La conception de nouveaux moteurs de recherche

En juillet 1998, le moteur *AltaVista* a récupéré 170 millions de pages (sur un total estimé à 350 à cette période), dont 125 millions ont été indexées, ce qui représente environ 800 gigaoctets de texte brut (un gigaoctet, ou milliards d'octets, correspond au contenu en texte de l'intégrale d'une grosse encyclopédie), soit, après traitement, à un index de près de 250 gigaoctets installé sur plus d'une vingtaine de machines de très haut de gamme (dix processeurs et dix gigaoctets de mémoire vive par machine). Ces machines sont interrogées 37 millions de fois par jour, en semaine, avec un temps de réponse moyen de 0,6 seconde. Ces quelques chiffres aident à apprécier la difficulté de la conception et de la mise en œuvre d'un moteur de recherche généraliste.

Afin d'améliorer la pertinence des documents retournés, les moteurs de recherche mettent en œuvre plusieurs solutions. L'une concerne les requêtes elles-mêmes, par exemple la correction orthographique ou la détection automatique des phrases. Ainsi, un moteur fournira de meilleures réponses si la requête est l'expression «effet de serre» plutôt que les trois mots «effet», «de» et «serre», car l'expression est plus discriminante que les trois mots pris séparément. Ce fait est bien connu des linguistes : le sens des textes est en grande partie contenu dans les groupes nominaux. Depuis l'été 1998, *AltaVista* reconnaît automatiquement les phrases, ce qui améliore sensiblement la qualité du moteur.

Cependant, le principal levier dont dispose l'architecte d'un moteur de recherche reste encore l'amélioration de l'algorithme d'évaluation de pertinence (le *ranking*). Sur le réseau, les algorithmes fondés sur la mise en correspondance des mots des requêtes et des mots contenus dans les documents trouvent rapidement leurs limites : documents volontairement biaisés par les «spammers», polysémie importante, nombre de documents trop élevé, duplication anarchique des documents, etc. Tout concourt à faire échouer les algorithmes classiques d'évaluation et de pertinence. Pour ces raisons de nouveaux algorithmes, tels ceux utilisés par *Clever* ou *Goggle*, sont élaborés avec des premiers résultats prometteurs.

Un autre élément important de la conception d'un moteur de recherche réside en la prise en compte de la polysémie, problème particulièrement épineux sur l'Internet. Un acronyme comme «BSE» signifie, entre autres, *Bovine Spongiform Encephalopathy* («encéphalopathie spongiforme bovine»), *Breast Self Examination* («auto-examen des seins»), ou encore *Bombay Stock Exchange* («Bourse de Bombay»). Lorsqu'un utilisateur effectue la requête «BSE», il est donc essentiel que le moteur lui fournisse un moyen de préciser de manière simple l'objet réel de sa recherche. C'est ainsi qu'avec notre équipe de l'École des mines de Paris, nous avons mis au point la technique *Cow9*, utilisée par le moteur *AltaVista* depuis 1997.

Cette technique permet d'affiner les requêtes à l'aide d'une liste thématique construite automatiquement à partir des résultats des recherches. Les thèmes non pertinents peuvent être exclus d'un simple clic de souris, tandis qu'un zoom est possible sur les thèmes jugés les plus pertinents. Une approche similaire, permettant le classement des résultats des recherches dans des dossiers thématiques (dont la liste est établie manuellement), a plus récemment été déployée sur le moteur de recherche *NorthernLight*.

D'autres approches sont utilisées sur certains moteurs pour aider les utilisateurs dans leurs recherches. Citons par exemple la fonction *What's Related* de *Netscape*, qui propose des liens vers des pages au contenu proche d'une page donnée.

Des approches différentes de celles qui sont suivies par les moteurs améliorent aussi la recherche d'information pertinente, comme la recherche par nom de marques de *RealNames*, la reformulation de requêtes en questions aux réponses connues, voie suivie par *AskJeeves*, l'approche des anneaux (*rings* en anglais) qui consiste à relier entre eux par des liens hypertextes les sites aux contenus voisins (ce qui ne résout toutefois pas le problème de trouver un premier site situé dans l'anneau), ou encore les métamoteurs qui interrogent en parallèle plusieurs moteurs de recherche classiques et fusionnent ensuite de manière intelligente les résultats.

Sachant que le taux de couverture d'un moteur (c'est-à-dire la proportion de documents qui se trouve effectivement dans la base de données du moteur) est au maximum de 30 pour cent, l'utilisation de métamoteurs peut sembler intéressante. Malheureusement, la pratique montre que la valeur ajoutée de ces outils est bien faible et que, malgré son taux de couverture limité, un moteur classique estime mieux la pertinence des documents qu'un métamoteur.

Le monde des outils de navigation est en perpétuelle mutation, et les défis auxquels sont confrontés les architectes des moteurs de recherche sont légion. D'abord, comment espérer maintenir, à un coût raisonnable, un taux de couverture du Web suffisant quand le nombre de documents disponibles augmente de six pour cent par mois? Comment fournir des réponses pertinentes à un utilisateur qui fournit très peu d'indications sur ce qu'il recherche vraiment? Et comment amener, sans le décourager, l'utilisateur à en dire plus?

La prise en compte des liens hypertextes, comme avec *Clever*, améliore la pertinence des documents retournés, mais ces solutions sont loin d'être parfaites et on ne fera pas l'économie d'une réflexion approfondie sur les impacts socio-économiques et culturels de ces méthodes, notamment les impacts liés au risque de consolidation des positions dominantes et au risque de perte du «service universel» (c'est-à-dire la garantie de pouvoir se faire entendre sur le réseau) pour le citoyen et les minorités. Il faudra d'autres approches fondées sur la collaboration, comme *The Open Directory Project*, pour faire le pendant aux guides commerciaux, un peu à la manière dont le logiciel libre, tel le tandem GNU / Linux, est en train de s'imposer dans une industrie du logiciel dominée par quelques grands acteurs.

François BOURDONCLE
École des mines de Paris

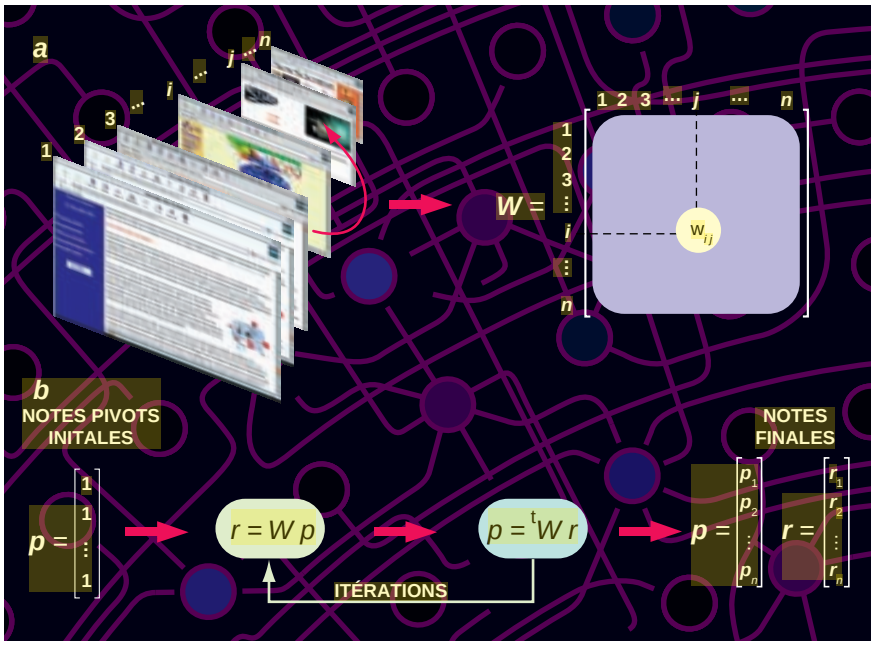
En plus de ces sites de référence, le réseau contient beaucoup de sites d'un autre type, des «pivots», qui sont connectés à ces endroits prestigieux et qui répercutent leur influence. Les sites pivots sont variés : ce sont aussi bien les listes professionnelles réalisées par les sites commerciaux que les sites personnels où l'on trouve des pages telles que «Mes sites préférés». Nous supposons qu'une page de référence est citée par beaucoup de bons pivots, et qu'un pivot utile est un site qui pointe vers beaucoup de sites de référence.

Comment obtenir une méthode d'identification des sites de référence et des sites pivots à partir de définitions aussi circulaires? Nous examinons d'abord un certain nombre de pages pouvant *a priori* répondre convenablement à une requête particulière, et nous attribuons à chacune d'elles une estimation de la fonction référence ou de la fonction pivot. À partir de ces évaluations initiales, nous exécutons ensuite un algorithme itératif en deux étapes.

La première utilise les estimations des sites de référence pour améliorer les estimations des sites pivots : nous repérons les meilleurs sites de références selon cette première estimation, puis nous analysons quelles pages pointent vers eux et jugeons ces sites comme étant de bons pivots. Lors de la deuxième opération, nous utilisons ces informations actualisées sur les pivots pour affiner les évaluations des sites de référence : nous regardons vers où pointent les meilleurs pivots et considérons ces sites comme de bonnes références. La répétition de ces corrections affine les résultats.

Nous avons programmé cet algorithme dans *Clever*, un moteur de recherche prototype. Pour chaque requête sur un sujet, par exemple l'hépatite B, *Clever* obtient d'abord une liste de 200 pages en utilisant un moteur de recherche classique comme *AltaVista*. Le système ajoute alors à ces 200 pages toutes celles qui y sont connectées par un hyperlien entrant ou sortant. Dans notre expérimentation, nous recueillons ainsi 2 000 à 5 000 pages, que nous nommons l'ensemble de base.

Chacune de ces pages reçoit deux notes initiales, une en tant que référence et une autre en tant que pivot. Puis *Clever* affine ces valeurs : pour chacune des pages, il calcule une nouvelle note de référence en additionnant les notes



3. COMMENT FAIRE MATHÉMATIQUEMENT LA RECHERCHE des pages de référence et des pages pivots? À partir d'un ensemble de *n* pages, on construit la matrice *W* dont chaque élément représente l'importance d'un lien d'une page à une autre (a). Par exemple, si la page *i* a beaucoup de liens vers la page *j*, l'élément w_{ij} de la matrice est élevé. Pour commencer le calcul, on pose toutes les notes pivots des pages égales à un (b), puis on calcule les notes de référence et les nouvelles notes pivots suivant un processus itératif : on obtient les notes de référence *(r)* en multipliant les notes pivots par la matrice *W* et on obtient les nouvelles notes pivots *(p)* en multipliant les notes de référence trouvées à l'itération précédente par la matrice transposée de *W* (^tW, symétrique de *W* par rapport à la diagonale). Les calculs se terminent lorsque les notes sont à peu près stables. Ces notes peuvent alors être utilisées pour la détermination des meilleurs sites de référence et des meilleurs pivots.

des pivots qui pointent vers elle, une note pivot en additionnant les notes de référence des pages vers lesquelles elle pointe. Ainsi la note de référence d'une page augmente quand beaucoup de pivots bien notés pointent vers cette page et une page qui pointe vers des sites de référence bien notés a sa propre note de pivot qui augmente en proportion. *Clever* répète ces calculs jusqu'à ce que les notes se stabilisent. Puis il classe les sites selon les notes de référence et de pivot. Remarquons que cet algorithme n'interdit pas qu'une page soit bien notée dans les deux catégories, ce qui arrive parfois.

Pour mieux comprendre les opérations effectuées par l'algorithme utilisé, représentons le réseau Internet par un immense réseau de sites reliés d'une manière apparemment aléatoire. Pour un certain ensemble de pages contenant un mot donné, *Clever* cible les structures de liens les plus denses entre ces pages.

La sommation itérative des notes de référence et de pivot peut être analysée dans le cadre de l'algèbre linéaire : l'itération effectuée correspond à la multiplication répétée d'un vecteur (une colonne de nombres représentant les notes de référence ou les notes pivots) par une matrice, c'est-à-dire un tableau à deux dimensions, où chaque élément représente un lien d'une page à une autre dans l'ensemble de base. Après quelques itérations, les composantes des vecteurs pivots et des vecteurs de référence deviennent stationnaires et révèlent quelles pages sont les meilleurs pivots ou les meilleures références. Ces colonnes de nombres stabilisés sont des «vecteurs propres».

Le processus itératif converge rapidement vers un ensemble de notes à peu près stable. Dans le cas d'un ensemble de base de 3 000 pages, le calcul converge en cinq itérations seulement et, ce qui est plus intéressant, le résultat est indépendant du choix des notes initiales : la méthode fonctionne même si toutes les notes initiales sont égales à un, de sorte que les notes finales sont intrinsèques aux pages retenues *(voir la figure 3)*.

L'algorithme de *Clever* a l'avantage de regrouper automatiquement les sites en catégories. Par exemple, une recherche sur l'avortement produit deux types de sites, ceux qui sont pour et ceux qui sont contre, parce que les

pages d'une catégorie sont plus souvent liées entre elles qu'à celles de l'autre communauté.

Plus généralement, *Clever* révèle la structure sous-jacente du réseau. Bien que ce dernier ait crû de façon fulgurante et anarchique, il possède une structure intrinsèque – bien qu'imparfaite – fondée sur les liaisons entre pages.

Le lien avec l'analyse de citations

Par son principe, *Clever* ressemble à l'analyse de citations, l'étude de la manière dont les articles scientifiques se citent : la principale mesure de l'importance des articles est le «facteur d'impact», qui juge les publications d'après le nombre de références que les autres articles en font. Mis au point par Eugene Garfield, un spécialiste de l'information scientifique, le facteur d'impact préside à l'«Index des citations scientifiques» *(Science Citation Index)*.

Sur le réseau, le facteur d'impact d'une page pourrait être le nombre de liens qui pointent vers elle. Toutefois, cette approche simpliste favoriserait, même pour des requêtes sur des sujets spécifiques, les pages généralistes très connues, telle la page d'accueil du *Monde*.

Dans le domaine de l'analyse des citations, les chercheurs ont tenté d'améliorer la mesure de E. Garfield, qui compte de la même façon toutes les références. Ne serait-on pas avisé de donner plus de poids aux citations d'un journal plus important? Le problème, avec cette approche, est qu'on donne une définition circulaire du mot «importance», comme dans la définition des pivots et des références.

Dès 1976, Gabriel Pinsky et Francis Narin, du Laboratoire de recherches du CHI, dans le New Jersey, ont éliminé cet obstacle en mettant au point une méthode itérative de calcul qui aboutit à un ensemble stable de notes, qu'ils nomment poids d'influence. Toutefois, ils ne distinguent pas référence et pivot.

Cette différence révèle une particularité entre les pages Internet et la littérature scientifique classique : dans le cyberespace, des sites de référence en compétition, comme *Netscape* et *Microsoft*, ne reconnaissent pas leur existence mutuelle et ne peuvent donc être reliés que par un ensemble de pivots tiers ; inversement, les revues scientifiques rivales pratiquent des citations croisées qui rendent le rôle des pivots moins crucial.

D'autres équipes utilisent différemment les hyperliens, pour la recherche sur le réseau. À l'Université de Stanford, Serge Brin et Larry Page ont mis au point un moteur de recherche, nommé *Google*, qui utilise un classement fondé sur les poids d'influence de G. Pinsky et F. Narin. L'équipe de Stanford considère un internaute qui suit des liens en faisant un certain nombre de sauts au hasard, qui le mènent à certaines pages plus fréquemment qu'à d'autres. Ainsi *Google* trouve un seul type de pages universellement importantes, intuitivement celles qui sont fréquemment visitées lors d'une marche au hasard dans la structure des liens du réseau. Concrètement, pour chaque page, *Google* additionne les notes des sites qui pointent vers la page. C'est pourquoi, lors d'une requête spécifique, *Google* répond rapidement en trouvant toutes les pages qui contiennent le texte recherché et en les ordonnant selon leur rang prédéterminé.

Les moteurs *Google* et *Clever* diffèrent cependant par deux aspects importants. D'une part, *Google* élabore un ordre de classement initial et l'utilise quelle que soit la requête, alors que *Clever* construit un ensemble de base différent pour chaque terme recherché, puis fixe les priorités des pages dans le contexte de cette requête. Au total, *Google* répond plus rapidement. D'autre part, *Google* ne regarde que dans une seule direction, d'un lien vers un autre, alors que *Clever* regarde aussi dans l'autre direction, pour savoir quels sont les sites qui pointent vers une page de référence. *Clever* tire ainsi parti du phénomène sociologique qui fait que les humains construisent naturellement des contenus qui expriment leur expertise sur un sujet donné.

La recherche continue

Nous cherchons encore à améliorer *Clever*. Dans notre démarche, nous cherchons à associer texte et hyperliens. Pour ce faire, nous estimons que certains liens ont plus de poids que d'autres suivant la pertinence du texte qui se trouve en regard. Plus précisément, nous analysons le contenu des pages dans l'ensemble de base et nous cherchons le nombre d'occurrences et les positions relatives du terme recherché. Ces informations pondèrent ensuite certaines connexions entre pages. Si, par exemple, le texte de la requête apparaît fréquemment à proximité d'un lien, alors la pondération correspondante est augmentée.

Nos premières expériences indiquent que ce raffinement améliore substantiellement la pertinence des résultats (une imperfection de *Clever* a parfois l'inconvénient d'élargir trop sa recherche, quand la requête est très précise : ainsi, si l'on cherche la Maison Ozenfant, de Le Corbusier, le système élargit sa recherche et retrouve des informations sur un sujet général comme l'architecture contemporaine). Nous expérimentons d'autres améliorations qui tiennent compte des divers styles de réalisation de pages Internet.

Nous avons aussi commencé à construire automatiquement des listes de ressources Internet, similaires aux annuaires de sites élaborés manuellement par les employés de sociétés comme *Yahoo !* ou *Infoseek*. Les premiers résultats sont aussi bons que ceux des annuaires. De surcroît, ce travail nous a montré que le réseau est plein de petites communautés très liées, avec des intérêts particuliers (les amateurs de sumo, les passionnés de yo-yo de la Creuse ou les amateurs de sauce ketchup au petit déjeuner). Nous recherchons comment découvrir automatiquement ces communautés cachées *(voir la figure 1)*.

Le réseau Internet est aujourd'hui très différent de ce qu'il était il y a seulement cinq ans. Personne ne peut dire ce qu'il sera dans cinq ans. L'indexation du réseau deviendra-t-elle impossible? Et comment la notion de recherche changera-t-elle alors? Aujourd'hui, la seule chose dont nous soyons certains est que la croissance du réseau continuera à lancer des défis informatiques à ceux qui veulent naviguer dans cet océan d'informations.

Le projet *Clever* : Soumen Charkrabarti, Byron Dom, Ravi Kumar, Prabhakar Raghavan, Sridhar Rajgopalan et Andrew Tomkins travaillent au Centre de recherche Almaden d'IBM, à San Jose (Californie). Jon Kleingberg travaille au département d'informatique de l'Université Cornell. David Gibson termine sa thèse au département d'informatique de l'Université de Berkeley.

De nombreux liens pour cet article sont disponibles sur notre site Web : http://www.pourlascience.com/numeros/pls-262/clever.htm