
Personnalisation par une approche stigmergique de la navigation au sein d'un corpus documentaire

Zina EL Guedria, Laurent Vercouter

Normandie Univ, INSA Rouen, LITIS, 76000 Rouen, France.

{zina.el_guedria,laurent.vercouter}@insa-rouen.fr

RÉSUMÉ. La recherche documentaire dans un corpus numérique s'apparente à un processus de navigation guidé par un besoin d'information d'utilisateur. Cette navigation nécessite l'usage d'outils classiques de recherche d'information pour sélectionner des documents pertinents en fonction d'une requête, mais ils doivent être complétés par des mécanismes de personnalisation et d'adaptation capable de faire évoluer la représentation du besoin en fonction des spécificités d'un utilisateur, de sa navigation en cours ou du corpus considéré. Les facteurs à prendre en compte dans cette personnalisation sont multiples : un profil propre à l'utilisateur, un cas d'usage reconnu pour la navigation, une proximité sémantique entre documents ou une recommandation construite sur l'historique des navigations. Nous proposons dans cet article de traiter cette diversité d'influence par un système multi-agent interagissant par un environnement partagé représentant la navigation des utilisateurs. Nous suivons une approche stigmergique où les agents représentent la couche décisionnelle et l'environnement est implémenté par une couche d'artefacts.

ABSTRACT. Document research in a digital corpus can be considered as a browsing process driven by an information need. Such browses requires the use of traditional information retrieval tools to select relevant documents based on a query. But they can be improved by the use of customization and adaptation mechanisms in order to refine the representation of information needs. Several factors are useful to influence this customization: user profiles, browsing profiles, semantic proximity of documents, recommendations from other similar users, . . . We propose in this article to treat this diversity of influence by a multi-agent system interacting with a shared environment representing the users navigation. We follow a stigmergic approach in which the agents implement different customization factors and modify their shared environment, presented in a layer of artifacts, to influence the representation of users needs and the browsing.

MOTS-CLÉS : coordination, évolution, adaptation, systèmes mixtes.

KEYWORDS: coordination, evolution, adaptation, mixed systems.

DOI:10.3166/RIA.30.61-80 © 2016 Lavoisier

1. Introduction

L'accès aux documents d'un corpus numérique soulève des problèmes liés à la recherche d'information, à la visualisation des résultats d'une requête et à la navigation entre les documents. Certains de ces problèmes sont similaires à ceux rencontrés dans le domaine de la recherche d'information sur le web (par exemple le calcul de la pertinence de documents par rapport à une requête) mais d'autres sont spécifiques au fait que l'on s'intéresse à un corpus fermé concernant des types de documents, requêtes et utilisateurs restreints que l'on peut représenter de manière plus fine que dans le cadre général du web. Dans ce cadre, il est réaliste de pouvoir identifier et chercher à reconnaître des pratiques ou usages spécifiques à l'accès à une base documentaire donnée et d'adapter en conséquence le comportement de la plateforme logicielle.

Nous nous intéressons dans cet article à la personnalisation de la navigation dans un corpus de documents. Les facteurs à prendre en compte dans cette personnalisation sont multiples : un profil propre à l'utilisateur, un cas d'usage reconnu pour la navigation, une proximité sémantique entre documents ou une recommandation construite sur l'historique des navigations.

On peut trouver de nombreux travaux dans la littérature ayant adopté l'approche multi-agent dans le domaine de la recherche d'information. Ces systèmes mettent en œuvre chaque tâche de la RI dans un agent distinct. Ainsi, ils sont conçus pour une utilisation et des ressources spécifiques et les agents et leurs interactions sont définies en fonction de la composante des systèmes d'information.

Cependant, nous proposons de traiter cette diversité d'influence de facteurs de personnalisation par un système multi-agent, représentant plusieurs agents pour chaque utilisateur, interagissant avec un environnement partagé représentant les navigations des utilisateurs. C'est une architecture globale découplant la gestion de la navigation des décisions liées à la personnalisation permettant une composition dynamique du contenu de ces deux couches. Nous suivons une approche stigmergique dans laquelle les agents mettent en œuvre différents facteurs de personnalisation et modifient leur environnement partagé pour influencer la représentation des besoins des utilisateurs et de la navigation. Cet environnement, implémenté dans une couche d'artefacts, est ainsi un objet construit et adapté par l'activité collective des agents et des utilisateurs, qui représentent la couche décisionnelle.

Contrairement aux travaux existants, l'utilisation de la stigmergie augmente l'autonomie du processus de décision. Ainsi, notre architecture est ouverte et extensible. Elle permet l'ajout et/ou la suppression de processus de recherche d'information tels que divers facteurs de personnalisation. Les contributions décrites dans cet article sont :

- une modélisation sous la forme d'agents et d'artefacts d'un système multi-agent pour réaliser une navigation personnalisée ;
- une représentation d'un profil de navigation incluant un processus de reformulation de requêtes ;

- un processus de recommandation de documents à base de profils proches ;
- une extension de l’architecture Agent-Artefact proposée.

Cet article est organisé comme suit : la section 2 donne un aperçu de quelques travaux en RI personnalisée. Plus particulièrement, nous décrivons quelques travaux utilisant les systèmes multi-agents pour la recherche d’information ainsi que des travaux en recherche d’information personnalisée. La section 3 présente notre modélisation multi-agent de la plateforme de navigation personnalisée décrite selon deux couches : une couche Navigation et une couche Décision. La section 4 présente la problématique applicative. Nous y présentons le corpus documentaire utilisé, la réalisation de la couche Navigation par des artefacts ainsi qu’un scénario d’exécution.

L’ouverture de notre approche est illustrée en ajoutant dynamiquement des facteurs de personnalisation comme extension du modèle. Ainsi, la section 5 présente une extension possible de notre modèle agent-artefact en prenant en compte les annotations des utilisateurs. Enfin, la conclusion résume les travaux décrits dans cet article ainsi que nos perspectives de travaux futurs.

2. Recherche d’information et systèmes multi-agent

2.1. Recherche d’information personnalisée

Le besoin de la personnalisation émerge en premier lieu face à la difficulté que rencontre l’utilisateur pour définir son besoin en information. Généralement, les requêtes posées par l’utilisateur sont constituées d’un à trois termes. En effet, pour affiner leurs besoins d’information les utilisateurs n’arrivent pas toujours à trouver les termes exacts exprimant leurs besoins (Jansen *et al.*, 2000) et même en essayant de le cerner, le besoin reste toujours ambiguë (Spink, Jansen, 2004). Cette tâche d’expression de besoin est difficile même pour les utilisateurs expérimentés (Leake, Scherle, 2001).

La notion de pertinence qui représente le fondement et le coeur du la recherche d’information, est classée en plusieurs types et possède plusieurs natures (Saracevic, 2007 ; Borlund, 2003 ; Mizzaro, 1997). Chaque type de pertinence est jugé par différents facteurs de jugement (Saracevic, 2007).

Avec l’apparition de la problématique de personnalisation dans la recherche d’information plusieurs travaux sont apparus. Nous pouvons distinguer la personnalisation individuelle (Liu *et al.*, 2004 ; Sieg *et al.*, 2007) où l’utilisateur est considéré individuellement et le modèle utilisateur est construit sur la base de ses préférences de contenu ou activités et mobilité via les applications. L’objectif de la personnalisation individuelle est de modéliser l’utilisateur à travers ses activités et ses préférences pour lui fournir un accès à l’information adapté. En outre, la personnalisation individuelle permet de recommander des objets à l’utilisateur selon son modèle en utilisant la re-

commandation ou encore l'aider à accéder aux informations pertinentes au cours de ses recherches.

La personnalisation collaborative (Teevan *et al.*, 2009 ; Morris *et al.*, 2008) propose de considérer l'utilisateur comme appartenant à un groupe d'utilisateurs et son modèle est construit sur la base de ses préférences de contenu ou activités via les applications ainsi sur les modèles des utilisateurs similaires. L'objectif de la personnalisation collaborative est de mesurer la pertinence d'un service fourni en fonction de celle calculée ou observée au sein de son groupe. Des ressources peuvent ainsi être recommandées à un utilisateur en exploitant l'expérience des utilisateurs de son groupe.

Il existe trois modes de personnalisation à savoir : la personnalisation explicite, implicite et hybride. Commençons par la personnalisation explicite. Dans ce cas, la collecte des données descriptives de l'utilisateur est fournie par l'utilisateur. Par exemple les données démographiques (âge, sexe, langue maternelle (Hupfer, Detlor, 2006 ; Weber, Castillo, 2010)), le choix des préférences (langue, genre de documents (Martin, Jose, 2004 ; Sieg *et al.*, 2007)), le sujet d'intérêt (Cheverst *et al.*, 2000) et les jugements qualitatifs sur l'information (j'aime, j'aime pas) (Chen, Sycara, 1998 ; Liu *et al.*, 2004). Les données citées ci-dessus peuvent être collectées à travers des formulaires (cases à cocher, saisie de mots clés), des interfaces élaborées (expression d'exemples, contre exemples, votes, notes, annotations) ou des questionnaires (Van Setten *et al.*, 2004).

Concernant la personnalisation implicite, les données sont collectées à partir des données démographiques qui peuvent être déduites des interactions et des activités des utilisateurs (Hu *et al.*, 2007) des styles d'écriture (Argamon *et al.*, 2003) ou des requêtes (Jones *et al.*, 2007). Les données situationnelles qui dépendent du lieu et temps d'émission de la requête (Van Setten *et al.*, 2004 ; Abowd *et al.*, 1997), l'environnement social de l'utilisateur tels que ses amis (Church *et al.*, 2010 ; Hwang *et al.*, 2007) ou personnes physiquement proches (Rhodes, 2003) représentent aussi une source de données. Nous citons aussi les données sociales de l'utilisateur telles que les annotations, les posts, les blogs, les messages, les signaux, etc. (Vallet *et al.*, 2010 ; Karweg *et al.*, 2011 ; Hecht *et al.*, 2012).

L'activité de l'utilisateur et une source primordiale pour la personnalisation implicite. Cette activité peut être déterminée d'une part à partir des pages visitées, des requêtes passées (Shen *et al.*, 2005 ; Liu *et al.*, 2004), des données de navigation (Yau *et al.*, 2003 ; Speretta, Gauch, 2005), des applications utilisées (Yau *et al.*, 2003 ; Dumais *et al.*, 2003), des favoris (Dumais *et al.*, 2003) et de l'historique de localisations (Ying *et al.*, 2010) de l'utilisateur. D'autre part des interactions de l'utilisateur telles que les mouvements des yeux ; les données de clics (Sun *et al.*, 2005) ; les actions sur les documents (ouverture, fermeture, impression, temps de lecture etc.) (Pretschner, Gauch, 1999) ; les messages (e-mails) envoyés ou reçus (Bellotti *et al.*, 2008) ; les annotations sociales, et les bookmarks (Karweg *et al.*, 2011 ; Hecht *et al.*, 2012).

Enfin la personnalisation hybride utilise à la fois la personnalisation implicite et la personnalisation explicite. Cette personnalisation hybride peut commencer par la

collecte explicite puis implicite (système WAIR(Zhang, Seo, 2001)) ou la collecte implicite puis explicite tout en validant la collection implicite par des retours de l'utilisateur.

Un autre axe de personnalisation traite la durée de la session de recherche à savoir, la personnalisation basée sur le contexte courant (court-terme) et la personnalisation basée le contexte passé (long-terme). Pour la personnalisation à court terme, la mémoire de la personnalisation est égale à la durée de la session. Dans ce cas, on rencontre un problème de délimitation de la session de recherche. On trouve soit une délimitation basée sur le temps (par exemple 30 min dans (Silverstein *et al.*, 1999)), une délimitation basée sur la similitude de requêtes successives (He *et al.*, 2002 ; Jones, Klinkner, 2008) ou une délimitation basée sur la similitude des résultats de recherche (Daoud *et al.*, 2009). La personnalisation basée sur le contexte passé (long-terme) où la mémoire de personnalisation est égale à la durée du compte utilisateur. Dans ces systèmes, on peut délimiter les sessions de recherche (Sieg *et al.*, 2007 ; 2004) ou ne pas les délimiter (Liu *et al.*, 2004).

2.2. *Système multi-agent pour la recherche d'information*

Les premières approches multi agents apparues dans le domaine de recherche d'information se positionne dans le cadre de la modélisation et résolution des systèmes de recherche d'information. Généralement, les tâches du processus sont affectées à différents agents qui peuvent les exécuter en séquence ou en concurrence. Dans ces modèles, on retrouve généralement des agents associés aux utilisateurs mais aussi aux ressources, processus, ontologies propre à un système d'information. Parmi les premiers systèmes multi agents pour la recherche d'information nous pouvons citer à titre d'exemple : InfoSleuth (Nodine *et al.*, 2000) , le système NetSA (Côté, Troudi, 1998), la librairie digitale UMDL (Chaib-Draa *et al.*, 2001), le modèle RETSINA (Sycara *et al.*, 1996) et le système AgentSeek (Grey *et al.*, 2000).

Dans le contexte de personnalisation de la recherche d'information interviennent les systèmes multi agents, tel est le cas de SARIPOD (Système multi-agent de Recherche Intelligente POSSibiliste de Documents Web) (Elayeb, 2009). Ce modèle est un modèle multi-agent qui offre une collaboration entre les différents acteurs et la mise en œuvre de toutes les fonctionnalités du système de recherche d'information. Il est à base de deux réseaux petits mondes hiérarchiques (RPMH) et d'un réseau possibiliste (RP) : Le premier RPMH consiste à structurer les documents retrouvés en zones denses de pages web thématiquement liées les unes aux autres. Le second RPMH consiste à ne pas chercher seulement le mot-clé dans les pages Web mais aussi les substantifs qui lui sont sémantiquement proches. Les réseaux possibilistes combinent les deux RPMH afin d'organiser les documents recherchés selon les préférences de l'utilisateur.

Dans le même cadre nous citons la plateforme SWAPP (search based web adaptive platform)(Lemouzy, 2011). Ce système utilise l'approche de AMAS (adaptive multi-agent system) pour proposer une évaluation adaptative et personnalisée du retour de

pertinence implicite de l'utilisateur en utilisant l'UIM (user interest manager) ainsi que la construction adaptative de son profil à base de l'UPM (user profile manager) en utilisant des documents textuels représentant ses intérêts.

Chacun des systèmes indiqués ci-dessus, propose un modèle multi-agent pour un système de recherche d'information spécifique. Ainsi, ils sont conçus pour une utilisation et des ressources spécifiques et les agents et leurs interactions sont définies en fonction des composants des systèmes d'information. Dans cet article, nous proposons une approche plus générale, basée sur un processus de recherche d'information générale, mais qui permet la personnalisation ouverte en ajoutant des facteurs de personnalisation selon les besoins actuels de l'utilisateur. En effet nous proposons une approche qui prend en compte la diversité de plusieurs points de vue de la recherche d'information.

3. Système multi-agent pour une navigation personnalisée

Cette section décrit le système multi-agent proposé pour réaliser une navigation personnalisée dans un corpus numérique de documents. Une approche multi-agent a été adoptée de manière à représenter l'hétérogénéité des facteurs de personnalisation à appliquer. Chaque agent exerce ainsi une influence différente sur la sélection de documents à présenter à l'utilisateur représentant un facteur de personnalisation ou de recommandation. La première partie de cette section présente l'architecture globale du système avant que soient détaillés l'environnement partagé des agents, représentant la navigation en cours, puis les spécifications des agents pour la couche décisionnelle.

3.1. Architecture multi-agent

L'objectif de notre plateforme est de permettre à des utilisateurs de naviguer dans un corpus fermé en visualisant séquentiellement différents documents et en affinant ou adaptant leur requête au fur et à mesure de leur session de navigation. Pour cela, il est nécessaire dans un premier temps d'utiliser des mécanismes classiques de recherche d'information pour sélectionner des documents pertinents en fonction d'une requête. Nous proposons de compléter ces outils par des mécanismes de personnalisation et d'adaptation pour faire évoluer la représentation du besoin. Cette évolution est dynamique car réalisée pendant une navigation en fonction du profil des utilisateurs, de leurs actions et des navigations précédemment observées. Pour cette raison, nous utilisons le terme de *besoin informationnel* pour désigner l'objectif global que la plateforme doit satisfaire plutôt que celui de *requête*, propre à une recherche ponctuelle d'information.

La modélisation en Agent et Artefact entraîne une coordination indirecte via l'environnement virtuel. Cette coordination est obtenue par le mécanisme de la stigmergie (Grassé, 1959) favorisant l'ajout indépendant de facteurs de personnalisation.

Le principe est qu'une trace laissée par une action dans l'environnement stimule l'accomplissement de l'action suivante, que ce soit par le même agent ou un agent

différent. De cette façon, les actions suivantes tendent à se renforcer et bâtir sur l'existant, ce qui conduit à l'émergence spontanée d'une activité d'apparence cohérente et systématique. La stigmergie est une forme d'auto-organisation. Elle produit des structures complexes sans avoir besoin de plan, de contrôle ou même de communication directe entre les agents (Marsh, Onof, 2008).

La coordination directe utilise beaucoup de temps et de ressources. Dans un système stigmergique, tous les agents ont une autonomie complète pour agir comme ils le souhaitent. Dans ce système basé sur l'action, ce qui compte est l'action sur l'environnement, autrement dit la trace laissée par un agent sur l'environnement qui entraîne d'autres actions de cet agent ou des autres.

Nous représentons donc le besoin informationnel au sein d'un environnement virtuel, partagé par les agents. Ce besoin, initialement exprimé par une requête composée d'un ensemble de termes, est modifié par le biais d'actions des agents sur cet environnement. L'évolution du besoin informationnel est ainsi le résultat d'un processus de co-construction impliquant les agents et l'utilisateur dans le but d'intégrer différentes sources de personnalisation et un contrôle par l'utilisateur. De plus, l'environnement partagé des agents inclut des outils nécessaires pour la navigation (index, moteur de recherche d'information, interface avec l'utilisateur), ainsi que l'ensemble des documents jugés pertinents à l'instant courant de la navigation.

Afin de distinguer la couche décisionnelle et la couche opérationnelle de la plateforme, nous avons opté pour une approche Agent-Artefact (Omicini *et al.*, 2008) qui est au coeur de la stigmergie. Les décisions d'évolution du besoin informationnel sont prises par les agents, parfois en interaction avec l'utilisateur, ou à partir de l'analyse des traces de l'utilisateur. Le stockage des informations liées à la navigation et l'exécution de requêtes ponctuelles sont à la charge d'artefacts de l'environnement des agents. Cette architecture est représentée par la figure 1.

Au niveau de la couche *Navigation*, cinq types d'artefacts sont utilisés. Un artefact *Interface* encapsule les fonctions d'interaction directe avec l'utilisateur. Chaque instance d'artefacts de type *Navigation* représente le besoin informationnel d'une session de navigation pour laquelle une instance d'artefact *Recherche* est créée pour exécuter une recherche d'information sur ce besoin. Le résultat d'une recherche est stocké dans un artefact de type *Document*. Enfin, les artefacts de type *Profil* collectent des informations sur le comportement des utilisateurs. La couche *Décision* contient les agents qui vont faire évoluer le besoin informationnel et les documents présentés pendant la navigation. L'agent *Interface* sert de point d'entrée à l'utilisateur pour créer une requête initiale et la modifier pendant la navigation. L'agent *Reformulation* propose l'ajout de termes au besoin informationnel sur la base des documents sélectionnés par les recherches précédentes. Une instance de l'agent *Interface* et l'agent *Reformulation* est mise en œuvre pour chaque utilisateur. Par contre un seul agent *Communautaire* est partagé par tous les utilisateurs du système. Il propose d'ajouter des documents jugés pertinents d'après l'historique des navigations passées similaires.

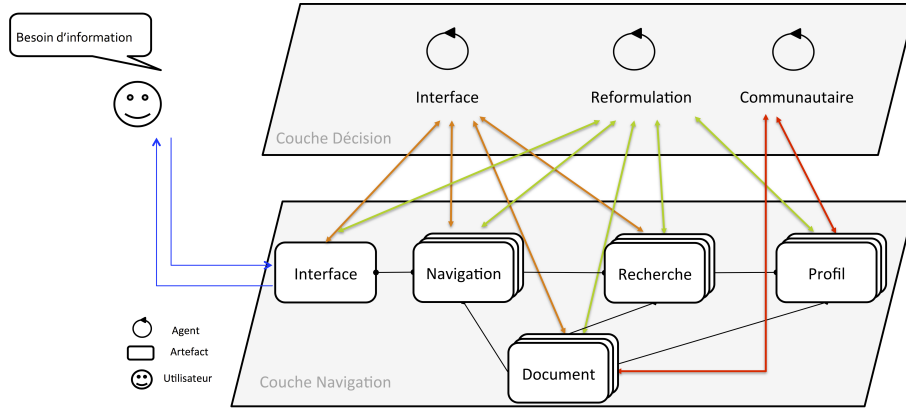


Figure 1. Architecture Agent-Artefact proposée

3.2. Couche navigation

Les cinq artefacts de la couche navigation sont spécifiés dans cette sous-section.

Les navigations ont lieu au sein d'un corpus numérique de documents. Nous notons \mathcal{D} l'ensemble des documents du corpus. Les requêtes sont effectuées par un ensemble de mots-clés parmi l'ensemble \mathcal{K} . Parmi ces mots-clés, un sous-ensemble $\mathcal{T} \subset \mathcal{K}$ regroupe l'ensemble des termes utilisés pour indexer les documents du corpus. Enfin, nous faisons l'hypothèse que les termes indexant un document sont accessibles par une fonction *Index* telle que :

$$Index : \mathcal{D} \mapsto P(\mathcal{T}) \quad (1)$$

3.2.1. Artefact Navigation

Un artefact Navigation encapsule un besoin informationnel d'un utilisateur. Soit $\mathcal{N} = \{N_1, \dots, N_m\}$ l'ensemble de toutes les navigations, pour chaque navigation N_i , un utilisateur u_{N_i} a une requête courante K_{N_i} composée de plusieurs termes $k_{N_i}^j$.

$$N_i = (K_{N_i}, u_{N_i}) \quad (2)$$

Avec

$$K_{N_i} = \{k_{N_i}^1, \dots, k_{N_i}^l\} \text{ avec } k_{N_i}^i \in \mathcal{K}. \quad (3)$$

3.2.2. Artefact Document

Un artefact Document contient une référence aux documents jugés pertinents pour une navigation donnée N_i . Cet ensemble est amené à évoluer en cours de navigation en fonction des actions des agents et de l'utilisateur. L'ensemble de documents D_i correspondant à la navigation N_i est l'union des documents résultant d'une recherche

d'information $D_{i,RI}$ et de ceux recommandés par l'agent Communautaire $D_{i,REC}$:

$$D_i = \{D_{i,RI}, D_{i,REC}\} \quad (4)$$

Avec

$$D_{i,RI} = \{d_{i,RI}^1, \dots, d_{i,RI}^n\}, \quad (5)$$

$$D_{i,REC} = \{d_{i,REC}^1, \dots, d_{i,REC}^p\} \quad (6)$$

3.2.3. Artefact Profil

Le profil P_i d'un utilisateur impliqué dans une session de navigation N_i est composé par sa requête initiale $K_{P_i}^{INIT} \subset \mathcal{K}$, les termes proposés en reformulation $T_{P_i}^{ACC} \subset \mathcal{T}$ (acceptés par l'utilisateur) et $T_{P_i}^{REJ} \subset \mathcal{T}$ (rejetés par l'utilisateur) et enfin les références des documents jugés pertinents par l'utilisateur

$$P_i = (K_{P_i}^{INIT}, T_{P_i}^{ACC}, T_{P_i}^{REJ}, D_{P_i}^{REL}) \quad (7)$$

Avec

$$K_{P_i}^{INIT} = \{k_{P_i}^1, \dots, k_{P_i}^n\} \quad (8)$$

$$T_{P_i}^{ACC} = \{t_{P_i}^{ACC,1}, \dots, t_{P_i}^{ACC,p}\} \quad (9)$$

$$T_{P_i}^{REJ} = \{t_{P_i}^{REJ,1}, \dots, t_{P_i}^{REJ,q}\} \quad (10)$$

$$D_{P_i}^{REL} = \{d_{P_i}^{REL,1}, \dots, d_{P_i}^{REL,r}\} \quad (11)$$

et

$$K_{P_i}^{INIT} \cap T_{P_i}^{ACC} \cap T_{P_i}^{REJ} = \emptyset \quad (12)$$

3.2.4. Artefact Recherche

L'artefact Recherche sert de moteur de recherche d'information. Nous utilisons pour notre plateforme le moteur *Lucene*¹ qui est une application open source gratuite pour la recherche plein texte et l'analyse de contenu textuel. L'objectif de l'artefact est de prendre en entrée un ensemble de termes issus d'une requête et de fournir les références de documents jugés pertinents en sortie.

$$Recherche : (K) \mapsto P(D) \quad (13)$$

1. <http://lucene.apache.org/core/>

3.2.5. Artefact Interface

Le rôle de l'artefact Interface est de gérer les interactions avec l'utilisateur. Il récupère les requêtes ainsi que les retours de l'utilisateur pour le compte des agents Interface et Reformulation, et affiche les résultats des recherches effectuées par les agents.

3.3. Couche Décision

La couche décision est composée de trois agents qui ont la capacité de percevoir et d'agir sur leur environnement partagé représentant un processus de navigation en cours.

3.3.1. Agent Interface

Il existe un agent Interface par utilisateur, en charge du suivi de sa navigation. Un utilisateur u commence une navigation en saisissant une requête $K_u = \{k_u^1, \dots, k_u^n\}$ composée d'un ensemble de mots-clés. Si l'utilisateur n'avait pas de navigation en cours, une nouvelle session de navigation est créée avec cette requête.

S'il existe déjà des navigations pour cet utilisateur, l'agent interface doit déterminer s'il s'agit du début d'une nouvelle navigation ou si l'insertion de nouveaux termes correspond à la continuité d'une session en cours. Dans ce but, l'agent calcule une mesure de similarité $Sim(K_u, K_{N_i})$ entre les termes de la requête et ceux de toutes les navigations précédentes de l'utilisateur. Nous faisons ici l'hypothèse qu'une telle fonction existe sans nous restreindre à un calcul précis de similarité (pour avoir des exemples de similarité entre requêtes, voir (He *et al.*, 2002 ; Jones, Klinkner, 2008)). Si la similarité est en dessous d'un seuil θ pour toutes les navigations passées, l'agent considère qu'une nouvelle navigation commence, sinon il considère être dans la continuité des plus similaires.

$$\exists N_i \in \mathcal{N}/u = u_{N_i}, Sim(K_u, K_{N_i}) > \theta, \quad (14)$$

$$K_{N_i} = K_{N_i} \cup K \quad (15)$$

Sinon, un nouvel artefact de navigation est créé :

$$\nexists N_i \in \mathcal{N}/u = u_{N_i}, Sim(K_u, K_{N_i}) < \theta, \quad (16)$$

$$N_m = (K, u) \quad (17)$$

À chaque fois qu'un artefact de navigation est créé ou mis à jour (notons-le N_j) l'agent effectue une recherche par l'artefact correspondant $Recherche(N_j)$ avec pour résultat de créer ou de mettre à jour l'artefact Document avec un ensemble $D_{N_j, RI}$.

Enfin, l'agent Interface envoie l'ensemble de documents D_j à l'artefact Interface pour les visualiser.

3.3.2. Agent Reformulation

Un agent Reformulation est associé à chaque utilisateur de la plateforme. Le fonctionnement de l'agent Reformulation est basé sur l'observation des artefacts. Il réagit à la perception qu'une navigation N_i ainsi qu'un ensemble de documents D_i ont été créés. Dans ce cas la première action de l'agent Reformulation est de créer un artefact Profil :

$$P_i = (K_{N_i}, \emptyset, \emptyset, \emptyset) \quad (18)$$

La deuxième partie du fonctionnement de l'agent Reformulation se base sur le retour de pertinence de l'utilisateur depuis l'artefact Interface. Dans notre système nous avons choisi le feedback explicite en demandant à l'utilisateur d'appuyer sur un bouton "c'est pertinent" pour exprimer son jugement de pertinence. L'ensemble des documents sélectionnés comme pertinents constitue l'ensemble $D_{P_i}^{REL}$ qui est ajouté à P_i .

La proposition de reformulation se base sur les termes fréquents indexant les documents jugés pertinents qui sont obtenus par $Index(D_{P_i}^{REL})$.

L'ensemble $Proposition(N_i)$ contenant un ensemble de termes proposés à l'utilisateur par l'agent Reformulation est construit tel que :

$$\forall d \in D_{P_i}^{REL}, \forall t \in Index(d)/t \notin K_{P_i}^{INIT} \cup T_{P_i}^{ACC} \cup T_{P_i}^{REJ}, \quad (19)$$

$$t \in Proposition(N_i) \quad (20)$$

Cet ensemble est proposé à l'utilisateur qui peut choisir de les accepter (ensemble T_{acc}) ou de les rejeter (ensemble T_{rej}). Le profil est mis à jour par l'agent Reformulation avec

$$T_{P_i}^{ACC} = T_{P_i}^{ACC} \cup T_{acc} \quad (21)$$

$$T_{P_i}^{REJ} = T_{P_i}^{REJ} \cup T_{rej} \quad (22)$$

Si $T_{P_i}^{ACC}$ a été modifié, l'agent Reformulation lance une nouvelle recherche en utilisant la nouvelle requête :

$$Recherche(K_{P_i}^{INIT} \cup T_{P_i}^{ACC}) \mapsto D' \quad (23)$$

puis met à jour l'ensemble des documents pertinents à base de la recherche d'information.

$$D_i = (D_{i,RI} \cup D', D_{i,REC}) \quad (24)$$

Ce processus de reformulation, ici décrit après le premier résultat d'une requête, sera réitéré à chaque fois que l'utilisateur sélectionnera des documents proposés comme étant pertinents (ceux-ci pouvant avoir été issus d'une requête déjà re-formulée).

3.3.3. Agent Communautaire

La couche décision contient un unique agent Communautaire dont le rôle est de proposer des documents qui ont été jugés pertinents pour des profils de navigation proche. À la création d'un profil P_i , l'agent Communautaire analyse tous les autres Profils P_j pour comparer leurs termes initiaux et acceptés à ceux de P_i . Si tous les termes de P_i sont inclus dans ceux d'un profil P_j , les documents jugés pertinents pour P_j seront recommandés pour P_i . La construction de l'ensemble D_{AJ} représentant l'ensemble des documents à ajouter à ceux recommandés se fait comme suit :

$$\forall P_j \in \mathcal{P} / K_{P_i}^{INIT} \subset K_{P_j}^{INIT} \cup T_{P_j}^{ACC}, D_{P_j}^{REC} \subset D_{AJ} \quad (25)$$

$$D_j = (D_{j,RI}, D_{j,REC} \cup D_{AJ}) \quad (26)$$

4. Application à la navigation dans un corpus de document

La plateforme multi-agent de navigation personnalisée, modélisée dans la section précédente, a pour but d'être implémentée pour un prototype d'accès à un corpus numérique du droit international du transport. Nous décrivons dans cette section, le corpus utilisé pour le prototype, l'implémentation en cours de réalisation avec la plateforme Cartago (Ricci *et al.*, 2006), puis un scénario d'utilisation.

4.1. Le corpus de l'IDIT

Un prototype de plateforme de navigation sur un corpus numérique dans le domaine du droit international du transport est en développement dans le cadre du projet PlaIR 2.0 (Plateforme d'Indexation Régionale) en collaboration avec l'Institut du Droit International du Transport (IDIT).

Le corpus, constitué par l'IDIT², contient autour de 40 000 références incluant des documents classés en quatre groupes : jurisprudence, articles, réglementation, fonds documentaires. Ces documents sont indexés à l'aide d'une terminologie du domaine et par une analyse plein texte des documents. La personnalisation en fonction des utilisateurs et des navigations est très intéressante dans ce type de corpus. D'une part les utilisateurs n'ont pas les mêmes besoins pour une même requête du fait de niveaux d'expertises différents. D'autre part, des navigations "typiques" ont lieu, sans être précisément formalisées, selon des usages fréquents comme des études comparatives de cas, de jurisprudence, des recherches précises, . . .

2. Institut du Droit International des Transports. Site : <http://www.idit.asso.fr/>.

4.2. Les artefacts

La modélisation des artefacts du système pour leur implémentation dans Cartago (Ricci *et al.*, 2006) est représentée par la figure 2. Un artefact est défini par ses opérations et ses propriétés observables. À titre d'exemple, nous citons quelques opérations de l'artefact Profil qui permettent aux agents de mettre à jour les informations qu'il contient : *SetOwner*, *UpdateQuery*, *SetTacc* et *SetTrej* permettent respectivement de modifier l'utilisateur, les termes de son besoin informationnel courant, les termes acceptés et rejetés. Pour l'artefact Document, nous pouvons citer *AddRelevantD*, *Update* et *GetQuery* qui permettent respectivement d'ajouter des documents pertinents, mettre à jour l'ensemble de documents ainsi que la requête associée aux documents retournés par l'artefact recherche.

Par ailleurs, les propriétés observables donnent des informations aux agents. Par exemple pour l'artefact Recherche *CurrentQuery* et *CurrentResult* contiennent respectivement les mots-clés d'une requête et les documents obtenus en résultat. Pour l'artefact Navigation, nous pouvons citer *ID* et *currentState* qui sont respectivement l'identifiant de la navigation en cours ainsi que l'état en cours de la navigation.

La notion de liens entre les artefacts (Links dans Cartago) permet le partage des opérations entre les artefacts.

Dans l'artefact Profil, l'agent peut accéder et ajouter les documents pertinents ainsi que les besoins d'informations de l'utilisateur *AddRelevantD*, *AddQuery*. La couche décisionnelle est implémentée en Jason, ce qui nous permet d'utiliser la plateforme intégrée *JaCa* (Jason+Cartago).

4.3. Scénario d'exécution

Nous décrivons un scénario de navigation au sein du corpus de l'IDIT.

4.3.1. Requête initiale.

Supposons qu'un utilisateur, Paul, initie une navigation en cherchant toutes les décisions juridiques ayant impliquées des camions. Sa requête initiale est $K_{N_1}^{INIT} = \{camions\}$.

L'agent Interface crée un artefact Navigation défini par $N_1 = (\{camions\}, Paul)$.

L'agent Interface lance une première requête : *Recherche(camions)* via l'artefact Recherche, qui renvoie deux documents $D_{N_1, RI} = \{Decision_1, Decision_{10}\}$. Il s'ensuit la création d'un artefact Document $D_1 = (\{Decision_1, Decision_{10}\}, \emptyset)$.

4.3.2. Reformulations

L'utilisateur choisit de visualiser les deux documents. Mais, il juge comme un résultat pertinent la décision₁₀. Ce retour de pertinence, ainsi que les premiers résultats, entraîne la création d'un artefact Profil par l'agent Reformulation initialisé à $P_1 = (\{camions\}, \emptyset, \emptyset, \{Decision_{10}\})$. L'agent Reformulation extrait les termes de

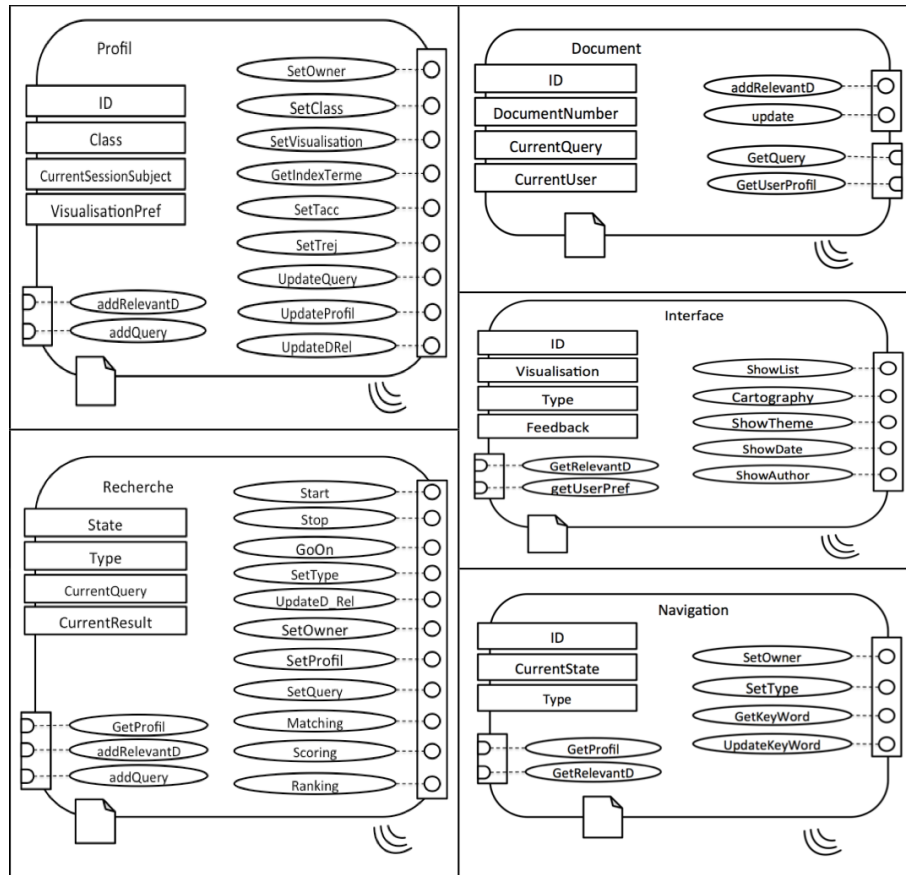


Figure 2. Les artefacts

l'index de la décision₁₀. $Index(Decision_{10})$ qui renvoie {véhicules motorisés, fruits, camions, aliments, accidents, motocyclettes, automobiles}.

Les termes ayant le poids le plus important et ne contenant pas les termes du besoin d'information initial sont : *véhicules motorisés*, *accidents* et *fruits*. L'agent Reformulation propose alors ces termes à l'utilisateur qui a le choix de les accepter ou les rejeter. Supposons, que Paul n'accepte que les deux derniers, son profil de navigation est alors devenu : $P_1 = \{\{\text{camions}\}, \{\text{accidents}, \text{fruits}\}, \{\text{véhicules motorisés}\}, \{Decision_{10}\}\}$.

L'agent Reformulation lance une nouvelle recherche : *Recherche(camions, accidents, fruits)* qui renvoie comme résultats les décisions (1, 10, 15, 20 et 19). L'utilisateur consulte les décisions (20, 19 et 15) et juge les décisions 15 et 19 comme pertinentes. L'agent Reformulation met alors à jour le profil de l'utilisateur *Paul*.

$$P_1 = (\{\text{camions}\}, \{\text{accidents, fruits}\}, \{\text{véhicule motorisés}\}, \{\text{Decision}_{10}, \text{Decision}_{15}, \text{Decision}_{19}\}).$$

Les termes de l'index de la décision₁₅ et la décision₁₉ sont : *fruits, camions, dommages, marchandises, poids lourd, pourcentage de dommages et délai de livraison*. À partir de la proposition de ces termes et qui ne font pas partie du besoin d'information initial et des termes déjà acceptés ou rejetés, l'utilisateur sélectionne les termes qui lui semblent utiles pour affiner son besoin d'information, ce qui amène à la proposition de nouveaux documents que l'utilisateur pourra à nouveau juger comme pertinents. Ce processus continue jusqu'à ce que l'utilisateur n'accepte plus de termes pour affiner son besoin d'information ou s'il exprime un nouveau besoin qui caractérise une nouvelle navigation.

4.3.3. Recommandation communautaire

Supposons qu'un utilisateur, Jean, utilise la plateforme pour une navigation ultérieure à Paul. L'artefact de navigation associé est $N_2 = (\{\text{fruits, délai de livraison}\}, \text{Jean})$. Parallèlement aux documents proposés par les agents Interface et Reformulation, l'agent Communautaire compare ce besoin d'information initial avec les autres profils connus.

Comme résultat il trouve $\{\text{fruits, délai de livraison}\} \subset \{K^{INIT} \cup T^{ACC}, \text{Paul}\}$. Il propose comme documents recommandés les documents jugés pertinents par *Paul* pour ce besoin d'information à savoir les décisions (27, 15, 19 et 10). Le résultat à afficher à l'utilisateur est composé des résultats de l'agent Interface et des recommandations de l'agent Communautaire : Décision₁, Décision₅₁, Décision₁₁, Décision₁₉ et Décision₂₇, Décision₁₅, Décision₁₀, Décision₁₉.

5. Extension de l'architecture Agent-Artefact proposée

Dans les sections précédentes, nous avons présenté notre modèle pour la recherche de documents à base d'agent et un exemple d'application. L'objectif de l'approche stigmergique que nous avons adoptée est de permettre une adaptation dynamique du système en fonction des ressources et des processus spécifiques d'un corpus numérique donné. Ainsi, nous montrons dans cette section que le système introduit dans la section 3 peut être étendu avec des ressources de corpus spécifiques. Pour cette question, le prochain paragraphe présente un artefact pour traiter les annotations fournies par les utilisateurs, montrant une extension de la couche de navigation.

Comme le montre la figure 3, nous avons ajouté à notre modélisation dans la couche Navigation un artefact Annotation.

5.1. Artefact Annotation

Le rôle de l'artefact annotation est de représenter les annotations de l'utilisateur. En effet, un utilisateur u_i peut annoter une ou plusieurs partie(s) $\xi \subset D$ qu'il juge

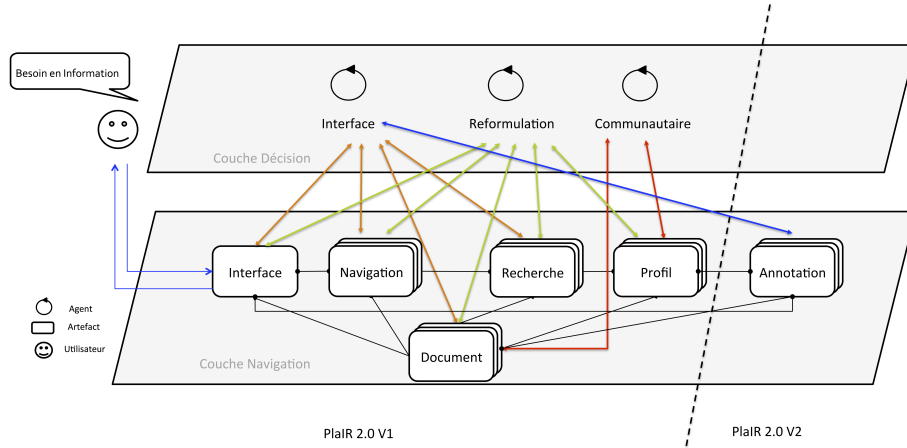


Figure 3. Extension de l'architecture Agent-Artefact proposée

pertinente(s) dans un document jugé pertinent D_i^{REL} . Il sélectionne un passage du document pertinent et y associe un commentaire appelé annotation An . L'ensemble des annotations constitue l'ensemble $A_{u_i}^D$

Les Annotations $A_{u_i}^D$ d'un utilisateur impliqué dans une session de navigation N_i est composé par son retour de pertinence $RF_{u_i} \in \{0, 1\}$, une ou plusieurs partie(s) $\xi \subset D$ qu'il juge pertinente(s) dans un document jugé pertinent D_i^{REL} ainsi que les annotations An .

$$A_{u_i}^D = (RF_{u_i}, \xi, An_i) \quad (27)$$

Avec

$$RF_{u_i} \in \{0, 1\} \quad (28)$$

$$\xi \subset D \quad (29)$$

et

$$An_i = Message \quad (30)$$

Les annotations des documents de chaque utilisateur sont stockées dans l'artefact Annotation. Pour intégrer les annotations dans la couche Navigation, nous avons besoin de mettre à jour l'artefact Interface pour permettre à l'utilisateur tout d'abord d'effectuer ses annotations en sélectionnant des passages dans le document et introduire son message. Ces modifications des documents annotés sont enregistrées et mises à jour par l'agent Interface dans l'artefact Document. Ainsi, lors de l'affichage des résultats de recherche, les documents annotés auront le poids le plus important par rapport à d'autres documents pertinents à afficher.

5.2. Exemple

Reprenons notre scénario d'exécution. Le profil de *Paul* est le suivant.

$$P_1 = (\{\text{camions}\}, \{\text{accidents, fruits}\}, \{\text{véhicule motorisés}\}, \\ \{Decision_{10}, Decision_{15}, Decision_{19}\}).$$

Paul annote le Décision 19 en affirmant que le passage de la décision de la ligne de 3 à la ligne 9 est la partie la plus pertinente. L'agent Interface met ensuite à jour l'artefact Annotation de l'utilisateur *Paul*. $A_{Paul}^{D_{19}} = (1, L3 - L9, \text{"cette partie détaille les raisons de la non-livraison de la marchandise"})$.

Les annotations sont mises en évidence en les affichant dans les premiers résultats si le document contenant l'annotation répond au besoin d'information.

6. Conclusion et perspectives

Nous avons présenté dans cet article un modèle à base d'agents pour la recherche de document. Contrairement aux travaux existants en utilisant des systèmes multi-agents pour la recherche de documents, nous avons proposé un modèle général suivant une approche stigmergique afin de rester indépendant de tout corpus numérique spécifique. Deux couches ont été définies pour cette question : une couche de navigation qui représente les ressources de corpus et les processus de navigation, mis en œuvre par le biais d'artefacts ; et une couche de décision composée par des agents qui agissent sur la couche de navigation pour influencer la navigation avec divers facteurs tels que reformulation de requêtes, ou les recommandations à partir de l'historique des explorations passées.

Un scénario d'utilisation de notre architecture a été montré sur un corpus numérique sur les documents de droit des transports. L'ouverture de notre approche est illustrée par l'ajout dynamique dans ce cas d'utilisation des ressources nouvelles de corpus. Comme perspective, nous prévoyons une validation expérimentale sur un panel d'utilisateurs.

Remerciements

Les travaux menés dans cet article bénéficient d'un financement du Grand Réseau de Recherche : Logistique, Mobilité, Numérique de la Région Haute-Normandie (projet PlaIR 2.0, 2013-2016).

Bibliographie

- Abowd G. D., Atkeson C. G., Hong J., Long S., Kooper R., Pinkerton M. (1997). Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. *Wireless networks*, vol. 3, n° 5, p. 421–433.
- Argamon S., Koppel M., Fine J., Shimoni A. R. (2003). Gender, genre, and writing style in formal written texts. *Text*, vol. 23, n° 3, p. 321–346.

- Bellotti V., Begole B., Chi E. H., Ducheneaut N., Fang J., et al. (2008). Activity-based serendipitous recommendations with the magitti mobile leisure guide. In *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems*, p. 1157–1166.
- Borlund P. (2003). The concept of relevance in ir. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 54, n° 10, p. 913–925.
- Chaib-Draa B., Jarras I., Moulin B. (2001). Systèmes multi-agents: principes généraux et applications. *Edition Hermès*, p. 1030–1044.
- Chen L., Sycara K. (1998). Webmate: a personal agent for browsing and searching. In *Proceedings of the second international conference on autonomous agents*, p. 132–139.
- Cheverst K., Davies N., Mitchell K., Friday A., Efstratiou C. (2000). Developing a context-aware electronic tourist guide: some issues and experiences. In *Proceedings of the sigchi conference on human factors in computing systems*, p. 17–24.
- Church K., Neumann J., Cherubini M., Oliver N. (2010). Socialsearchbrowser: a novel mobile search and information discovery tool. In *Proceedings of the 15th international conference on intelligent user interfaces*, p. 101–110.
- Côté M., Troudi N. (1998). Netsa: Une architecture multiagent pour la recherche sur internet. *Expertise Informatique*, vol. 3, n° 3.
- Daoud M., Lechani L.-T., Boughanem M. (2009). Towards a graph-based user profile modeling for a session-based personalized search. *Knowledge and Information Systems*, vol. 21, n° 3, p. 365–398.
- Dumais S., Cutrell E., Cadiz J. J., Jancke G., Sarin R., Robbins D. C. (2003). Stuff i've seen: a system for personal information retrieval and re-use. In, p. 72–79.
- Elayeb B. (2009). Saripod: Système multi-agent de recherche intelligente possibiliste de documents web.
- Grassé P.-P. (1959). La reconstruction du nid et les coordinations interindividuelles chez *bellinocosertermes natalensis* etc *biturmes* sp. la théorie de la stigmergie: Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs. *Insectes sociaux*, vol. 6, n° 1, p. 41–80.
- Grey D., Dunne P., Ferguson R. (2000). A mobile agent architecture for searching the www. In *Proc. workshop on agents in industry, 4th international conference of autonomous agents*.
- He D., Göker A., Harper D. J. (2002). Combining evidence for automatic web session identification. *Information Processing & Management*, vol. 38, n° 5, p. 727–742.
- Hecht B., Teevan J., Morris M. R., Liebling D. J. (2012). Searchbuddies: Bringing search engines into the conversation. *ICWSM*, vol. 12, p. 138–145.
- Hu J., Zeng H.-J., Li H., Niu C., Chen Z. (2007). Demographic prediction based on user's browsing behavior. In *Proceedings of the 16th international conference on world wide web*, p. 151–160.
- Hupfer M. E., Detlor B. (2006). Gender and web information seeking: A self-concept orientation model. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 57, n° 8, p. 1105–1115.
- Hwang A., Ahern S., King S., Naaman M., Nair R., Yang J. (2007). Zurfer: mobile multimedia access in spatial, social and topical context. In *Proceedings of the 15th international conference on multimedia*, p. 557–560.

- Jansen B. J., Spink A., Saracevic T. (2000). Real life, real users, and real needs: a study and analysis of user queries on the web. *Information processing & management*, vol. 36, n° 2, p. 207–227.
- Jones R., Klinkner K. L. (2008). Beyond the session timeout: automatic hierarchical segmentation of search topics in query logs. In *Proceedings of the 17th acm conference on information and knowledge management*, p. 699–708.
- Jones R., Kumar R., Pang B., Tomkins A. (2007). I know what you did last summer: query logs and user privacy. In *Proceedings of the sixteenth acm conference on conference on information and knowledge management*, p. 909–914.
- Karweg B., Huetter C., Böhm K. (2011). Evolving social search based on bookmarks and status messages from social networks. In *Proceedings of the 20th acm international conference on information and knowledge management*, p. 1825–1834.
- Leake D. B., Scherle R. (2001). Towards context-based search engine selection. In *Proceedings of the 6th international conference on intelligent user interfaces*, p. 109–112.
- Lemouzy S. (2011). *Systèmes interactifs auto-adaptatifs par systèmes multi-agents auto-organisateur: application à la personnalisation de l'accès à l'information*. Thèse de doctorat non publiée, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier.
- Liu F., Yu C., Meng W. (2004). Personalized web search for improving retrieval effectiveness. *Knowledge and Data Engineering, IEEE transactions on*, vol. 16, n° 1, p. 28–40.
- Marsh L., Onof C. (2008). Stigmergic epistemology, stigmergic cognition. *Cognitive Systems Research*, vol. 9, n° 1, p. 136–149.
- Martin I., Jose J. M. (2004). Fetch: A personalised information retrieval tool. In *Riao*, vol. 4, p. 405–419.
- Mizzaro S. (1997). Relevance: The whole history. *JASIS*, vol. 48, n° 9, p. 810–832.
- Morris M. R., Teevan J., Bush S. (2008). Enhancing collaborative web search with personalization: groupization, smart splitting, and group hit-highlighting. In *Proceedings of the 2008 acm conference on computer supported cooperative work*, p. 481–484.
- Nodine M., Fowler J., Ksiezyk T., Perry B., Taylor M., Unruh A. (2000). Active information gathering in infosleuth. *International Journal of Cooperative Information Systems*, vol. 9, n° 01n02, p. 3–27.
- Omicini A., Ricci A., Viroli M. (2008). Artifacts in the a&a meta-model for multi-agent systems. *Autonomous agents and multi-agent systems*, vol. 17, n° 3, p. 432–456.
- Pretschner A., Gauch S. (1999). Ontology based personalized search. In *Tools with artificial intelligence, 1999. proceedings. 11th ieee international conference on*, p. 391–398.
- Rhodes B. (2003). Using physical context for just-in-time information retrieval. *Computers, IEEE Transactions on*, vol. 52, n° 8, p. 1011–1014.
- Ricci A., Viroli M., Omicini A. (2006). Cartago: An infrastructure for engineering computational environments in mas. In : *3rd Inter. Workshop "Environments for Multi-Agent Systems" E4MAS*.
- Saracevic T. (2007). Relevance: A review of the literature and a framework for thinking on the notion in information science. part iii: Behavior and effects of relevance. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, vol. 58, n° 13, p. 2126–2144.

- Shen X., Tan B., Zhai C. (2005). Context-sensitive information retrieval using implicit feedback. In *Proceedings of the 28th annual international acm sigir conference on research and development in information retrieval*, p. 43–50.
- Sieg A., Mobasher B., Burke R. (2007). Web search personalization with ontological user profiles. In *Proceedings of the sixteenth acm conference on conference on information and knowledge management*, p. 525–534.
- Sieg A., Mobasher B., Lytinen S., Burke R. (2004). Using concept hierarchies to enhance user queries in web-based information retrieval. In *The iasted international conference on artificial intelligence and applications. innsbruck, austria*.
- Silverstein C., Marais H., Henzinger M., Moricz M. (1999). Analysis of a very large web search engine query log. In *Acm sigir forum*, vol. 33, p. 6–12.
- Speretta M., Gauch S. (2005). Personalized search based on user search histories. In *Web intelligence, 2005. proceedings. the 2005 ieee/wic/acm international conference on*, p. 622–628.
- Spink A., Jansen B. J. (2004). Web search: Public searching of the web (band 6). *Information Science and Knowledge Management, Kluwer, Dordrecht*.
- Sun J.-T., Zeng H.-J., Liu H., Lu Y., Chen Z. (2005). Cubesvd: a novel approach to personalized web search. In *Proceedings of the 14th international conference on world wide web*, p. 382–390.
- Sycara K., Pannu A., Williamson M., Zeng D., Decker K. (1996). Distributed intelligent agents. *IEEE Intelligent Systems*, n° 6, p. 36–46.
- Teevan J., Morris M. R., Bush S. (2009). Discovering and using groups to improve personalized search. In *Proceedings of the second acm international conference on web search and data mining*, p. 15–24.
- Vallet D., Cantador I., Jose J. M. (2010). Personalizing web search with folksonomy-based user and document profiles. In *Advances in information retrieval*, p. 420–431. Springer.
- Van Setten M., Pokraev S., Koolwaaij J. (2004). Context-aware recommendations in the mobile tourist application compass. In *Adaptive hypermedia and adaptive web-based systems*, vol. 3137, p. 235–244.
- Weber I., Castillo C. (2010, July). The demographics of web search. In *Proceedings of the 33rd international acm sigir conference on research and development in information retrieval*. New York, NY, USA, AMC.
- Yau S. S., Liu H., Huang D., Yao Y. (2003). Situation-aware personalized information retrieval for mobile internet. In *Computer software and applications conference, 2003. compsoc 2003. proceedings. 27th annual international*, p. 639–644.
- Ying J. J.-C., Lu E. H.-C., Lee W.-C., Weng T.-C., Tseng V. S. (2010). Mining user similarity from semantic trajectories. In *Proceedings of the 2nd acm sigspatial international workshop on location based social networks*, p. 19–26.
- Zhang B.-T., Seo Y.-W. (2001). Personalized web-document filtering using reinforcement learning. *Applied Artificial Intelligence*, vol. 15, n° 7, p. 665–685.