

REGLES DE RECHERCHE D'INFORMATION SUR INTERNET SIMULATION AGENTS INTELLIGENTS

Dorin Militaru
Amiens School of Management, FRANCE

RESUME

Les agents de recherche disponibles sur l'Internet sont des outils permettant aux consommateurs de comparer les prix d'un produit proposé par différents vendeurs. Les agents existants basent leur recherche sur une liste prédéfinie de vendeurs à consulter, autrement dit, ils utilisent une règle de recherche avec une taille d'échantillon fixe (agent de recherche FSS). Toutefois, dans le futur, avec la mise en place de nouveaux systèmes de tarification des communications sur le réseau, cette règle de recherche est susceptible d'évoluer vers d'autres règles plus flexibles permettant aux agents de faire un arbitrage entre les coûts de communication et le prix trouvé. Dans ce cadre, la règle de recherche séquentielle optimale (agent de recherche RP) est une alternative possible. Néanmoins, son adoption va dépendre fortement de ses performances espérées. Dans cet article, nous analysons les performances relatives d'agents RP et FSS sur un marché où l'accès à l'information est coûteux. A l'équilibre théorique du marché, nous montrons que les agents de recherche RP permettent toujours aux consommateurs de payer des coûts totaux moins élevés. Dans un second temps, nous testons la robustesse de ce résultat théorique en simulant un marché sur lequel les agents de recherche RP et les vendeurs n'ont qu'une information partielle sur sa structure.

Mots-clés: Commerce électronique, agent, règle de recherche, théorie des jeux, simulations.

ABSTRACT

Internet searching agents are tools allowing consumers to compare on-line Web-stores' prices for a product. The existing agents base their search on a predefined list of Web-stores and, as such, they can be qualified as fixed-sample size searchers (FSS searching agents). However, in the future, with the implementation of new Internet pricing schemes, this search rule is likely to evolve toward more flexible searching methods allowing for an explicit trade-off between the communication costs and the product price. In this setting, the sequential optimal search rule (RP searching agents) is a possible alternative. However, its adoption depends on its expected performance. The present paper analyses the relative performances of RP and FSS searching agents on a market with costly information. At the theoretical equilibrium of the market, we show that the RP searching agents always allow to consumers to pay lower total costs. We further test the robustness of this result by simulating a market where the RP searching agents and the Web-stores have only a partial information about the market structure.

Keywords : Electronic Commerce, Agent, Search Rule, Game Theory, Simulations.

1. Introduction

Au cours de ces dernières années, la croissance du volume d'information sur l'Internet a entraîné une demande toujours plus importante pour des outils capables

d'assister efficacement les Internauteurs dans leur recherche. Dans le domaine commercial, cette demande s'est traduite par l'apparition d'agents de recherche spécialisés permettant aux consommateurs de collecter

automatiquement certaines informations commerciales dans les catalogues électroniques des magasins en lignes. L'un des premiers agents mis en place sur le réseau a été BargainFinder (juin 1995) qui permettait de comparer le prix d'un C.D. sur neuf sites marchands. Depuis, des agents plus sophistiqués comme Jango ont été développés [www.jango.com] et ils ne limitent plus leur recherche à un seul produit (ordinateur, logiciels, cosmétiques, vins, etc.) ou à un seul attribut (prix, délai de livraison, caractéristiques du produit, etc.). En dépit de ces progrès, l'utilisation des agents de recherche électroniques est encore dans une phase naissante. Même si on peut imaginer un futur proche où les vendeurs et les consommateurs interagissent par entités virtuelles interposées [7], on ne sait pas encore avec certitude quelles seront les règles qui gouverneront un tel marché.

Les travaux actuels, sauf quelques rares exceptions [8], considèrent les coûts de recherche comme négligeables dans la modélisation des marchés électroniques. Cependant, le traitement et la gestion du volume d'information croissant sur l'Internet va certainement rendre coûteuse la recherche d'information dans le futur. En effet, les bandes passantes du réseau ne sont pas infiniment extensibles et un système de tarification basé sur son utilisation effective [9] va très probablement être mis en place afin d'éviter les problèmes de congestion. Les agents de recherche devront alors payer des coûts de recherche (des coûts de communication) pour chaque vendeur qu'ils consulteront. Dans ce cadre, les coûts

associés à une recherche seront certainement répercutés aux consommateurs. Même si ceux-ci sont relativement faibles par rapport au prix des produits, les agents de recherche devront les incorporer dans leurs décisions afin de maximiser la satisfaction des consommateurs. On peut noter que la règle de recherche actuellement utilisée par les agents ne prend pas en compte cette problématique et on peut donc raisonnablement s'interroger sur le fait de savoir s'ils ne vont pas devoir en changer dans l'avenir. En effet, les agents existants basent leur recherche sur des listes prédéfinies de sites marchands à consulter et ils n'incorporent donc pas explicitement les coûts associés à la réalisation de leur objectif. Ce mode de recherche correspond à l'utilisation d'une règle de recherche avec une taille d'échantillon fixe et, dans cet article, les agents utilisant cette règle seront dénommés des agents de recherche FSS. Toutefois, la théorie économique montre que, sur un marché où la recherche d'information est coûteuse, la règle optimale de recherche d'information est une règle séquentielle avec prix de réservation [10]. Les agents de recherche RP (utilisant une règle de recherche séquentielle optimale) représenteraient donc une alternative possible pour remplacer les agents de recherche FSS. En effet, en présence de coûts de recherche, l'objectif d'un consommateur n'est pas seulement de minimiser le prix d'achat d'un produit mais aussi de minimiser les coûts de communication qu'il devra payer.

L'objectif de cet article est de comparer la performance des agents FSS et des agents RP en terme de coûts totaux (prix du produit plus coût total de la recherche) payés par les consommateurs. Nous cherchons donc à savoir si les agents de recherche existants ont intérêt à adopter une règle de recherche séquentielle optimale. Pour ce faire, nous analysons un marché sur lequel des agents de recherche FSS et RP coexistent. Dans notre modèle, nous supposons que les coûts de recherche correspondent à des coûts de communication unitaires constants payés par les agents pour accéder à l'information contenue sur les sites des vendeurs. Un grand nombre de modèles économiques se sont déjà intéressés à l'équilibre théorique lorsque la recherche effectuée par les acheteurs sur un marché est coûteuse ([5], [12]) ou bien lorsque ces derniers sont en situation d'asymétrie d'information [13]. Le modèle le plus proche de celui que nous développons dans notre article est celui de Stahl [11]. Néanmoins, contrairement à cet auteur qui considère que les acheteurs FSS basent toujours leur recherche à partir de l'ensemble des prix du marché, nous supposons dans notre modèle que la taille de l'échantillon des agents FSS est limitée. De plus, nous considérons que les consommateurs ont des demandes unitaires et nous introduisons de manière explicite leur valeur de réservation. Pour le marché considéré, nous déterminons l'équilibre symétrique en stratégie mixte et nous comparons les performances respectives des agents de recherche FSS et RP. A l'équilibre théorique, nous montrons que les agents utilisant une règle de recherche séquentielle

permettent toujours aux consommateurs de payer des coûts totaux plus faibles. Sur un marché Internet existant, il est très improbable que les hypothèses restrictives de notre analyse théorique basée sur la théorie des jeux soit vérifiées. Afin de les relâcher, nous simulons un marché sur lequel les vendeurs utilisent une stratégie de tarification dynamique nécessitant peu d'information et les agents de recherche RP utilisent des informations partielles pour déterminer leur prix de réservation. Ces simulations confirment la bonne performance de la règle de recherche séquentielle et montrent donc qu'elle pourrait être adoptée par les agents dans le futur.

Notre article est organisé comme suit. Le modèle de marché que nous étudions et la détermination de son équilibre théorique sont respectivement présentés dans les sections 2 et 3. Dans la section 4, nous comparons les performances des deux types d'agents de recherche présents sur le marché à l'équilibre. Dans la section suivante, nous présentons et analysons les résultats de nos simulations concernant la performance des deux règles de recherche dans différentes configurations de marché. Pour finir, nous discutons nos résultats et nous mettons en perspective les extensions possibles de notre étude.

2. Description du marché

Sur un marché Internet, des agents représentant des vendeurs ou des consommateurs échangent un produit homogène (bien ou service). Un agent

vendeur désigne un agent appartenant à un magasin en ligne et un agent de recherche désigne un agent utilisé par un consommateur. Ces agents agissent au nom de leurs utilisateurs respectifs en maximisant leur profit (agents vendeurs) ou en recherchant la “meilleure affaire” (agents de recherche)¹. Sur le marché, le nombre d'agents de recherche M est significativement plus important que le nombre N d'agents vendeurs ($M \gg N$). Le nombre d'agents vendeurs et d'agents de recherche est considéré comme fixe au cours du temps. Comme le produit commercialisé par les agents vendeurs est identique, ceux-ci se concurrencent uniquement en terme de prix. Nous supposons que les vendeurs ont tous le même coût unitaire de production v et le même coût fixe FC . Sans perte de généralité, nous supposons dans notre analyse que ces deux coûts sont nuls². Ainsi, chaque agent vendeur peut satisfaire toutes les demandes qu'il reçoit. Dans notre modèle, nous ignorons les possibilités de négociation entre les agents de recherche et les agents vendeurs. Les transactions entre les agents se déroulent donc sous la forme d'ultimatum (i.e., les vendeurs affichent simplement des prix non négociables dans leur catalogue).

¹ Même si les utilisateurs réels des agents (consommateurs et vendeurs) sont une des composantes indispensables à l'existence du marché, nous supposons dans notre modèle que les agents sont dotés de toutes les informations nécessaires pour les représenter et atteindre leurs objectifs.

² On peut noter que cette hypothèse est particulièrement justifiée pour des biens informationnels (journaux en ligne, logiciels, livres digitaux, etc.) car il n'y a pas de coût associé à leur réplique [14].

Sur le marché, les agents de recherche doivent tous payer un coût de recherche positif c pour chacun des agents vendeurs qu'ils consultent. Ce coût de recherche représente un coût de communication pour accéder aux prix des vendeurs. Dans notre étude, deux types d'agents de recherche coexistent sur le marché, des agents qui utilisent une règle de recherche avec une taille d'échantillon fixe (agent de recherche FSS) et des agents qui utilisent une règle de recherche séquentielle avec prix de réservation (agent de recherche RP)³. Chaque agent de recherche, quelque soit son type, a une demande unitaire contrainte par une valeur de réservation r . Cette valeur de réservation est supposée égale pour tous les agents de recherche et elle s'interprète comme le prix maximum auquel les consommateurs ont autorisé leur agent à acheter le produit. Les agents de recherche FSS retranscrivent la règle de recherche employée par les agents de recherche existants et ils utilisent une liste prédéfinie de n agents vendeurs. Bien que tous les agents de recherche FSS aient une taille d'échantillon identique, on peut noter que les vendeurs se trouvant dans l'échantillon peuvent être différents. Ces agents sont en proportion w_1 sur le marché et ils achètent le produit au prix le plus bas parmi les n prix observés (à la condition que ce prix soit inférieur à leur valeur de réservation). Les autres agents de recherche RP sont en proportion w_2 ($= 1 - w_1$) et ils recherchent séquentiellement des partenaires de

³ En théorie économique, ces deux règles de recherche sont souvent qualifiées de “non-optimale” pour la règle

transaction. Si nous notons $F(p)$ la fonction de répartition des prix sur le marché, la règle de recherche RP peut être formalisée comme suit : lorsqu'un agent RP consulte un agent vendeur lui proposant un prix q , les gains associés à une recherche additionnelle sont,

$$g(q) = \int_0^q (q - p)dF(p) = \int_0^q F(p)dp \quad (2)$$

où q est le prix espéré du vendeur suivant. D'un point de vue économique, il est optimal de continuer à chercher tant que les gains espérés d'une recherche additionnelle sont supérieurs au coût unitaire de recherche [10]. Ainsi, le prix de réservation R peut être facilement déterminé comme la solution de l'équation $g(R) = c$.

3. Equilibre théorique du marché

De manière à déterminer l'équilibre théorique du modèle de marché décrit ci-dessus, il nous faut tout d'abord procéder à une analyse stratégique du comportement des agents vendeurs. Ces derniers jouent un jeu de Nash non-coopératif entre eux et un jeu de Stackelberg face aux agents de recherche qui prennent les prix comme donnés. Comme il n'existe pas d'équilibre en stratégie pure dans notre modèle ([13], [11]), nous déterminons un équilibre symétrique en stratégie mixte selon lequel les agents vendeurs vont tous choisir de manière aléatoire un prix dans une même distribution de probabilité. Nous notons $f(p)$, cette distribution de probabilité d'équilibre et $F(p)$ la fonction de répartition qui lui est

associée. Comme les agents de recherche de type RP sont caractérisés par les mêmes paramètres (même coût de recherche et valeur de réservation identique) et qu'ils font face à la même distribution de prix, ils vont conduire leur recherche de manière similaire. Ainsi, à l'équilibre, tous ces agents RP vont donc choisir le même prix de réservation R .

A partir de ces différentes remarques, nous pouvons déterminer l'équilibre de ce marché. Nous établissons tout d'abord certaines propriétés de la distribution de probabilité d'équilibre. Dans un second temps, nous analysons le comportement optimal des agents vendeurs. Durant ces deux étapes, nous supposons que le prix de réservation des agents de recherche RP est exogène ce qui confère à notre analyse un aspect conditionnel. Nous notons $F(p, R)$ la fonction de répartition de la distribution de probabilité d'équilibre conditionnellement au prix de réservation R . Pour finir, nous établissons les conditions d'existence d'un prix de réservation endogène ainsi que son expression analytique.

3.1. Remarques préliminaires

Avant de calculer l'équilibre de Nash symétrique en stratégie mixte conditionnellement à R , deux propriétés de cet équilibre doivent être établies : la distribution de probabilité d'équilibre n'a pas de point de masse (Lemme 1) et elle admet une limite supérieure (Lemme 2). Nous exposons seulement ci-dessous des arguments de démonstrations intuitifs pour ces deux lemmes. Pour des démonstrations plus formalisées, le lecteur intéressé

de recherche FSS et "d'optimale" pour la règle séquentielle avec prix de réservation [10].

pourra se référer à l'article de Stahl [11] et à celui de Varian [13].

Lemme 1. Si $f(p, R)$ est la fonction de densité d'équilibre conditionnelle à R , elle ne peut pas avoir de point de masse⁴ excepté au prix le plus bas.

Preuve. Supposons que la fonction de densité ait un point de masse à un prix p^* (p^* différent du prix le plus faible). Alors, pour tout échantillon de taille $n \geq 2$ des agents de recherche FSS, il existe une probabilité positive pour que ces agents trouvent uniquement des agents vendeurs pratiquant le prix p^* . Dans ce cas, si l'un des agents vendeurs baisse son prix d'un epsilon, il peut augmenter ses ventes en attirant tous les agents de recherche FSS et augmenter par là même ses profits. On peut donc conclure qu'il ne peut exister un équilibre avec seulement deux prix ou une fonction de répartition avec un point de masse autre que le prix le plus faible.

Lemme 2. Si $F(p, R)$ est la fonction de répartition de la distribution de probabilité d'équilibre conditionnelle à R , le prix représentant la borne maximale de son support p_{\max} correspond à $\min\{R, r\}$.

Preuve. Pour démontrer ce résultat, il faut montrer que p_{\max} ne peut être ni inférieur ni supérieur à $\min\{R, r\}$. Considérons le premier cas où $p_{\max} < \min\{R, r\}$. Du fait que la fonction de probabilité n'a pas de point de masse, lorsqu'un agent vendeur affiche un prix p_{\max} il ne peut faire des ventes

qu'auprès des agents de recherche RP. Néanmoins, en augmentant légèrement son prix, il ne perdrait aucun client et augmenterait son profit. Cette situation ne peut donc être un équilibre. Considérons maintenant le cas opposé où $p_{\max} > \min\{R, r\}$. Si $r < R$ la démonstration est immédiate car les agents vendeurs ne peuvent espérer faire aucune vente en fixant un tel prix. En effet, les agents de recherche ne paient jamais un prix supérieur à leur valeur de réservation r . Si $r > R$, les agents vendeurs perdent tous leurs clients s'ils affichent le prix p_{\max} . En effet, les agents de recherche RP n'achètent pas car le prix est supérieur à R et les agents de recherche FSS ont une probabilité de un de trouver un prix plus faible (cf. Lemme 1.). Les profits espérés des agents vendeurs sont donc nuls. En diminuant leur prix maximum à R , les agents vendeurs peuvent attirer au moins $1/N$ agents de recherche RP et obtenir des profits positifs. Compte tenu de ces différentes remarques, on peut donc conclure que $p_{\max} = \min\{R, r\}$.

3.2. Calcul de l'équilibre de Nash symétrique en stratégie mixte

Les deux lemmes que nous avons précédemment établis nous permettent maintenant de calculer la fonction de répartition d'équilibre conditionnelle à R . Comme nous avons montré que tous les prix pratiqués sur le marché seront inférieurs à R à l'équilibre (cf. Lemme 2), tous les agents de recherche RP vont procéder à leur achat auprès du premier vendeur visité. Il s'en suit que seuls les agents de recherche FSS vont effectivement procéder à une recherche. La condition pour que $f(p)$ soit une fonction de

⁴ Rappelons que p est un point de masse d'une fonction de densité s'il existe une probabilité positive concentrée en p .

probabilité d'équilibre pour chaque agent vendeur i ($i = 1, \dots, N$) est qu'elle maximise leur profit espéré. En d'autres termes, cela implique que tous les profits des vendeurs devront être identiques à l'équilibre sinon ils pourraient choisir d'autres prix ayant des profits espérés plus élevés. Pour que cela soit vrai, il faut que pour une valeur positive K quelconque, deux conditions soient remplies : (i.) $\pi(p_i) \leq K$ et (ii.) $\pi(p_i) = K$ pour tout prix p_i proposé à l'équilibre.

En proposant un prix p_i tandis que tous les autres vendeurs tirent leur prix dans la fonction de probabilité $f(p)$, les profits espérés d'un agent vendeur i dépendent de la demande à laquelle il fait face : $\pi(p_i) = p_i D_i(p_i, p_{-i})$ où p_{-i} est le vecteur des prix des autres vendeurs et $D_i(p_i, p_{-i}) = D_{i, w_1}(p_i, p_{-i}) + D_{i, w_2}(p_i, p_{-i})$ où $D_{i, w_1}(p_i, p_{-i})$ est la demande espérée de la part des agents de recherche FSS et $D_{i, w_2}(p_i, p_{-i})$ la demande espérée de la part des agents de recherche RP. Pour que les agents de recherche FSS achètent le produit à l'agent vendeur i , deux conditions doivent être remplies. Il faut que ce vendeur se trouve dans l'échantillon de taille n de l'agent de recherche FSS et qu'il propose le prix le plus faible. La probabilité associée à la première condition est n / N et la probabilité associée à la seconde condition est⁵ $[1 - F(p_i)]^{n-1}$. Ainsi, la demande espérée par les agents de recherche FSS est $D_{i, w_1}(p_i, p_{-i}) = w_1 M (n / N) [1 - F(p_i)]^{n-1}$. De plus, comme p_i est toujours inférieur à R pour tous

⁵ Du fait qu'il n'y a pas de point de masse dans la fonction de répartition d'équilibre, on peut ignorer la possibilité que le prix p_i soit choisi par un autre vendeur.

les vendeurs, la probabilité pour qu'un agent de recherche RP achète à l'agent vendeur i est $1 / N$ quelque soit le prix qu'il pratique⁶. La demande espérée de la part des agents de recherche RP est égale à $D_{i, w_2}(p_i, p_{-i}) = w_2 M (1 / N)$.

Le profit d'un agent vendeur i qui propose un prix p_i est donc égal à,

$$\pi_i(p_i) = p_i \left[w_1 M \frac{n}{N} [1 - F(p_i, R)]^{n-1} + w_2 M \frac{1}{N} \right] \quad (3.1)$$

De manière à ce que $F(p_i, R)$ soit une fonction de répartition d'équilibre, un agent vendeur i doit avoir des profits espérés identiques en choisissant un prix quelconque. Cette condition $\pi(p_i) = \pi$ doit être vraie pour tous les prix p_i . Comme pour $p_i = p_{\max}$ nous avons $F(p_{\max}) = 1$, on peut aisément déterminer la valeur de π :

$$\pi = \frac{p_{\max} w_2 M}{N} \quad (3.2)$$

Comme $\pi(p_i) = \pi$, on obtient :

$$F(p_i, R) = 1 - \left[\frac{w_2}{n w_1} \left(\frac{p_{\max}}{p_i} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{n-1}} \quad (3.3)$$

La fonction de probabilité $f(p_i, R)$ est alors simplement la dérivée de $F(p_i, R)$ par rapport à p_i :

$$f(p_i, R) = \frac{w_2}{n(n-1)w_1} \left[\frac{w_2}{n w_1} \left(\frac{p_{\max}}{p_i} - 1 \right) \right]^{\frac{n-2}{n-1}} \frac{p_{\max}}{p_i^2} \quad (3.4)$$

Pour que $F(p_i, R)$ soit la fonction de répartition d'équilibre, elle doit prendre uniquement des valeurs positives. Ainsi, on peut calculer le support minimum de f , p_{\min} , dont la valeur est telle que $F(p_{\min}, R) = 0$:

⁶ A l'équilibre, comme tous les prix pratiqués par les vendeurs seront plus faibles que R , un agent de recherche RP pourra acheter le produit à n'importe lequel d'entre eux.

$$p_{\min}(R) = \frac{p_{\max} w_2}{nw_1 + w_2} \quad (3.5)$$

A ce stade, nous avons une caractérisation complète de l'équilibre de Nash symétrique en stratégie mixte conditionnellement à R.

3.3. Existence d'un R endogène

Jusqu'à présent, nous avons supposé que R était exogène. Pour que notre analyse de l'équilibre soit complètement achevée, il est nécessaire de montrer qu'il existe un R endogène en adéquation avec la distribution $F(p, R)$. Comme nous l'avons précédemment souligné, les agents de recherche RP choisissent leur prix de réservation optimal R^* en résolvant l'équation suivante :

$$g(R) = \int_{p_{\min}(R)}^R F(p, R) dp = c \quad (3.6)$$

On peut noter que les agents de recherche RP ne vont jamais choisir un prix de réservation R^* supérieur à leur valeur de réservation r. L'équation (3.6) peut se réécrire sous la forme suivante :

$$H(p, R^*, c) = 0 \text{ où } H(p, R, c) = \int_{p_{\min}(R)}^R F(p, R) dp - c \quad (3.7)$$

De manière à simplifier notre analyse, considérons tout d'abord le cas où $R^* \leq r$. Dans ce cas, $p_{\max} = R^*$. En utilisant les équations (3.3) et (3.5), l'équation (3.7) devient :

$$H(p, R^*, c) = \int_{\frac{w_2 R^*}{nw_1 + w_2}}^{R^*} \left[1 - \left[\frac{w_2}{nw_1} \left(\frac{R^*}{p} - 1 \right) \right]^{\frac{1}{n-1}} \right] dp - c \quad (3.8)$$

On peut alors obtenir l'expression analytique de R^* :

$$R^* = \frac{c}{1 - \alpha - \beta I_n} \quad (3.9)$$

$$\text{où } \alpha = \frac{w_2}{nw_1 + w_2},$$

$$\beta = \left(\frac{w_2}{nw_1} \right)^{\frac{1}{n-1}} \text{ et } I_n = \int_0^{(1/\alpha)-1} \frac{t^{1/(n-1)}}{(t+1)^2} dt$$

La seule condition pour que R^* soit le prix de réservation des agents de recherche RP est qu'il soit positif :

$$1 - \alpha - \beta I_n > 0 \quad (3.10)$$

Considérons maintenant le cas où R^* est supérieur à r. Dans cette éventualité, les agents de recherche RP vont fixer leur prix de réservation à r et p_{\max} sera égal à r. Ainsi, en utilisant la condition (3.10), nous pouvons en déduire que le prix de réservation R des agents de recherche RP correspond à $R = \min\{R^*, r\}$. Cette dernière équation caractérise le comportement des agents de recherche RP à l'équilibre et le comportement des agents vendeurs est donné par l'équation (3.3).

4. Comparaison des performances des deux types d'agent

Dans cette section, nous étudions les performances respectives des agents de recherche FSS et des agents de recherche RP en terme de coûts totaux payés par les consommateurs. Le coût total pour un consommateur est simplement le prix qu'il va payer plus le coût total de la recherche faite par son agent. Le coût total espéré pour un consommateur qui utilise un agent de recherche FSS est donné par l'expression suivante :

$$CT_{FSS}(n) = cn + \bar{p}_n \quad (4.1)$$

où $CT_{FSS}(n)$ représente le coût total espéré d'un agent de recherche ayant une taille d'échantillon de n, \bar{p}_n représente le prix

espéré payé par le consommateur et cn est le coût total de la recherche avec l'utilisation de cet agent. Sur le marché que nous avons considéré, le prix espéré \bar{p}_n payé par un agent de recherche FSS avec une taille d'échantillon de n est donné par :

$$\bar{p}_n = \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} [1 - F(p)]^{n-1} nf(p) p dp \quad (4.2)$$

Le coût total espéré pour cet agent est donc :

$$CT_{FSS}(n) = cn + \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} [1 - F(p)]^{n-1} nf(p) p dp \quad (4.3)$$

Pour déterminer le coût total espéré en utilisant un agent de recherche RP, nous avons précédemment montré qu'à l'équilibre un tel agent achète au premier magasin qu'il visite. Ainsi, un agent de recherche RP va seulement payer un coût de recherche c . Le coût total espéré est alors donné par l'expression suivante :

$$CT_{RP} = c + \int_{p_{\min}}^{p_{\max}} p f(p) dp \quad (4.4)$$

De manière à comparer la performance entre ces deux types d'agents de recherche, nous devons analyser le signe de la différence entre leur coût total respectif :

$$\Delta CT(n) = CT_{FSS}(n) - CT_{RP} = c(n-1) + \int_{p_{\min}}^R (1-F(p)) [1 - F(p)]^{n-1} dp \quad (4.5)$$

En remplaçant $F(p)$ par son expression analytique (cf. équation (3.3)), on peut montrer que $\Delta CT(n)$ est positive quelque soit la taille de l'échantillon n des agents de recherche FSS, la proportion des deux types d'agents sur le marché (w_1 et w_2) ou la valeur du coût de recherche c . Nous pouvons donc conclure qu'à l'équilibre, les agents de recherche RP vont toujours permettre aux consommateurs de payer des coûts totaux inférieurs ou égaux aux coûts payés par des

agents de recherche FSS. Ce modèle théorique montre donc que les agents de recherche ont intérêt à évoluer vers l'utilisation d'une règle de recherche séquentielle avec prix de réservation pour satisfaire le mieux possible les consommateurs. On peut noter que ce résultat est cohérent avec la littérature économique qui considère toujours cette règle comme optimale pour rechercher sur un marché où l'accès à l'information est coûteux.

5. Simulations

Dans notre analyse précédente, la supériorité des agents de recherche RP sur les agents de recherche FSS est fortement dépendante des hypothèses sous-jacentes à notre modèle basé sur la théorie des jeux. En effet, comme les agents de recherche RP sont parfaitement informés de la structure du marché et qu'il y a connaissance commune de la rationalité, ces derniers sont capables de calculer l'équilibre en stratégie mixte pour les vendeurs et de déterminer leur prix de réservation conformément à cette distribution. Ces hypothèses sont particulièrement restrictives dans le cadre d'un marché réel. En effet, il est peu vraisemblable dans la pratique que ces agents aient une connaissance parfaite de la structure du marché et que les vendeurs puissent tarifier leurs produits conformément à la distribution de probabilité d'équilibre précédemment établie (il serait nécessaire qu'eux aussi soit parfaitement informés de la structure du marché). Une analyse plus conforme à la réalité semble donc nécessaire d'autant plus

que certaines études théoriques [6] montrent que de faibles erreurs d'anticipations des agents de recherche RP peuvent altérer considérablement leur performance. L'introduction d'information partielle dans la stratégie de recherche des agents RP semble donc très importante avant de conclure définitivement à leur supériorité sur les agents de recherche FSS dans le contexte d'un marché réel. En effet, des informations partielles sur le marché peuvent amener les agents de recherche RP à augmenter leur coût total de recherche alors que la règle de recherche avec une taille d'échantillon fixe peut limiter le coût de recherche des agents FSS. Conformément à d'autres travaux qui cherchent à relâcher les hypothèses des modèles économiques [8] pour étudier les marchés Internet, nous simulons un marché sur lequel les agents vendeurs cherchent à maximiser leur profit en utilisant une stratégie de tarification dynamique qui ne nécessite que peu d'informations et où les agents de recherche RP n'ont qu'un degré partiel d'information sur la distribution des prix du marché lorsqu'ils déterminent leur prix de réservation.

5.1. La stratégie de tarification des vendeurs et l'information des agents de recherche RP

Dans nos simulations, nous considérons que les agents vendeurs utilisent une stratégie de tarification dynamique basée sur l'heuristique du gradient. L'incitation des vendeurs à adopter une telle stratégie de fixation des prix sur l'Internet a déjà été montrée dans d'autres travaux de recherche

[8]. En effet, cette stratégie de tarification dynamique ne nécessite pas d'information sur la structure du marché et elle permet aux vendeurs de réaliser des profits élevés en facilitant une collusion tacite. Au cours d'une période donnée, un agent vendeur qui utilise l'heuristique du gradient va décider de réduire ou d'augmenter son prix en fonction des variations observées de ses profits suite à sa dernière modification de prix. Par exemple, si la décision précédente de l'agent vendeur a été d'augmenter son prix et qu'il a observé une augmentation de ses profits, il va reproduire la même action (augmentation du prix) par la suite. Dans le cas inverse, si la modification du prix a conduit à une diminution de ses profits, il va décider l'action opposée, à savoir une diminution de son prix. De manière à définir plus précisément cette stratégie de tarification pour les agents vendeurs, il est nécessaire de fixer deux paramètres : le montant Δ fixant les variations possibles des prix et le prix annoncé à la première période d'activité. Dans nos simulations, le prix annoncé au départ d'une simulation par un agent vendeur est choisi aléatoirement et de manière équiprobable dans l'intervalle $[0, r]$. A chaque modification de prix, l'incrément ou le décrétement Δ est choisi de manière aléatoire et équiprobable entre les valeurs 1, 2, 3, 4 ou 5 dans le cas où l'agent vendeur décide d'augmenter son prix ou -1, -2, -3, -4 ou -5 dans le cas où l'agent vendeur décide de baisser son prix. On peut noter que cette stratégie de tarification est relativement simple à mettre en œuvre pour un vendeur et qu'elle ne nécessite aucune information

préalable ni sur le comportement des concurrents ni sur la demande.

Comme nous l'avons souligné, sur les marchés réels il est très improbable que les agents de recherche RP puissent utiliser la distribution réelle des prix pour déterminer leur prix de réservation. Dans le cadre de nos simulations, nous allons donc supposer que les agents de recherche RP peuvent calculer leur prix de réservation en ayant un certain degré partiel d'information γ sur les prix pratiqués par les vendeurs au cours d'une période. Ce degré d'information est supposé identique pour tous les agents RP évoluant sur le marché et il peut s'interpréter comme le nombre de prix qu'un agent utilise pour calculer son prix de réservation. Par exemple, si $\gamma = 0,1$, les agents de recherche utilisent 10% des prix des vendeurs pour déterminer leur prix de réservation.

5.2. Simulations

Dans nos simulations, nous fixons le nombre d'agents de recherche à $M = 1000$ et le nombre d'agents vendeurs à $N = 20$. Nous considérons que les deux types d'agents de recherche sont en proportions égales sur le marché $w_1 = 0,5$ et $w_2 = 0,5$ (i.e., 50% d'agents de recherche FSS et 50% d'agents de recherche RP). La valeur de réservation des agents de recherche est égale à $r = 50$ et le coût de communication unitaire est égal à $c = 2$. Comme nous désirons seulement étudier les performances respectives des deux types d'agents, les seuls paramètres que nous faisons varier d'une simulation à l'autre sont le degré d'information γ des

agents de recherche RP et la taille de l'échantillon n des agents de recherche FSS. Dans nos simulations, ces deux paramètres peuvent prendre les valeurs $\gamma = \{0,1 ; 0,3 ; 0,5\}$ et $n = \{2 ; 4 ; 6\}$. Nous simulons l'évolution d'un marché sur $T = 30\ 000$ périodes et nous considérons que sur celui-ci les agents vendeurs peuvent réajuster leur prix à un taux de $\lambda = 0,1$ par période.

Les résultats de nos simulations en terme de prix moyens payés, de nombre moyen de recherches effectuées et de coûts totaux moyens pour les deux types d'agent sont représentés dans les tableaux ci-dessous. On peut noter que pour les agents de recherche RP, le nombre moyen de recherches est simplement obtenu en divisant la différence entre le prix moyen payé et le coût total moyen par le coût de communication unitaire.

En terme de coûts totaux moyens, les simulations montrent que les agents de recherche RP performant relativement bien par rapport aux agents de recherche FSS. De plus, ce résultat reste valable même si ces agents ont une très faible quantité d'informations sur les prix du marché. Toutefois, on observe que si les agents RP ont un degré d'information plus important sur les prix du marché leur performance relative par rapport aux agents FSS est d'autant plus élevée. Un résultat plus contre intuitif au niveau du marché est que l'augmentation du degré d'information des agents RP conduit à l'augmentation des prix sur le marché. Ce résultat s'explique par l'adaptabilité de la stratégie des vendeurs à

la configuration du marché. En effet, lorsque l'information des agents RP augmente les vendeurs sont incités à se spécialiser soit sur des prix élevés soit sur des prix bas, ce qui débouche sur une augmentation de la dispersion des prix sur le marché. Dans ce cas, les agents FSS ont une probabilité élevée d'avoir dans leur échantillon n seulement des prix relativement élevés alors que les agents RP recherchent plus. Néanmoins, lorsque l'on augmente la taille de l'échantillon des agents FSS, ces derniers arrivent à trouver des prix plus faibles. Nos simulations confirment donc que les agents RP peuvent représenter une bonne alternative pour rechercher des informations commerciales sur le réseau.

6. Conclusion

Dans cette article, nous avons analysé l'évolution possible de la règle de recherche avec taille d'échantillon fixe utilisée par les agents existants vers une règle de recherche séquentielle optimale avec prix de réservation. En effet, comme nous l'avons souligné, une recherche d'information coûteuse nécessite que les agents fassent un arbitrage entre les coûts de communication et le prix du produit. De manière à étudier cette évolution possible, nous avons proposé un modèle de marché où des agents de recherche FSS et RP pouvaient coexister. Une analyse théorique de l'équilibre de ce marché a montré que les agents de recherche RP permettaient toujours aux consommateurs de payer des coûts totaux plus faibles que les agents de recherche FSS. De plus, ce résultat reste valable lorsque l'on relâche certaines hypothèses du modèle de

théorie des jeux en simulant la dynamique d'un marché où les agents vendeurs utilisent une stratégie de tarification dynamique basée sur l'heuristique du gradient et où les agents de recherche RP ne peuvent fixer leur prix de réservation qu'en ayant une information partielle des prix pratiqués. On peut donc conclure que la règle de recherche séquentielle pourrait être une alternative viable pour les agents de recherche dans le futur.

Plusieurs extensions de notre étude sont possibles. Tout d'abord, il serait nécessaire de modifier l'hypothèse selon laquelle le produit vendu est un bien homogène car l'une des dimension les plus importantes de la concurrence entre les vendeurs sur l'Internet sera certainement la qualité de leurs produits ([1], [4]). En effet, l'Internet offre de nouvelles possibilités de différenciation pour les vendeurs comme la personnalisation ou la vente par lots. Une autre extension concerne l'introduction d'un mécanisme de transaction plus complexe comme un mécanisme de négociation entre les agents vendeurs et les agents de recherche. La négociation apparaît comme un aspect important dans l'allocation des ressources rares sur le réseau. Une troisième extension serait d'introduire la présence d'un intermédiaire qui ferait payer l'accès à ses bases de données pour offrir des informations plus pertinentes sur le marché. La présence de ce type d'intermédiation est appelé à se développer dans l'avenir [2] et pourrait influencer le mode de recherche des agents.

Bibliographie

BAKOS J.Y. (1997), "Reducing Buyer Search Costs: Implications for Electronic Marketplaces," *Management Science*, Vol. 43, n°12, pp. 1676-1692.

BAILEY J. & J.Y. BAKOS (1997), "An Exploratory Study of the Emerging Role of Electronic Intermediaries," *International Journal of Electronic Commerce*, Vol. 1, n°3, pp. 7-21.

COURNOT A.G. (1838), "Recherches sur les principes mathématiques de la théorie de la richesse," Hachette, Paris.

DELONG J.B. & A.M. FROOMKIN (1998), "The Next Economy?" in HURLEY D., KAHN B. & H. VARIAN (eds.), *Internet Publishing and Beyond: The Economics of Digital Information and Intellectual Property*, MIT Press, Cambridge.

DIAMOND P.A. (1971), "A Model of Price Adjustment," *Journal of Economic Theory*, Vol. 3, n°2-4, pp. 156-168.

GASTWIRTH J.L. (1976), "On Probabilistic Consumer Search for Information," *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 90, n°1, pp. 38-50.

GUTTMAN R., MOUKAS A. & P. MAES (1998), "Agent-mediated Electronic Commerce: A Survey," *Knowledge Engineering Review*, Vol. 13, n°2, pp. 147-159.

KEPHART J. & A. GREENWALD (1999), "Shopbot and Pricebots," *Proceedings of the International Joint Conferences on Artificial Intelligence*, Stockholm, Sweden.

MCKNIGHT L.W. & J.P. BAILEY (eds.) (1997), "Internet economics," The MIT Press, Cambridge.

ROTHSCHILD M. (1974), "Searching for the Lowest Price when the Distribution of Prices is Unknown," *The Journal of Political Economy*, Vol. 82, n°4, pp. 689-711.

STAHL D.O. (1989), "Oligopolistic Pricing with Sequential Consumer Search," *American Economic Review*, Vol. 79, n°4, pp. 700-712.

STIGLITZ J.E. (1989), "Imperfect Information in the Product Market," in *Handbook of Industrial Organization*, SCHMALENSEE R. & R.D. WILLIG (eds.), North Holland, New-York, pp. 769-847.

VARIAN H. (1980), "A Model of Sales," *American Economic Review*, Vol. 70, n°4, pp. 651-659.

VARIAN H. (2000), "Buying, Sharing and Renting Information Goods," Working Paper Series, University of California at Berkeley.

Tableau 1. Prix moyens payés par les agents de recherche FSS et RP.

		Information RP (γ)			
		0,1	0,3	0,5	
Echantillon FSS (n)	2	Prix moyen FSS	16,54	19,10	27,60
		Prix moyen RP	11,05	8,93	11,50
	4	Prix moyen FSS	9,54	11,64	16,61
		Prix moyen RP	10,71	9,71	11,53
	6	Prix moyen FSS	5,84	7,99	11,97
		Prix moyen RP	9,49	9,39	11,47

Tableau 2. Nombre moyen de recherches pour les agents de recherche FSS et RP.

		Information RP (γ)			
		0,1	0,3	0,5	
Echantillon FSS (n)	2	Recherche FSS	2	2	2
		Recherche RP	3,42	3,68	4,49
	4	Recherche FSS	4	4	4
		Recherche RP	3,42	3,72	4,24
	6	Recherche FSS	6	6	6
		Recherche RP	3,02	3,71	4,25

Tableau 3. Coûts totaux moyens pour les agents de recherche FSS et RP.

		Information RP (γ)			
		0,1	0,3	0,5	
Echantillon FSS (n)	2	Coût total FSS	20,54	23,10	31,60
		Coût total RP	17,89	16,30	20,49
	4	Coût total FSS	17,54	19,64	24,61
		Coût total RP	17,55	17,15	20,06
	6	Coût total FSS	17,84	19,99	23,97
		Coût total RP	15,90	16,82	19,93