2000). Improving the effectiveness of information retrieval with local context analysis. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*, 18(1), 79-112. doi: 10.1145/333135.333138
- Zacks, R., & Hasher, L. (1997). Cognitive gerontology and attentional inhibition: A reply to Burke and McDowd. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 52(6), 274-283.
- Zazo, Á. F., Figuerola, C. G., Berrocal, J. L. A., & Rodríguez, E. (2005). Reformulation of queries using similarity thesauri. *Information Processing & Management*, 41(5), 1163-1173. doi: 10.1016/j.ipm.2004.05.006
- Zhang, X., Angheliescu, H. G., & Yuan, X. (2005). Domain Knowledge, Search Behaviour, and Search Effectiveness of Engineering and Science Students: An Exploratory Study. *Information Research: An International Electronic Journal*, 10(2).
- Zigurs, I., & Buckland, B. K. (1998). A theory of task/technology fit and group support systems effectiveness. *MIS quarterly*, 313-334.

Chapitre 13 Annexes

Annexe 1 : Vue d'ensemble des principales stratégies de reformulations étudiées en recherche d'informations.

Etudes	Stratégies de reformulation liées au contenu des requêtes	Principaux résultats
Rieh, & Xie, 2001 (reprend Lau & Horvitz, 1999)	Nouvelle requête (changement de la totalité des mots clés) Généralisation, Spécialisation Interruption (requête portant sur un autre topic que les requêtes précédentes) Substitution de mots clés et Ajout, et Suppression de mots clés	80 % des reformulations sont des changements sémantiques (31,5% de spécification et 17% de généralisation) Modifications de format pour 14,6% des reformulations
Jansen & Booth, 2009 (reprend Jansen <i>et al.</i> , 2007)	Nouvelle requête Changement de bases de données/contenu (images, web) Généralisation sémantique et Spécification sémantique Avec assistance	Assistance à la reformulation utilisée principalement au départ d'une nouvelle recherche ou en cas de changements de bases de données.
Huang & Efthimiadis, 2009	Changement d'ordre et Ajout d'espaces et Correction de ponctuation Ajouts de mots clés, Suppression de mots clés et Substitution de mots clés Expansion d'acronymes	Ajouts, suppression, substitutions de mots clés et corrections orthographiques apportent des résultats plus pertinents sur les pages de moteur de recherche
Liu, & Gwidzka, 2010	Généralisation (mots clés reformulés identiques mais requête plus courte), Généralisation avec reformulation (requête contient des mots clés anciens nouveaux) Spécialisation (requête plus longue, avec tous les mots clés anciens et des nouveaux) Spécialisation avec reformulation (mots clés communs, nouveaux et requête plus longue) Substitution de mots clés, et Substitution de mots clés par des synonymes Changement de forme (mots clés identiques) et Changement de l'intégralité des mots clés	Stratégies spécialisation, substitution de synonymes et généralisation sont les plus fréquemment utilisées Pour un but de recherche de précis, les utilisateurs font davantage de spécialisation avec reformulation, de spécialisation, de substitution et de reformulations par synonymes que pour de collecte d'informations
Dommes, Lia, & Chevalier, 2011	Nouveaux mots clés Mots clés issus de la question Reformulation complète (changement de l'intégralité des mots clés) Longueur des requêtes (nombre de mots clés)	Âgés reformulent moins que les jeunes. Âgés utilisent plus de mots clés issus des questions de recherche et produisent moins de mots clés nouveaux.
Hu, Lu, & Joo, 2013	Spécification, Généralisation Substitution parallèle (après une requête peu fructueuse, les utilisateurs substituent un ou plusieurs mots clés par un concept nouveau du domaine) Substitution par synonyme (qui ne change pas le contenu sémantique de la requête) Changements de la forme de la requête : opérateurs, abréviations, prépositions Correction orthographique	Experts du domaine reformulent moins que les novices et tendent à utiliser plus de généralisation que les novices Reformulations spécification et généralisation plus fréquentes Les novices tendent à utiliser davantage les stratégies spécification et substitution parallèle
Karanam & van Oostendorp, 2016	Généralisation, Spécialisation Degré de pertinence sémantique	Âgés font moins de stratégies généralisation et spécialisation (particulièrement pour les tâches difficiles). Pas d'effet de l'âge sur la pertinence sémantique. Le degré de pertinence sémantique des requêtes déclinent au fur et à mesure chez les âgés.

Annexe 2a : récapitulatif des méthodes d'opérationnalisation de la complexité objectives des tâches de recherche d'informations

Facteurs	Type de tâche de recherche
Type de but de recherche	Faits précis vs butinage (general purpose browsing task), Thatcher, 2008 ou Recherche de faits (fact-finding) vs construction de sens (open-ended/ information gathering), (Aula & Nordhausen, 2005 ; Aula <i>et al.</i> , 2010 ; Chin & Fu, 2010 ; Liu <i>et al.</i> , 2010) But de navigation (localiser un hyper lien) vs contenu (compréhension détaillée des contenus), Etcheverry <i>et al.</i> , 2011 But factuel, interprétatif ou exploratoire (Kim, 2006).
Quantité d'informations à traiter	Ajouts de contraintes et incitations à explorer l'espace-problème de la tâche (David, Song, Hayes, & Fredin, 2007) : nombre de pages web à visiter, nombre de requêtes nécessaires (Aula <i>et al.</i> , 2010 ; Giwzdk & Spence, 2006 ; Zhou, 2013) Tâche complexes à détailler en sous-buts à réaliser pour compléter la tâche de RI (Hölscher & Strube, 2000) Grande quantité de sources d'informations à consulter (Ingwersen & Järvelin, 2005)
Degré d'informations utiles fournies par la tâche	Quantité de mots clés utiles fournis par les consignes: Tâches simples (mots clés utiles fournis), difficiles (mots clés utiles non fournis), (Chevalier <i>et al.</i> , 2015 ; Dommes <i>et al.</i> , 2011 ; Karanam & van Oostendorp, 2016 ; Monchaux <i>et al.</i> , 2015 ; Pajic, 2014 ;) Tâches littérales ou inférentielles (avec mots clés utiles ou synonymes), Rouet <i>et al.</i> , 2004 Tâches longues ou courtes (consigne contient plus ou moins de mots clés), Rouet <i>et al.</i> , 2004
Caractéristiques de l'environnement	Interface plus ou moins complexe nécessitant des connaissances antérieures Chin et Fu, 2010 Structure des menus des sites web (largeur, organisation, profondeur), Rouet <i>et al.</i> , 2004 Mots clés communs entre l'environnement de recherche (menus d'un site web par exemple) et les consignes de la tâche (Barsky & Bar-Ilan, 2012 ; Chevalier, Maury, & Fouquereau, 2014)
Degré de précision	Tâches bien définies (fait précis, chemin de navigation clair), tâches moins bien définies (but flou, plusieurs réponses possibles...), (Bell & Ruthven, 2004 ; Sharit <i>et al.</i> , 2008 ; Chin <i>et al.</i> , 2009 ; Hanson, 2010)
Autres critères	Pression temporelle (Lazonder <i>et al.</i> , 2000), but contextuel de la RI (ex : réaliser un exposé complexe, Jenkins <i>et al.</i> , 2003) Niveau de familiarité ou accessibilité des concepts abordés par la tâche de recherche (déterminé <i>a priori</i>) Chin <i>et al.</i> 2015 Aspect évolutif des caractéristiques des tâches : Tâches impossibles (l'utilisateur doit découvrir au fur et à mesure de l'activité qu'il n'y a pas de bonne réponse, Dommes <i>et al.</i> , 2011 ; Monchaux <i>et al.</i> , 2015 ; Chevalier <i>et al.</i> , 2015) ou tâches présentées avec les mêmes caractéristiques mais sans distinction <i>a priori</i> possible de la complexité, (Aula <i>et al.</i> , 2010)

Annexe 2b : récapitulatif des méthodes d'opérationnalisation de la complexité subjective des tâches de recherche d'informations

Complexité perçue	Auto-évaluation à posteriori de la complexité de la tâche (Kelly <i>et al.</i> , 2010)
Niveau de familiarité	Familiarité avec le domaine (Ingwersen, 2000 ; Sihvonen & Vakkari, 2004 ; Hu <i>et al.</i> , 2013 ; Borlund & Dreier, 2014 ; Pajic, 2014) Variation du type de buts de recherche (confirmation vs exploration) en fonction de la familiarité avec le domaine (Borlund & Dreier, 2014) Auto-évaluation à posteriori de la familiarité avec le domaine (Kelly <i>et al.</i> , 2010)
Niveau de connaissances antérieures	Domaine de connaissances pour lequel les utilisateurs ont un bon niveau de connaissances antérieures et un domaine pour lequel ils ont de faibles connaissances antérieures (Hölscher & Strube, 2000 ; Jenkins <i>et al.</i> , 2003)
Habilités RI/	Expertise tâches de RI (faible vs fort) (Hölscher & Strube, 2000 ; Jenkins <i>et al.</i> , 2003 ; Thatcher, 2008 ; Vakari <i>et al.</i> , 2003)

Annexe 3 : Synthèse des principales épreuves cognitives mesurant les habiletés fluides et cristallisées sensibles au vieillissement cognitif.

	Tests/ épreuves cognitives utilisées	Résultats principaux
Vitesse de traitement	<ul style="list-style-type: none"> Digit Symbol Substitution, (Wechsler, 1955) Digit Letter Substitution Test (Lindenberger & Baltes, 1997; Van der Elst, <i>et al.</i>, 2006) Barrage de lettres (Ekstrom, <i>et al.</i>, 1976) XO comparison (Salthouse, 1996) Motor Choice reaction time (Houx & Jolles, 1993) 	<ul style="list-style-type: none"> Moins niveau de vitesse de traitement chez les plus âgés (Lindenberger & Baltes, 1997 ; Salthouse, 1993 ; Sharit <i>et al.</i>, 2008) ; dans la méta-analyse de Verhaeghen & Salthouse (1997) : dans 75 études, la vitesse de traitement est le facteur le plus impacté par l'âge. Impact de l'âge sur vitesse de traitement modéré par le niveau d'éducation (Lindenberger <i>et al.</i>, 1993 ; Salthouse <i>et al.</i>, 2003) et le niveau de vocabulaire (dans des épreuves incluant des items sémantiquement signifiant (Salthouse, 1993). Lorsque l'épreuve est sur ordinateur différences liées à l'âge sont plus fortes
Flexibilité	<ul style="list-style-type: none"> Fluence verbale (lexicale « lettre S » ou sémantique « animaux »), (Benton <i>et al.</i>, 1989 ; Sharit <i>et al.</i>, 2008) Trail Making test (Spren et Strauss, 1998) 	<ul style="list-style-type: none"> Âgés ont un niveau de flexibilité plus faible que les jeunes (Sharit, <i>et al.</i>, 2008 ; Dommes <i>et al.</i>, 2011) et de fluence (cf revue des études de Salthouse <i>et al.</i>, 2003) MAIS plus d'effets de l'âge sur la fluence dans des travaux plus récents (particulièrement avec des items sémantiquement signifiant, Salthouse <i>et al.</i>, 2003 ; Salthouse <i>et al.</i>, 2008) Effets de l'âge modéré par le niveau de vocabulaire (Salthouse, 1993)
	<ul style="list-style-type: none"> Wisconsin Card Sorting test (avec maintien en MDT), Heaton <i>et al.</i>, 1993 	<ul style="list-style-type: none"> Voir revue des effets de l'âge pour le WCST de Salthouse <i>et al.</i>, 2003) Performances des âgés moins bonnes sur : le nombre de bonnes réponses, de catégories complétées, d'erreurs persévératrices (ou non persévératrices), d'essai à la première catégorie mais pas d'effet de l'âge sur le maintien en mémoire et l'apprentissage des stratégies (Salthouse <i>et al.</i>, 2003)
	<ul style="list-style-type: none"> Paradigme de double tâche / tâches interférente 	<ul style="list-style-type: none"> Les effets de l'âge s'observent plus ou moins selon le type de tâche interférente utilisée, sa proximité avec la tâche principale et la complexité de la tâche principale (ex : peu d'effets de l'âge lorsque la tâche principale est une tâche visuo-motrice de pointage et la tâche interférente une tâche d'association de (Salthouse et Miles, 2002)
Inhibition	<ul style="list-style-type: none"> Stroop (Van der Elst <i>et al.</i>, 2006) Interférences en lecture (Connelly <i>et al.</i>, 1991; McGinnis, 2012) 	<ul style="list-style-type: none"> Performances des âgés plus faibles (Salthouse <i>et al.</i>, 2003) Âgés plus sensibles que les jeunes aux interférences en lecture (Connelly <i>et al.</i>, 1991), particulièrement si les items interférent sont sémantiquement pertinents avec tâche principale (McGinnis, 2012)
Rafraichissement en MDT	<ul style="list-style-type: none"> N-back (Kirchner, 1958) Tâche de monitoring (Salthouse <i>et al.</i>, 2003) 	<ul style="list-style-type: none"> Âgés ont un moins bon niveau de rafraichissement en MDT : plus grand nombre d'erreurs pour le rappel d'items 0-back, 1-back et 2-back (Miyake <i>et al.</i>, 2000) et plus grand nombre de décisions correctes, de fausses alarmes et d'erreurs sur tâches de monitoring (Salthouse <i>et al.</i>, 2003).
Mémoire verbale	<ul style="list-style-type: none"> Visual verbal Learning test (van der Elst <i>et al.</i>, 2005) Rappel libre et/ rappel indicé 	<ul style="list-style-type: none"> Effets négatifs de l'âge plus important pour les tâches de rappel libre en comparaison aux tâches de reconnaissance (Taconnat, & Lemaire, 2014)
Vocabulaire	<ul style="list-style-type: none"> WAIS-R vocabulary test (Wechsler, 1981) Epreuve du Mill Hill (Deltour, 1998) 	<ul style="list-style-type: none"> Meilleur niveau de vocabulaire pour les plus âgés (Dommes <i>et al.</i>, 2011 ; Sharit <i>et al.</i>, 2008 ; Verhaeghen, 2003)

Annexe 4 : Problèmes de recherche élaborés pour l'ensemble des travaux de recherche menés pendant la thèse (en bleu le domaine manga/films fantastiques, en noir le domaine santé)

	Simple	Inférentiels	Multicritères/ouverts
Etude 1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qui est le frère de Freezer dans dragon Ball ? 2. Quelle est la profession d'Eikichi Onizuka ? 3. Quelle partie du corps est touchée par l'arthrose ? 4. Quelle est le nom d'une nécrose partielle d'une partie du muscle cardiaque ? 	<ol style="list-style-type: none"> 5. Quel est le thème de la série gundam ? 6. Quel est le nom de l'objet contondant qu'utilise Marechiyo omaeda dans Bleach ? 7. Quelle action teinte le sang ? 8. Quel est le nom de la maladie dont l'embolie pulmonaire est le retentissement ? 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Sophie s'intéresse au baseball. Conseillez-lui un manga pour filles qu'elle pourrait aimer. 10. Antoine s'intéresse à la cuisine et aime lire des BD. Conseillez-lui une BD manga sur la gastronomie qu'il pourrait aimer. 11. Madame Martin, âgée de 60 ans, souffre de douleurs dans la poitrine et à des difficultés à respirer. Selon vous, de quelle maladie pourrait-elle souffrir ? 12. Alexandre, âgé de 7 ans, chute souvent. Il a aussi des problèmes d'audition. Selon vous, de quelle maladie pourrait-il souffrir ?
Etude 2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Qui est le frère de Cyclope dans la saga X-men ? 2. Quel est le métier de Peter Venkman dans le film SOS fantôme ? 3. Quelle partie du corps est touchée par l'arthrose ? 4. Quel est le nom d'une nécrose partielle d'une partie du muscle cardiaque ? 	<ol style="list-style-type: none"> 5. Quel est le nom du moyen de locomotion avec lequel Luke Skywalker détruit l'étoile noire dans Star Wars ? 6. Quel est le nom du capitaine qui vient aider au péril de sa vie le peuple assiégé du Rohan dans le seigneur des anneaux ? 7. Quelle action teinte le sang ? 8. Quelle substance, produite par un organe du corps humain, permet à l'organisme d'une personne de stocker un excédent de nutriments dans le corps ? 	<ol style="list-style-type: none"> 9. Anne s'intéresse aux films d'épouvante et à l'univers fantastique. Elle souhaite découvrir les meilleurs films du genre. Elle souhaiterait regarder des films contenant au moins une suite mais aimerait cependant éviter les films trop violents (déconseillés aux moins de 16 ans). 10. Antoine est passionné par les animaux et le cinéma fantastique. Il souhaite acheter une série de films fantastiques ou de science-fiction faisant la part belle aux animaux. Même s'il est un peu rebuté par les films en noir et blanc, il a très envie de découvrir de vieux films du genre. 11. Madame Martin, âgée de 62 ans, souffre de douleurs dans la jambe droite et de difficultés à se déplacer. Depuis peu, Madame Martin a également de fortes douleurs dans la jambe au repos (la nuit par exemple). Son fils, en déplaçant sa jambe a également constaté que celle-ci ci était froide et ne présentait pas de pouls. A votre avis, de quelle maladie souffre-t-elle ? 12. Alexandre, âgé de 7 ans, chute souvent et souffre de problèmes d'audition depuis peu. Alexandre a également souffert eu une otite il y a peu. A votre avis, de quelle maladie souffre-t-il ?

Etude 3	<ol style="list-style-type: none"> 1. What is the name of Luke Skywalker's means of transportation that he used when he destroyed the Death Star in Star Wars? 2. What group of fantastic heroes is composed of 4 creatures, specialized in martial arts, who live in New York's underground, and were heroes of several movies and TV series. 3. Two friends are trying to recall the name of a famous event in which a captain led an army to save the sieged people of Rohan in the Lord of the Rings. "I bet it's when Captain Boromir died", said the first one. "I don't know... not sure" Find some information to help these people. 4. How does the human body protection system protects the body from attacks such as the flu? 5. What substance produced by the body allows an individual to stock an excess of nutrients in the body? 6. You heard nearby two colleagues of yours debate on which action taints blood. "I wonder what action taints blood", asked the first one. "I think it's due to an excess of glucoses said the second one. Search on the internet to find some information to help these people. 		
Etude 4 (domaines divers)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Quel président est passé de la force tranquille à la force fragile suite à l'officialisation de sa maladie? 2. Quelle est la durée de gestation de l'ours polaire ? 3. Qui est l'auteur du roman Le sabotage amoureux ? 	<ol style="list-style-type: none"> 4. Comment a été parodiée la phrase clé du discours donné par le Président de la République française à Alger en 1958 ? 5. Comment les abeilles déterminent-elles l'emplacement de leur habitation ? 6. Comment s'appelle le groupe musical français urbain composé de 5 artistes du sud de la France aux noms égyptiens ? 	<ol style="list-style-type: none"> 7. Quelle émission politique créée dans les années 1970, présentée par un duo de journalistes célèbres a reçu des invités politiques illustres comme François Mitterrand, Georges Marchais ? 8. Quel écrivain français, maître du suspense et du fantastique, a écrit un best-seller fantastique historique et une série de romans jeunesse fantastiques dont l'héroïne possède des pouvoirs surnaturels ? 9. Sam, 13 ans, recherche un costume pour Halloween. Il souhaiterait trouver un costume de personnage plutôt vert, qui tiendrait une épée ou un arc et des flèches et qui aurait des pouvoirs spéciaux. Conseillez-lui un costume respectant ses critères.

Annexe 5a : Questionnaire mesurant les connaissances antérieures sur le domaine de l'expérience 1

Domaine manga	Domaine santé
<p>En général, les mangas sont classés par :</p> <p><input type="checkbox"/> <u>Âge et sexe</u></p> <p><input type="checkbox"/> Auteurs</p> <p><input type="checkbox"/> Prix</p> <p>Une majorité de mangas est basée sur le thème du :</p> <p><input type="checkbox"/> Shojo</p> <p><input type="checkbox"/> Seinen</p> <p><input type="checkbox"/> <u>Shonen</u></p> <p>La première forme de manga est apparue au Japon au :</p> <p><input type="checkbox"/> <u>12ème siècle</u></p> <p><input type="checkbox"/> 19ème siècle</p> <p><input type="checkbox"/> 16ème siècle</p> <p>Le manga a été influencé par :</p> <p><input type="checkbox"/> La culture indienne</p> <p><input type="checkbox"/> <u>La culture européenne</u></p> <p><input type="checkbox"/> La culture coréenne</p> <p>En France la lecture de mangas est plutôt une activité :</p> <p><input type="checkbox"/> <u>D'adolescents</u></p> <p><input type="checkbox"/> D'adultes</p> <p><input type="checkbox"/> D'enfants</p> <p>On a souvent reproché au manga :</p> <p><input type="checkbox"/> D'être un produit trop cher</p> <p><input type="checkbox"/> De n'être pas adapté à la culture française</p> <p><input type="checkbox"/> <u>De véhiculer des images de sexe et de violence</u></p> <p>En général les mangas sont publiés en :</p> <p><input type="checkbox"/> <u>Volumes</u></p> <p><input type="checkbox"/> Trilogie</p> <p><input type="checkbox"/> Intégral</p> <p>Les mangas sont souvent adaptés en :</p> <p><input type="checkbox"/> Comédies</p> <p><input type="checkbox"/> Films</p> <p><input type="checkbox"/> <u>Dessins animés</u></p> <p>Le manga se distingue dans son rendu visuel par :</p> <p><input type="checkbox"/> Une attention particulière portée aux couleurs</p> <p><input type="checkbox"/> <u>Une exagération graphique</u></p> <p><input type="checkbox"/> La prédominance des dialogues</p> <p>Dans les mangas, la réalisation d'une action est souvent représentée de manière :</p> <p><input type="checkbox"/> <u>Décomposée</u></p> <p><input type="checkbox"/> Fluide et continue</p> <p><input type="checkbox"/> Très rapide</p>	<p>Les varices sont des dilatations des parois de certains vaisseaux sanguins. Mais, de quel type de vaisseaux s'agit-il ?</p> <p>Les artères</p> <p>Les capillaires</p> <p><u>Les veines</u></p> <p>Une cholécystite est une inflammation :</p> <p>Du colon</p> <p>Du pancréas</p> <p><u>De la vésicule biliaire</u></p> <p>Au niveau des articulations, les os sont liés entre eux par :</p> <p><input type="checkbox"/> Des muscles</p> <p>Des tendons</p> <p><u>Des ligaments</u></p> <p>Un de ces symptômes ne fait pas partie de la maladie de Parkinson :</p> <p><u>L'hypotonie musculaire</u></p> <p>L'akinésie</p> <p>La micrographie</p> <p>La dégénérescence de l'articulation de la hanche est une :</p> <p><u>Coxarthrose</u></p> <p>Coxalgie</p> <p>Arthrite</p> <p>La vision centrale disparaît dans le champ visuel lors de cette pathologie :</p> <p>La cataracte</p> <p>Le glaucome</p> <p><u>La DMLA</u></p> <p>La myopathie est une maladie :</p> <p>Du cœur</p> <p><u>Des muscles</u></p> <p>Des reins</p> <p>Une artère transporte le sang :</p> <p>Des organes vers le cœur</p> <p><u>Du cœur vers les organes</u></p> <p>Du cœur vers les poumons</p> <p>Quelle maladie entraîne le plus de décès au monde :</p> <p>Le cancer du poumon</p> <p>Les accidents vasculaires cérébraux (AVC)</p> <p><u>Les infarctus</u></p> <p>Le diabète de type 2 par comparaison au diabète de type 1 :</p> <p>est insulinodépendant</p> <p><u>est souvent caractéristique d'un sur poids</u></p> <p>apparaît généralement pendant l'enfance</p>

Annexe 5b : Questionnaire mesurant les connaissances antérieures sur le domaine de l'expérience 2

Domaine films fantastiques	Domaine santé
<p>Quelle voiture est utilisée pour voyager dans le temps dans la trilogie Retour vers le Futur ?</p> <p>Une cadillac <u>Une delorean</u> Une mustang Une chevrolet Impala Je ne sais pas</p> <p>Dans quel film Thomas Anderson, jeune programmeur informatique apprend par Morpheus qu'il vit dans un monde illusoire?</p> <p>Inception Total Recall <u>Matrix</u> Existenz Je ne sais pas</p> <p>A quel personnage appartiennent ces accessoires ?</p>  <p>Jake Sully <u>Indiana Jones</u> Alan Quatermain Je ne sais pas</p> <p>Laquelle de ces franchises célèbres est la plus ancienne?</p> <p><u>Jurassic Park</u> Harry Potter Le seigneur des anneaux Matrix Je ne sais pas</p> <p>Lequel de ces films a été un des premiers succès du film en 3D?</p> <p>Le seigneur des anneaux Terminator Iron Man 3 <u>Avatar</u> Je ne sais pas</p> <p>Comment appelle-t-on le studio à l'origine des films Iron Man ?</p> <p>Dc comics <u>Marvel</u> Capcom Disney Je ne sais pas</p> <p>Quel acteur a incarné Superman pour la première fois au cinéma en 1978 ?</p> <p>Christopher Lee <u>Ian Mc Kellen</u> Michael Keaton</p>	<p>Les varices sont des dilatations des parois de certains vaisseaux sanguins. Mais, de quel type de vaisseaux s'agit-il ?</p> <p>Les artères Les capillaires <u>Les veines</u> Je ne sais pas</p> <p>Une cholécystite est une inflammation :</p> <p>Du colon Du pancréas <u>De la vésicule biliaire</u> Je ne sais pas</p> <p>Comment appelle-t-on les maux de tête ?</p> <p><u>Les céphalées</u> Les lombalgies Les névralgies Les coliques Je ne sais pas</p> <p>Une cholécystite est une inflammation :</p> <p>Du colon Du pancréas <u>De la vésicule biliaire</u> Je ne sais pas</p> <p>Laquelle de ces caractéristiques est typique du diabète de type 2 ?</p> <p>Il est insulino-dépendant Il est souvent caractéristique d'un surpoids Il apparaît généralement pendant l'enfance <u>Il est majoritairement d'origine génétique</u> Je ne sais pas</p> <p>La dégénérescence de l'articulation de la hanche est une :</p> <p><u>Coxarthrose</u> Coxalgie Arthrite Sciatique Je ne sais pas</p> <p>La vision centrale disparaît dans le champ visuel lors de cette pathologie :</p> <p>La cataracte Le glaucome <u>La DMLA</u> Un oedème papillaire Je ne sais pas</p> <p>La myopathie est une maladie :</p> <p><u>Du coeur</u> Des muscles Des reins</p>

<p><u>Christopher Reeve</u> Je ne sais pas</p> <p>Dans quel film Sigourney Weaver incarne-t-elle le lieutenant Ripley, astronaute chargée de découvrir une possible vie extraterrestre? E.T. <u>Alien</u> Rencontre du 3ème type Mars Attacks Je ne sais pas</p> <p>Quel personnage s'exclame "Nom de Zeus Marty !" lorsqu'il fait une découverte? Han Solo Indiana Jones <u>Doc</u> Spock Je ne sais pas</p> <p>Quel personnage adapté des romans de J.R. Tolkien doit apporter l'anneau au Mordor pour sauver les peuples des Terres du Milieu? Bilbon Sarah Connor Bruce Wayne <u>Frodon Sacquet</u> Je ne sais pas</p>	<p>Du foie Je ne sais pas</p> <p>Comment appelle-t-on les médicaments disponibles en pharmacie sans ordonnance et utilisés pour réduire la douleur: Les triptans Les anti-inflammatoires <u>Les antalgiques</u> Les corticoïdes Je ne sais pas</p> <p>Que prélève-t-on lors d'une biopsie : <u>Un morceau de tissu</u> Du sang De l'urine Du sperme Je ne sais pas</p> <p>Au niveau des articulations, les os sont liés entre eux par : Des muscles <u>Des tendons</u> Des ligaments Des nerfs Je ne sais pas</p>
--	---

Annexe 5c : Questionnaire mesurant les connaissances antérieures sur le domaine de l'expérience 3 (traduit de l'anglais)

Domaine films fantastiques	Domaine santé
<p>1. Quel célèbre réalisateur a écrit la première trilogie Star Wars ? Steven Spielberg Christopher Nolan <u>George Lucas</u> Sam Raimi Je ne sais pas</p> <p>2. Lequel de ces super vilains n'a jamais affronté les x-men ? Magneto Mystique Le fléau <u>Ra's al Ghul</u> Je ne sais pas</p> <p>3. Comment s'appellent les enfants de Padmé et Anakin ? Booba et liliana <u>Jacen et Jaina</u> Luke et Leia Amidala et Han Je ne sais pas</p> <p>4 Laquelle de ces franchises célèbres est la plus ancienne?</p>	<p>1. Les varices sont des dilatations des parois de certains vaisseaux sanguins. Mais, de quel type de vaisseaux s'agit-il ? Les artères Les capillaires <u>Les veines</u> les artérioles Je ne sais pas</p> <p>2. Quel élément permet d'absorber les oligo-éléments utiles au bon fonctionnement du corps humain ? <u>Les enzymes</u> L'insuline Le glucagon les hormones stéroïdes Je ne sais pas</p> <p>3. Lequel de ces éléments fait partie du système immunitaire du corps humain ? Les globules rouges <u>Les leucocytes</u> Les cellules delta du pancréas Erythrocytes Je ne sais pas</p>

<p><u>Jurassic Park</u> Harry Potter Le seigneur des anneaux Matrix Je ne sais pas</p> <p>5 Laquelle de ces franchises a eu le plus de films diffusés au cinéma? X men Terminator Avengers <u>Le seigneur des anneaux</u> Je ne sais pas</p> <p>6 Comment appelle-t-on le studio à l'origine des films Iron Man ? Dc comics <u>Marvel</u> Capcom Disney Je ne sais pas</p> <p>7 Quel acteur incarne les personnages de Magneto dans X men et Gandalf dans le seigneur des anneaux ? Christopher Lee <u>Ian Mckellen</u> Hugh Jackman Michael Fassbender Je ne sais pas</p> <p>8 Dans quel film un raton laveur, un arbre, un aventurier et un extraterrestre s'associent-ils pour sauver l'univers ? Ant man <u>Les gardiens de la galaxie</u> Avengers Mars Attacks Je ne sais pas</p> <p>9 Lequel de ces super héros est à la tête de la Wayne entreprise ? Superman Iron man spider man <u>Batman</u> Je ne sais pas</p> <p>10 Qui est le créateur du S.H.I.E.L.D, organisation en charge de protéger l'ordre mondial ? Locki <u>Nick Fury</u> Phil Coulson Tony Stark Je ne sais pas</p> <p>11 Quel personnage adapté des romans de J. R. Tolkien doit apporter l'anneau au Mordor pour sauver les peuples de la Terre du Milieu ?</p>	<p>4. A quel organe sont liés les symptômes suivants : élongation, raideurs, hypotonie? Nerfs Articulations <u>Muscles</u> Cervicales Je ne sais pas</p> <p>5. Quel organe permet au corps d'inspirer de l'air en se contractant ? Les bronches Le larynx Les poumons <u>Le diaphragme</u> Je ne sais pas</p> <p>6. Laquelle de ces caractéristiques est typique du diabète de type 2 ? Il est insulino-dépendant <u>Il est souvent caractéristique d'un sur poids</u> Il apparaît généralement pendant l'enfance Il est majoritairement d'origine génétique Je ne sais pas</p> <p>7. La dégénérescence de l'articulation de la hanche est une : <u>Coxarthrose</u> Coxalgie Arthrite Sciatique Je ne sais pas</p> <p>8. Laquelle de ces maladies n'est pas une maladie des neurones moteurs (affectant les muscles) ? La maladie de Charcot La sclérose latérale primaire L'atrophie musculaire progressive <u>La maladie de Creutzfeldt-Jakob</u> Je ne sais pas</p> <p>9. La myopathie est une maladie : Du cœur <u>Des muscles</u> Des reins Du foie Je ne sais pas</p> <p>10. Au niveau des articulations, les os sont liés entre eux par : Des muscles <u>Des tendons</u> Des ligaments Des nerfs Je ne sais pas</p> <p>11. Laquelle de ces affirmations concernant les virus est vraie? Les virus possèdent des enzymes pouvant produire de l'énergie</p>
--	---

Bilbo Sarah Connor Bruce Wayne Fodon Sacquet Je ne sais pas	<u>Les virus ne sont pas capables de se multiplier par division par eux-mêmes</u> Les virus se composent toujours de plusieurs gènes Les virus ne peuvent pas affecter les gènes des individus. Je ne sais pas
---	---

Annexe 6a : Questionnaires post RI de l'expérience 2

Je connaissais déjà la réponse avant de l'avoir trouvée sur internet (entourez votre réponse) :

Oui Non

Pensez –vous avoir trouvé la bonne réponse ? Oui Non

Etes-vous satisfait de votre recherche ? Oui Non

Combien de sites avez-vous consultés ?

.....

Sur quel site avez-vous trouvé la réponse ?

.....

Sur quels critères avez-vous décidé de consulter ce site web en particulier ?

.....
.....

Décrivez en quelques lignes comment vous avez-démarré la recherche d'informations.

.....
.....

Pour nous aider à comprendre votre ressenti et vos difficultés suite à cette question, merci de nous indiquer dans quelles mesures les affirmations suivantes vous concernent :

	1 Très faible	2 Faible	3 Plutôt faible	4 Ni important ni faible	5 Plutôt important	6 Important	7 Très important
L'effort mental que vous avez dû produire pour répondre à cette question était :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre difficulté à savoir quel lien il fallait ouvrir était :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre difficulté à retrouver une information que vous aviez déjà lue était :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Votre difficulté à comprendre les concepts du domaine était :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Annexe 6b : Questionnaires post RI de l'expérience 3 (en anglais)

Did you know the answer before? Yes No

Are you satisfied with your search? Yes No

To help us understand your feelings and difficulties during this question, thank you to grade to what extend the following assertions may be true to you:

	1 Very weak	2 Weak	3 Rather weak	4 Neither weak nor important	5 Rather important	6 Important	7 Very important
The mental effort you had to produce to find the answer was :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Your difficulty to find out which webpage or link to open up was :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Your difficulty to retrieve an information you had previously read on a webpage was :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Your difficult to understand the concepts of the domain was :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Your difficulty to produce useful words in your queries was:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Your difficulty to reformulate your queries was:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Your difficulty to produce new keywords was:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Annexe 6c : Questionnaires post RI de l'expérience 4

Je connaissais déjà la réponse avant de l'avoir trouvée sur internet (entourez votre réponse) :

Oui J'avais des connaissances Non

	1 Pas du tout	2 Pas très sûr	3 Plutôt sûr	4 Tout à fait certain
Pensez –vous avoir trouvé la bonne réponse ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etes-vous satisfait de votre recherche ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	1	2	3	4	5	6
	Pas du tout	Faiblement intéressé	Ni important ni faible	Plutôt intéressé	Intéressé	Très intéressé

Etiez-vous intéressé de rechercher la réponse sur internet ? (entourez votre réponse) :

<input type="checkbox"/>						
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Pour nous aider à comprendre votre ressenti et vos difficultés suite à cette question, merci de nous indiquer dans quelles mesures les affirmations suivantes vous concernent :

	1	2	3	4	5	6	7
	Très faible	Faible	Plutôt faible	Ni importa nt ni faible	Plutôt importa nt	Importa nt	Très importa nt

L'effort mental que vous avez dû produire pour répondre à cette question était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Votre difficulté à savoir quel lien il fallait ouvrir était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Votre difficulté à retrouver une information que vous aviez déjà lue était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Votre difficulté à comprendre les concepts du domaine était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Votre difficulté à formuler des requêtes était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Votre difficulté à produire des mots clés utiles était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Votre difficulté à produire de nouveaux mots clés était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Questions spécifiques à la condition expérimentale (groupe utilisant l'outil d'aide à la RI par maintien du but de recherche en MDT)

L'utilité du module affichant votre requête était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Votre difficulté à utiliser le module requête pour naviguer était :

<input type="checkbox"/>							
--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

Annexe 7 : Echelle mesurant le de Sentiment d'Auto-Efficacité à rechercher de l'information sur Internet pour répondre à une question (items 3 à 13 issus de Rodon & Meyer, 2004, 2012, 2016).

	Faux (1)	Plutôt Faux (2)	Plutôt vrai (3)	Vrai (4)
Je me sens bien à l'idée d'utiliser un ordinateur.	•	•	•	•
Je suis confiant en ma capacité à utiliser les nouvelles technologies.	•	•	•	•
Je peux trouver n'importe quelle information sur internet si je persévère.	•	•	•	•
Si je rencontrais quelque difficulté à trouver une information sur internet, je suis certain(e) de pouvoir mettre en oeuvre une nouvelle stratégie de recherche.	•	•	•	•
Lorsque je consulte internet, il est facile pour moi de mettre en oeuvre une nouvelle stratégie de recherche.	•	•	•	•
Lorsque je consulte internet, il est facile pour moi de me tenir à mon objectif de recherche et de l'atteindre.	•	•	•	•
J'ai la certitude de pouvoir faire face de manière efficace à des résultats inattendus quand j'interroge internet.	•	•	•	•
Grâce à mes compétences, je sais m'ajuster à l'imprévu lorsque je consulte internet	•	•	•	•
Je peux résoudre la majorité des difficultés rencontrées au cours d'une consultation sur le web si je fais l'effort nécessaire.	•	•	•	•
Je reste serein(e) quand la recherche d'informations sur internet devient difficile car je peux compter sur mes capacités d'adaptation.	•	•	•	•
Quand je suis confronté(e) à des réponses négatives suite à une requête sur Internet, je peux trouver plusieurs nouvelles stratégies.	•	•	•	•
Si je suis "coincé(e)", je sais appliquer une nouvelle méthode de recherche pour poursuivre	•	•	•	•
Quels que soient les imprévus, que je rencontre au cours d'une recherche sur internet, je suis capable de réagir efficacement.	•	•	•	•

Annexe 8a : questionnaire habitudes internet (administré par papier –crayon, expérience 1)

Age : sexe :

Niveau d'étude et discipline (si étudiant) :

OU Profession (actuelle ou passée si vous êtes retraité), nombre d'années d'étude, diplôme le plus élevé :
.....

Etes-vous retraité(e) (entourez votre réponse) ? oui non

1. Depuis combien d'années environ utilisez-vous Internet ?année(s)

2. Vous allez sur Internet et le Web avec (plusieurs choix possibles) :

- | | |
|--------------|------------------------------------|
| un PC | vosre tablette mobile (ex. : ipad) |
| un Macintosh | vosre téléphone mobile |

3. Quel navigateur utilisez-vous ? (plusieurs choix possibles)

- | | | |
|-------------------|---------------|--------------|
| Internet explorer | Safari | |
| Mozilla Firefox | Google Chrome | Autre : |

4. Vous naviguez sur Internet et le Web pour (plusieurs choix possibles) :

vosre travail vos études pour le plaisir autres (précisez) :

5. A quelle fréquence utilisez-vous Internet et vosre messagerie ? (un seul choix possible)

- | | | |
|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Plusieurs fois par jour | Deux à trois fois par semaine | Environ une fois par mois |
| Une fois par jour | Environ une fois par semaine | Très rarement voire jamais |

6. Combien de temps passez-vous en moyenne sur Internet par connexion ? (un choix possible)

- | | | |
|---------------------|-------------------|------------------|
| Moins de 15 minutes | Environ une heure | Plusieurs heures |
|---------------------|-------------------|------------------|

7. Combien de temps en moyenne restez-vous sur un site web ? (un seul choix possible)

- | | | |
|------------------|--------------------|------------------|
| Quelques minutes | Plus de 15 minutes | Plus d'une heure |
|------------------|--------------------|------------------|

8. Faites-vous des achats sur Internet ?

Oui Non

9. Quand vous visitez un site web (plusieurs choix possibles) :

- Vous l'explorez rapidement
- Vous naviguez de façon aléatoire
- Vous recherchez une information précise
- Vous naviguez de façon méthodique
- Autre : (précisez)

6. Vous évaluez vos connaissances et compétences en navigation sur Internet comme :

|_____| |_____| |_____| |_____| |_____|
1 2 3 4 5

Très faibles..... Très élevée

Annexe 8b : questionnaire habitudes internet (administré par qualtrics, expérience 2 à 4)

Q1 Droits du participant :

Je certifie avoir donné mon accord pour participer à une étude de psychologie sur la recherche d'informations sur internet. J'accepte volontairement de participer à cette étude et je comprends que ma participation n'est pas obligatoire et que je peux stopper ma participation à tout moment sans avoir à me justifier ni encourir aucune pénalité. Au cours de cette expérience, j'accepte que soient recueillies des données sur mes réponses et mon utilisation d'internet. Je comprends que les informations recueillies sont strictement confidentielles et à usage exclusif des chercheurs concernés. J'ai été informé que mon identité n'apparaîtra dans aucun rapport ou publication et que toute information me concernant sera traitée de façon confidentielle. J'accepte que les données enregistrées à l'occasion de cette étude puissent être conservées dans une base de données et faire l'objet d'un traitement informatisé non nominatif par une doctorante de l'université Toulouse 2 Jean Jaurès. Si vous êtes d'accord avec le texte ci-dessus, merci de cliquer sur l'option "oui" puis continuez.

- Oui

Q2 Participant :

- Nom :
- Prénom :
- Age :
- Niveau d'études :

Q3 Pour cette première étape, nous allons vous poser une série de questions pour mieux comprendre vos habitudes internet. Merci de répondre le plus sincèrement possible.

Q4 Depuis combien d'années environ utilisez-vous internet? _____

Q5 Vous allez sur internet avec : (plusieurs choix possibles)

- Ordinateur / PC (1)
- Mac (2)
- Tablette (3)
- Téléphone portable (4)

Q6 Disposez-vous d'un accès internet à votre domicile?

Oui Non

Q7 Quel(s) navigateur(s) utilisez-vous ? (plusieurs choix possibles)

- Internet Explorer
- Google Chrome
- Mozilla Firefox
- Safari
- Autre : _____

Q8 Sur une semaine, estimez le temps que vous passez à surfer sur internet? _____

Q9 Utilisez-vous ou avez-vous utilisé un ordinateur dans le cadre de votre activité professionnelle ?

Oui Non

Q10 Utilisez-vous ou avez-vous utilisé un ordinateur dans le cadre de votre activité professionnelle ?

Oui Non

Q11 Si oui, Pour quelles tâches ?

Q12 Parmi les propositions suivantes, pour quelles raisons naviguez-vous sur internet?

	Jamais (1)	Quelquefois (2)	Régulièrement (3)	Quotidiennement (4)
Recherche documentaire	•	•	•	•
Actualité	•	•	•	•
Téléchargements	•	•	•	•
Forums de discussion	•	•	•	•
Tchat/dialogue	•	•	•	•
Emails	•	•	•	•
Jeux en ligne	•	•	•	•
Achats en ligne	•	•	•	•
Blogs	•	•	•	•
Gestion compte bancaire/sécurité sociale...	•	•	•	•

Q13 Combien d'heures par semaine en moyenne lisez-vous des documents sur un ordinateur/tablette?

Q14 Combien d'heures par semaine en moyenne lisez-vous des documents papiers (magazines..) et livres?

Q15 Nous vous demandons à présent d'estimer vos capacités à rechercher des informations sur internet.

Annexe 9a : Tâches mesurant les habiletés de RI (expérience 2)

Consigne générale : Vous allez à présent réaliser une série de tâches guidées sur internet. Lisez les consignes puis naviguez sur internet pour remplir les objectifs de chaque tâche.

Tâche 1

Recherchez dans *Google* la « plus grande montagne russe du monde ». Ouvrez le 3^{ème} résultat affiché dans un nouvel onglet. Ouvrez ensuite le deuxième lien. Dans cette page, surlignez le nom de la montagne russe qui possède le plus haut *looping* vertical. Revenez à la page précédente. Rendez-vous à présent sur le site web que vous avez ouvert dans un nouvel onglet. Surlignez le nom de la montagne russe qui se trouve à *Disneyland*. Revenez à la page précédente. Rendez-vous à la quatrième page de résultats *Google*. Ouvrez le cinquième lien proposé. Surlignez le nom du parc d'attractions dont parle le site.»

Tâche 2

« Rendez-vous à la page d'accueil de *Wikipedia*. Dans le menu présentation, cliquez sur le lien « guide de *Wikipedia* ». Surligner le nom de la base de données *Wikipedia* qui gère les citations. Revenez à l'accueil. Puis à la page d'accueil de *Google*.»

Tâche 3

« Allez sur le site français d'*Amazon* et mettez dans votre panier le DVD du film « bienvenu chez les Ch'tis » comme si vous souhaitiez le commander ».

Annexe 9b: Grille de codage des tâches mesurant les habiletés de RI dans l'expérience 2

* correspond à une dimension abordée par la sous-tâche. 0 point sont donné pour un échec, 1 point pour un succès réalisé avec détours (*i.e.* pas avec le minimum d'action requise) et 2 points pour un succès optimal (*i.e.* avec le minimum d'actions requises).

Grille de codage pour la tâche 1

	Interactions opérationnelles		Habilités navigationnelles		Habilités de traitements (compréhension)	
	Connaissances déclaratives sur la RI	Actions procédurales	Localisation d'items (menus, liens...)	Elaboration chemin navigationnel	Compréhension (localisation d'item sémantique, inférences)	Production de mots clés
Recherchez dans google la « plus grande montagne russe du monde ».		*				*
Ouvrez le 3 ^{ème} résultat affiché dans un nouvel onglet.	*	*				
Ouvrez ensuite le deuxième lien.		*	*			
Dans cette page, surlignez le nom de la montagne russe qui possède le plus haut looping vertical.			*		*	
Revenez à la page précédente	*	*	*	*		
Rendez-vous à présent sur le site web que vous avez ouvert dans un nouvel onglet.	*	*	*	*		
Surlignez le nom de la montagne russe qui se trouve à Disneyland.			*		*	
Revenez à la page précédente.	*	*	*	*		
Rendez-vous à la quatrième page de résultats google.	*	*				
Ouvrez le cinquième lien proposé	*	*	*			
Surlignez le nom du parc d'attractions dont parle le site.					*	

Grille de codage pour la tâche 2

	Interactions opérationnelles		Habilités navigationnelles		Habilités de traitements (compréhension)	
	Connaissances déclaratives sur la RI	Actions procédurales	Localisation d'items (menus, liens...)	Elaboration chemin navigationnel	Compréhension (localisation d'item sémantique, inférences)	Production de mots clés
Rendez-vous à la page d'accueil de wikipedia.	*	*	*	*	*	*
Dans le menu présentation, cliquez sur le lien « guide de wikipedia »	*	*	*	*	*	
Surligner le nom de la base de données wikipedia qui gère les citations.			*		*	
Revenez à l'accueil. Puis à la page d'accueil de google	*	*		*		

Grille de codage pour la tâche 2

	Interactions opérationnelles		Habilités navigationnelles		Habilités de traitements (compréhension)	
	Connaissances déclaratives sur la RI	Actions procédurales	Localisation d'items (menus, liens...)	Elaboration chemin navigationnel	Compréhension (localisation d'item sémantique, inférences)	Production de mots clés
Allez sur le site français d'amazon	*	*		*	*	*
Mettez dans votre panier le DVD du film « bienvenu chez les ch'tis » comme si vous souhaitiez le commander		*	*	*	*	*

Annexe 9c : Tâches mesurant les habiletés de RI (expérience 4)

Consigne générale : Vous allez à présent réaliser une série de tâches guidées sur internet. Lisez les consignes puis naviguez sur internet pour remplir les objectifs de chaque tâche.

Tâche 1

Entrez dans la barre de requête de *Google* plus haut looping, validez votre requête et cliquez sur le troisième lien de résultat. Cliquez sur le bouton retour arrière. Rendez-vous sur les images *Google* et ouvrez dans un nouvel onglet la première image de résultats. Comment s'appelle cette montagne Russe ? (passez la souris sur la bonne réponse). Fermez le nouvel onglet. Retournez à la page d'accueil de *Google*

Tâche 2

Rendez-vous sur la base de données *Google Scholar*. Retournez à la page d'accueil de *Google*

Tâche 3

Rendez-vous sur le site français d'*Amazon*. Mettez dans votre panier comme si vous alliez l'acheter une friteuse électrique Moulinex coûtant 69euros.

Tâche 4

Rendez-vous sur le site rue du commerce. Mettez dans votre panier comme si vous alliez l'acheter une friteuse électrique Moulinex coûtant 69euros.

Annexe 10a: preuve de soumission de l'article 3: Searching for information for well-defined and ill-defined search tasks with google search engine: predictors of young and older adults search strategies

27-Apr-2017

Dear Miss Sanchiz,

Your manuscript entitled "Searching for Information for well-defined and ill-defined search tasks with Google search engine: predictors of young and older adults search strategies." has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in *Interacting with Computers*.

Your manuscript ID is IWC-17-0048.

Please mention the above manuscript ID in all future correspondence or when calling the office for questions. If there are any changes in your street address or e-mail address, please log in to ScholarOne Manuscripts at <https://mc.manuscriptcentral.com/iwc> and edit your user information as appropriate.

You can also view the status of your manuscript at any time by checking your Author Centre after logging in to <https://mc.manuscriptcentral.com/iwc>.

Thank you for submitting your manuscript to the *Interacting with Computers*.

Sincerely,
Interacting with Computers Editorial Office

Annexe 10b: preuve de soumission de l'article 4: Does Pre-activating Domain Knowledge foster elaborated online Information Search Strategies? Comparisons between young and older web users.

Ms. Ref. No.: JERG-D-17-00162

Title: Does pre-activating domain knowledge foster elaborated online information search strategies? Comparisons between young and older web users.
Applied Ergonomics

Dear Miss Mylene Sanchiz,

Your submission "Does pre-activating domain knowledge foster elaborated online information search strategies? Comparisons between young and older web users." will be handled by Receiving Editor Patrick G. Dempsey.

You may check the progress of your paper by logging into the Elsevier Editorial System as an author at <https://ees.elsevier.com/jerg/>.

Thank you for submitting your work to this journal.

Kind regards,

Elsevier Editorial System
Applied Ergonomics

Annexe 10c: preuve de soumission de l'article 5 « older user-friendly search interface: supporting search goal refreshing in working memory to improve search strategies

03-Oct-2017

Dear Miss sanchiz,

Your manuscript entitled "Older user-friendly search interface: supporting search goal refreshing in working memory to improve search strategies" has been successfully submitted online and is presently being given full consideration for publication in Applied Cognitive Psychology.

Your manuscript number is ACP-17-0212. Please mention this number in all future correspondence regarding this submission.

You can view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging into <https://mc.manuscriptcentral.com/acp>. If you have difficulty using this site, please click the 'Get Help Now' link at the top right corner of the site.

Thank you for submitting your manuscript to Applied Cognitive Psychology.

Sincerely,
Applied Cognitive Psychology Editorial Office