

Un algorithme de génération de profil de document et son évaluation dans le contexte de la classification thématique

Camelia Ignat^{1,2}, François Rousselot²

¹European Commission, IPSC, Joint Research Centre – 21020 Ispra (VA) - Italie

²LICIA, LGECO – INSA - 67084 Strasbourg CEDEX – France

Abstract

This paper describes an algorithm for document representation in a reduced vectorial space by a process of feature extraction. The algorithm is applied and evaluated in the context of the supervised classification of news articles from the collection of *Le Monde* newspaper issued in the years 2003 and 2004.

We are generating a document representation (or profile), in a space of 800 dimensions, represented by semantic tags from a machine-readable dictionary. We are dealing with two issues : the synonymy handled by thematic conflation and polysemy for which we have developed a statistical method for word-sense disambiguation.

We propose four variants for the profile generation (of a document) depending on whether a recursive system is used or not, and whether a corrective factor for polysemous words is taken into account or not. To determine the best classifier provided by our algorithm we have evaluated 32 variants, depending on the algorithm type (as previously) and on three other parameters that influence the document representation : grammatical category selection, 15% reduction of the profile, and a stop-list of semantic tags. The evaluation is done on a set of documents from six categories by calculating the precision, the recall and the F-measure to determine the best algorithm related to the threshold detection. Some parameters (like profile reduction) have low influence on the classifier performance and others (corrective factor for the ambiguous words, stop-list) improve it noticeably.

Résumé

Cet article présente un algorithme de représentation vectorielle de textes qui réalise une réduction de l'espace de représentation par une méthode d'extraction d'attributs. Nous en avons évalué les performances dans le cadre de la classification automatique supervisée à partir d'un ensemble de documents textes issus de la collection du journal « Le Monde » des années 2003 et 2004.

Notre algorithme génère une représentation de document (appelée « profil »), dans un espace d'environ 800 dimensions représentées par des étiquettes sémantiques issues d'un dictionnaire électronique. Parallèlement à cette réduction de l'espace de représentation, celui-ci traite également les problèmes de synonymie, gérés par regroupement thématique, et de polysémie, à l'aide d'une méthode statistique de désambiguïsation sémantique.

Nous proposons quatre variations différentes pour générer un profil de document en fonction de l'utilisation ou non du système récursif, et de l'ajout d'un coefficient de pénalité corrigeant l'influence des mots polysémiques. Afin de déterminer le meilleur classifieur possible issu de notre algorithme, nous avons alors généré un ensemble de 32 classifieurs en étudiant en plus de ces quatre variations, l'influence de trois paramètres supplémentaires (sélection des catégories grammaticales, réduction de 15% du profil, application d'une stop-liste d'étiquettes sémantiques) agissant sur la représentation des documents.

L'évaluation de la performance de ces classifieurs s'est faite sur la base de documents issus de six catégories. Le calcul du rappel, de la précision et de la mesure F_1 nous a permis de déterminer l'algorithme optimal en fonction du type de détection de seuil utilisé (dépendant de l'application envisagée). Certains paramètres (réduction du profil) ont ainsi une faible influence sur la performance du classifieur, tandis que d'autres (coefficient de correction pour les mots ambigus, stop-liste) améliorent sensiblement la performance.

Mots-clés : représentation des documents ; réduction de l'espace de représentation ; catégorisation ; classification des documents ; traitement automatique ; désambiguïsation statistique ; évaluation.

1. Problématique

Pour faire face à l'augmentation grandissante de documentation au format électronique, la classification automatique de documents texte (ou catégorisation) s'est particulièrement développée au cours de ces dernières années. Celle-ci consiste à associer de manière automatique un nombre de documents déterminé à un ensemble de catégories pré-définies.

Selon (Sebastiani, 2004), la construction d'un système de classification repose sur trois étapes principales : la représentation des textes, dans une perspective d'indexation ; l'apprentissage, par entraînement d'un algorithme de classification (on parle de construction de classifieurs) ; et l'évaluation, déterminée en fonction de la finalité du système.

La première phase consiste à représenter les textes sous une forme interprétable à la fois par l'algorithme sur lequel repose la catégorisation et par les classifieurs eux-mêmes une fois qu'ils ont été construits. Celle-ci nécessite une définition précise des termes utilisés pour la représentation ainsi qu'une méthode performante permettant de déterminer le poids de chacun de ces termes. La manière de représenter un texte a en effet une très forte influence sur les systèmes de classification automatique. C'est à cette phase en particulier que nous nous sommes intéressés lors de notre travail.

Une des difficultés majeures de la catégorisation concerne la dimension extrêmement élevée de l'espace de représentation. Celui-ci se compose en effet d'un ensemble de termes uniques (mots ou phrases) dont la dimension peut atteindre plusieurs centaines de milliers pour une collection de textes relativement modérée. Il est donc souhaitable de réduire la dimension de l'espace d'origine, sans sacrifier la précision de la classification.

Notre travail présente une méthode originale permettant de construire une telle représentation des textes et des classifieurs. Pour générer cette description, nous nous basons sur l'ensemble des mots (plus précisément les lemmes) qui composent le document. Celui-ci est ainsi décomposé en une liste des lemmes (et leurs fréquences), qui représente le « sens » du texte. Ce système simple de représentation présente cependant plusieurs problèmes :

- La perte de l'information donnée par le contexte syntagmatique, nécessaire à la distinction des lemmes polysémiques (« prix » n'a pas le même sens dans « prix Goncourt », « grand prix » ou « prix d'une marchandise »).
- La présence de synonymes, considérés comme des lemmes différents même s'ils font référence au même concept (« mission » et « délégation » peuvent dénommer la même entité dans un article de journal).

Notre problématique s'axe donc sur la levée de ces deux difficultés. À cette fin, nous utilisons un dictionnaire associant une ou plusieurs étiquettes sémantiques (appelés thèmes) à chaque sens d'un lemme. Celles-ci indiquent la restriction d'emploi d'un lemme à un domaine particulier (informatique, littérature, économie,...). Développées par une équipe de linguistes pour France Télécom R&D, les thèmes sont plus raffinés que les marques de domaine présentes dans la plupart des dictionnaires classiques.

Afin de résoudre les problèmes de polysémie et de synonymie nous avons développé un algorithme de désambiguïsation basé sur les étiquettes sémantiques de ce dictionnaire permettant de représenter les textes par un vecteur pondéré dans l'espace constitué par ces dernières (environ 800 thèmes). Cette méthode de représentation des textes dans l'espace des thèmes dépend de plusieurs paramètres dont nous nous proposons de déterminer l'influence sur l'efficacité de la classification.

2. Représentation des documents pour la classification automatique

Nous présenterons ici quelques travaux issus de la classification automatique de textes en nous axant sur notre préoccupation principale : la réduction de l'espace de représentation.

2.1. Réduction de l'espace de représentation

Il existe, d'après (Sebastiani, 2004), deux manières principales de réduire la dimension de l'espace de représentation des textes. Par **sélection des attributs** où un score est associé à chaque attribut en fonction d'un algorithme chargé de déterminer son degré de pertinence pour un document donné, les attributs ayant les scores les plus faibles étant éliminés ; et par **extraction des attributs** où un ensemble de nouveaux attributs extérieurs au document sont générés de manière à représenter ce document dans un espace indépendant dont le nombre d'attributs est plus restreint. Nous inscrivons notre étude dans une perspective d'extraction des attributs.

2.2. Travaux existants

Les chercheurs travaillant en extraction d'information ont testé une vaste gamme de principes de représentation tels que l'utilisation des variantes de mots présents dans les textes originaux, de mots-clés déterminés par des linguistes, de citations et informations provenant des publications, ou de structures développées en TALN (Lewis, 1990). Au-delà de ces travaux empiriques, quelques tentatives ont également été réalisées dans le but de déterminer de manière théorique les propriétés, et les performances en recherche d'information de ces différents systèmes de représentation. Nous citerons comme travail le plus important dans cette direction celui de (Salton et al, 1975) « Term Discrimination Model ».

Plusieurs méthodes de réduction de l'espace de représentation ont été développées : mathématiques, linguistiques ou probabilistes. Parmi les méthodes mathématiques, on trouve l'analyse factorielle des correspondances (Benzécri et al, 1973) ; ainsi que celle de « Latent Semantic Indexing » qui prend un ensemble de documents représentés dans un espace important et le représente dans un espace plus petit. Une étude de (Yang et Pederson, 1997) porte encore sur l'évaluation et la comparaison des méthodes de sélection des attributs utilisées pour la réduction des espaces de très grande dimension appliquées aux problèmes de classification. Cherchant à répondre aux questions : « Quels sont les avantages et les inconvénients des méthodes de sélection des attributs appliquées en classification de textes? », « Dans quelle mesure la sélection des attributs améliore la précision d'un système de classification? » et « De quelle proportion le vocabulaire des documents peut-il être réduit sans qu'il y ait de perte d'information? », ils évaluent et comparent cinq méthodes différentes. Il existe enfin de nombreuses études comparant plusieurs méthodes de classification. (Yang, 1999) en présente quelques-unes dont certaines portent sur la représentation de textes comme moyen d'amélioration de la classification.

3. Algorithme de génération de profil et classification supervisée

Notre travail porte sur la construction de classifieurs, générés à l'aide d'un algorithme qui produit un profil de document basé sur une méthode de réduction de l'espace de représentation par extraction des attributs et une méthode de désambiguïsation statistique.

3.1. Principe général

Nous nous plaçons dans le cadre de la classification supervisée qui nécessite la connaissance a priori des caractéristiques des catégories prédéfinies dans laquelle on souhaite classifier les documents. Pour chaque catégorie prédéfinie nous disposons donc d'un ensemble de documents pré-classés qui sert à générer le profil de chaque catégorie. Nous utilisons alors le modèle vectoriel de représentation et le coefficient de similarité défini par le cosinus entre deux vecteurs pour déterminer la catégorie d'appartenance d'un document.

Comme nous l'avons présenté dans la partie « Problématique », notre approche part de la représentation classique d'un document dans l'espace vectoriel des lemmes et se propose de développer une alternative par l'utilisation d'un espace moins riche que nous l'appelons « espace des thèmes ». Pour chaque catégorie constituée d'un ensemble de documents, nous construisons alors un classifieur en générant la représentation vectorielle de l'ensemble des documents dans l'espace des thèmes. Pour chaque nouveau document à classifier nous

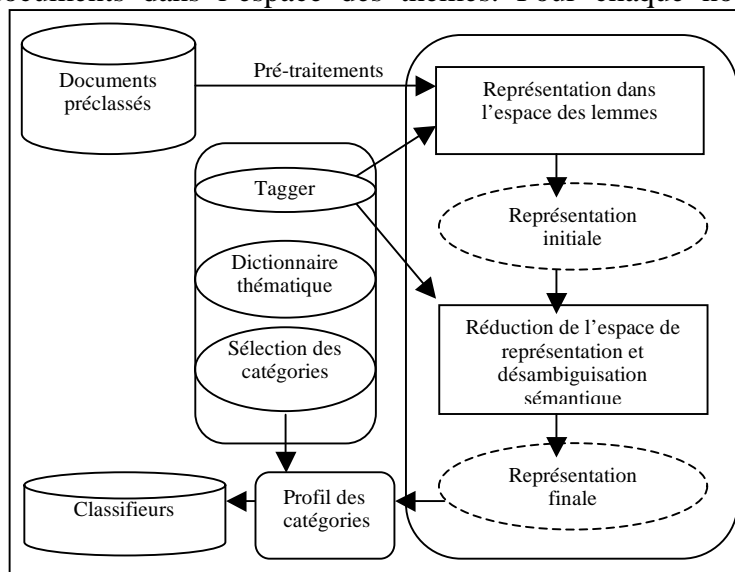


Figure 1: Principe de construction des classifieurs

générons un profil dans l'espace des thèmes que nous comparons avec chaque classifieur en calculant le coefficient de similarité (le cosinus entre les deux vecteurs) afin de déterminer la catégorie dont il est le plus proche. Si le profil du document est similaire au profil d'une catégorie on peut alors le classer dans celle-ci.

Nous avons donc besoin d'un corpus d'entraînement, constitué de documents pré-classés, pour construire les classifieurs, et d'un ensemble de test pour évaluer les performances de

notre système.

La figure 1 représente le schéma (Moulinier, 1996) des étapes nécessaires à la construction de nos classifieurs.

3.1.1. Ressources

La ressource principale sur laquelle s'appuie notre travail, développée par France Télécom R&D, est un dictionnaire électronique qui contient l'intégralité des mots de la langue française auxquels sont associés des définitions, des thèmes et des domaines. Chaque mot y est ainsi relié à un ou plusieurs concepts appartenant eux-même à un thème particulier. Ce dictionnaire thématique, réalisé par des linguistes, permet alors de relier directement l'ensemble des mots de la langue française à plus de 800 thèmes sélectionnés par ces derniers.

Ce découpage en thèmes constitue une partition de l'ensemble des sens des mots dans la mesure où un mot polysémique apparaît dans chaque thème pour lequel il possède un sens. Nous estimons, pour notre travail, que seuls les thèmes distincts font référence à des concepts différents alors que la répétition d'un même thème relève de la différenciation d'un sens dans des sous-sens. Le degré de polysémie d'un mot peut ainsi être exprimé par le nombre des thèmes distincts associés.

La construction des classifieurs et l'évaluation s'appuient sur les collections d'articles du journal *Le Monde* des années 2003 (corpus d'entraînement) et 2004 (corpus d'évaluation). Chaque année contient plus de vingt millions de mots répartis sur environ 30000 articles, soit un volume d'environ 120 mégaoctets de données. Cette collection se compose de 46 dossiers correspondant aux rubriques journalistiques habituelles (Sport, International, France, Société...), aux suppléments spécialisés ou dossiers liés à l'actualité.

3.1.2. Les trois étapes de la construction des classifieurs

(1) les pré-traitements au cours desquels le format électronique d'origine du corpus est retranscrit au format XML, puis lemmatisé de manière à ce que chaque forme fléchi soit associée à son lemme et sa catégorie grammaticale. Nous utilisons pour cela le *TreeTagger* (<http://www.ims.uni-stuttgart.de/projekte/corplex/TreeTagger/>), un analyseur morpho-syntaxique développé à l'Université de Stuttgart, disponible gratuitement et entraîné pour le français.

(2) L'extraction des lemmes (représentation dans l'espace des lemmes) où toutes les paires [lemme / description morphosyntaxique] sont associées à leur fréquence d'occurrence ainsi que la liste des thèmes distincts qui lui sont attachés. Le regroupement par paires [lemme // description morphosyntaxique] se justifie par la présence de lemmes homographes qui possèdent des catégories grammaticales différentes (par exemple « linguistique » pris soit comme nom, soit comme adjectif), mais cette distinction est également utile dans le cas où l'on souhaite réaliser une sélection des catégories morpho-syntaxiques à traiter. Dans notre traitement nous ne gardons que les catégories grammaticales qui sont porteuses d'information sémantique : les noms, les verbes, les adjectifs et les adverbes.

(3) Le calcul du profil de chaque catégorie (représentation dans l'espace des thèmes) où l'algorithme de représentation calcule le poids de chaque thème afin de représenter l'ensemble des documents d'une catégorie donnée dans l'espace vectoriel des thèmes.

3.2. Algorithme de génération des profils

Comme nous l'avons déjà présenté, notre contribution porte sur le développement d'un algorithme permettant d'affiner la représentation des documents dans l'espace des thèmes de manière à réduire les différentes ambiguïtés sémantiques. Pour cela, nous nous appuyons sur l'hypothèse « un seul sens par document » pour la désambiguïsation sémantique et posons trois prémisses de base. Nous analysons ensuite les différents paramètres constitutifs de celui-ci pour optimiser son efficacité.

3.2.1 Désambiguïsation sémantique

La désambiguïsation sémantique est une tâche importante qui trouve des applications dans les domaines de l'analyse syntaxique, de la traduction automatique ou de la recherche documentaire (Ide et Veronis, 1998). Nous nous sommes intéressés, dans notre étude, à la désambiguïsation dans le cadre spécifique de la classification des documents.

L'hypothèse « un seul sens par document » consiste à poser qu'il y a de fortes chances pour qu'un mot ambigu ait le même sens que le sens général d'un document bien structuré. En fonction de la méthode utilisée pour valider cette hypothèse, (Gale et al, 1992) ont montré que celle-ci est valable dans 98% des cas alors de (Krovetz, 1998), qui utilise WordNet comme outil, trouve que seuls 33% des mots du corpus Semcor possède plus d'un sens au sein d'un même texte, sans doute en raison de l'affinement des sens dans WordNet. Dans la même

perspective, l'hypothèse « Un seul thème par document » suppose qu'un mot en accord avec un texte en partage le thème. (Magnini et al, 2002) ont ainsi réalisé une étude utilisant les domaines de WordNet qui prouve la validité de cette hypothèse, montrant ainsi que le domaine d'un document est un attribut essentiel à la caractérisation de textes.

Si ces travaux de Magnini confirment notre hypothèse de travail, notre tâche est toutefois légèrement différente puisque nous ne cherchons pas à déterminer le sens du mot particulier, mais sa probabilité de prendre un certain sens en fonction du contexte global du document auquel il appartient. Pour la classification, nous considérons ainsi la probabilité d'occurrence de chaque thème pour une collection de texte. Pour cela, nous parlons de désambiguïsation statistique endogène, c'est à dire induite par la structure du document.

3.2.2 Description de l'algorithme

La première prémisse sur laquelle repose notre algorithme, est la suivante : **(P1) La fréquence de chaque thème est spécifique à un document donné (nous l'appelons poids du thème)**. Ce qui signifie que chaque document possède une représentation unique dans l'espace des thèmes caractérisée par le vecteur pondéré des thèmes qui représente la fréquence respective d'apparition de chaque thème dans l'ensemble du document et qui s'écrit :

$$\vec{S}_{thèmes}^{(doc)} = \left(S_{thème_1}^{(doc)}, S_{thème_2}^{(doc)}, \dots, S_{thème_n}^{(doc)} \right)$$

L'occurrence d'un thème correspond à l'occurrence de l'ensemble des lemmes qui appartient à ce thème. Ainsi, pour un lemme non ambigu le poids de son thème sera la fréquence d'occurrence du lemme. Pour les lemmes polysémiques, qui ont plusieurs thèmes associés nous tenons compte de la probabilité d'occurrence de chaque thème dans l'ensemble du document grâce à notre seconde prémisse qui permet de calculer le poids de chaque thème : **(P2) La probabilité d'association de chaque lemme polysémique à un thème particulier est proportionnelle au poids de ce thème (soit à sa fréquence d'apparition dans le document)**.

Si $\sum_{1 \leq j \leq da_k} S_{thème_j}^{(doc)}$ est la somme des poids des thèmes d'un mot mot_k présent dans le document, dont le degré d'ambiguïté est da_k , alors la probabilité d'associer le thème $thème_i$ au mot_k (où le $thème_i$ est un des thèmes du mot_k), est donnée par la formule :

$$P_{thème_i}(mot_k) = \frac{S_{thème_i}^{(doc)}}{\sum_{1 \leq j \leq da_k} S_{thème_j}^{(doc)}} \quad (1) \quad i \in \{1, \dots, \dim(E_{mots})\}, k \in \{1, \dots, \dim(E_{thèmes})\}$$

Le poids d'un thème est alors dépendant de la contribution de chaque mot du document associé à ce thème et les coordonnées du vecteur pondéré des thèmes se calculent par :

$$S_{thème_i}^{(doc)} = \sum_{1 \leq k \leq p} Occ(mot_k) \cdot \frac{S_{thème_i}^{(doc)}}{\sum_{1 \leq j \leq da_k} S_{thème_j}^{(doc)}} \quad (2) \text{ pour } \forall i \in \{1, \dots, n\} \text{ où } Occ(mot_k) \text{ représente le nombre d'occurrence du } mot_k \text{ dans le document et } p \text{ est le nombre des mots distincts du document.}$$

La solution de ce système ne pouvant être calculée directement, nous déterminons $S_{\text{thème } i}^{(doc)}$ en recherchant le point fixe de l'équation (2) du type : $S_{\text{thème } i}^{(doc)} = F \left(S_{\text{thème } i}^{(doc)} \right)$. Il y existe plusieurs méthodes pour déterminer la solution d'une telle équation. Nous avons choisis d'approcher la solution de ce système par la méthode des approximations successives. En supposant que le système possède une solution, il est possible d'en calculer facilement une valeur approchée par la méthode itérative de point fixe, grâce à la formule suivante :

$$S_{\text{thème } i}^N = \sum_{1 \leq k \leq p} \text{Occ}_{(mot_k)} \cdot \frac{S_{\text{thème } i}^{N-1}}{\sum_{1 \leq j \leq da_k} S_{\text{thème } j}^{N-1}} \quad (3) \quad \text{où} \quad S_{\text{thème } i}^0 = 1, \quad \forall i \in \{1, \dots, n\}$$

Cette relation permet pour la N-ième itération de calculer les poids des thèmes en utilisant les poids du pas N-1 et, lorsque la différence $S_{\text{thème } i}^N - S_{\text{thème } i}^{N-1}$ devient presque nulle, on obtient une solution approchée de $S_{\text{thème } i}^{(doc)}$.

Remarque : les poids respectifs des thèmes au premier pas d'itération nous donne les résultats d'un système dans lequel les thèmes d'un lemme ambigu sont équiprobables, soit :

$$S_{\text{thème } i}^1 = \sum_{1 \leq k \leq p} \frac{\text{Occ}_{(mot_k)}}{da_k} \quad \text{où } da_k \text{ est le degré d'ambiguïté du } mot_k$$

Utiliser ces poids est alors équivalent à l'emploi de la prémisse suivante : **(P2')** *Pour un lemme polysémique, la probabilité d'appartenir à un thème est proportionnelle à 1/da, où da est le degré d'ambiguïté du lemme.* En considérant que le nombre d'itérations peut être un paramètre de notre algorithme nous avons également évalué notre système par rapport à ce cas particulier.

3.2.3 Facteur de correction

Selon l'algorithme exposé précédemment un mot polysémique qui apparaît très souvent dans un texte peut avoir une contribution égale à un mot moins fréquent et non ambigu. Or, les mots polysémiques introduisent parfois, dans le profil d'un document, des thèmes qui ne sont pas connexes au sujet et qui conservent un poids relativement important malgré leur réduction par la méthode itérative. Pour réduire ce biais et donner plus de poids aux mots non ambigus (mots spécifiques à un domaine précis, dans la plus part des cas) nous proposons d'introduire un facteur de correction pour chaque mots, défini en fonction du degré d'ambiguïté da_k :

$$mot_k \mapsto f_{corr}(da_k) \quad \forall k \in \{1, \dots, p\}$$

Pour renforcer la spécificité d'un corpus, nous proposons ainsi une deuxième version de notre algorithme qui prend en compte le degré d'ambiguïté des lemmes contenus dans le corpus, par l'équation :

$$S_{\text{thème } i}^{(doc)} = \sum_{1 \leq k \leq p} f_{corr}(da_k) \text{Occ}_{(mot_k)} \cdot \frac{S_{\text{thème } i}^{(doc)}}{\sum_{1 \leq j \leq da_k} S_{\text{thème } j}^{(doc)}}$$

Nous accordons alors plus d'importance aux mots mono-thématiques (avec un degré d'ambiguïté réduit), en formulant l'hypothèse que ceux-ci sont porteurs de plus d'information sur un domaine précis que les mots fortement ambigus. Cela peut-être traduit par la prémisse **(P3) : le pouvoir de différenciation d'un lemme est inversement proportionnel à son degré d'ambiguïté.**

Nous modélisons cette hypothèse en associant à chaque lemme une fonction décroissante dépendante du degré d'ambiguïté $f_{corr} : N^* \rightarrow R : f_{corr}(da_k) = \frac{1}{\ln(CORR + da_k)}$ où da_k est le degré d'ambiguïté de mot_k et $CORR$ un paramètre d'optimisation.

Le choix de ce paramètre était un des buts de nos recherches précédentes. Intuitivement, $CORR$ devrait donc être le plus petit possible, en laissant le poids discriminant entièrement sur les lemmes non ambigus. Cependant, comme nous l'avons démontré dans (Tufis et al, 2000) ce n'est pas toujours le cas. Une des explications étant que les lemmes mono-thématiques sont rares. En effet, dans cette étude nos classifieurs prenaient leurs décisions en se basant sur des tirages aléatoires parmi les documents à classifier, empêchant de tels lemmes d'apparaître dans les échantillons. Sur la base de ces résultats, nous étudions, dans notre présente série d'expérimentations, l'algorithme qui utilise le facteur de correction ayant pour paramètre $CORR = 0,1$.

3.2. Paramétrage

Il existe plusieurs facteurs capables d'entraîner des variations conséquentes pour la représentation des documents dans l'espace des thèmes. Nous présentons ici les quatre paramètres que nous avons choisis d'analyser de manière exhaustive. Chaque type de paramètre fournit une méthode différente destinée à réduire l'espace de représentation d'un document et s'encadre soit dans la réduction par sélection d'attributs, soit dans la réduction par extraction d'attributs (voir paragraphe 2.1).

(1) Le choix des catégories grammaticales permet de réduire l'espace des lemmes par sélection initiale des attributs. Il est possible de choisir les catégories grammaticales sur lesquelles on se base pour la génération des profils. En fonction de la nature du document dont on réalise le profil (texte descriptif, roman, article de journal) le sens général peut être porté par différentes catégories grammaticales.

(2) Le choix de l'algorithme appartient aux méthodes de réduction par extraction des attributs, car l'espace des lemmes est projeté dans l'espace des thèmes. Comme nous l'avons décrit dans la section précédente, il existe 4 manières différentes de générer un profil de corpus : en modifiant le système (avec une seule itération ou récursif) et l'algorithme (avec ou sans coefficient de correction). Nous chercherons à travers les différentes variations de l'algorithme à mettre en évidence l'apport de ses capacités de désambiguïsation. Il est probable que la version de l'algorithme la plus performante soit dépendante du domaine auquel appartient le document dont on réalise le profil selon le degré de spécialisation et de l'homogénéité du corpus auquel il appartient. De plus, l'algorithme de désambiguïsation est sans doute également sensible au dictionnaire utilisé puisque c'est celui-ci qui fournit l'ensemble des sens d'un mot.

(3) La réduction du nombre de thèmes est une réduction par la méthode de « sélection des attributs » appliquée à l'espace final. La technique de réduction du profil consiste à déterminer le nombre de thèmes qui représente un certain pourcentage des thèmes présents dans le corpus. Nous considérerons ici les thèmes dont la somme des poids représente 85% de

la somme totale. L'expérience nous a conduit à utiliser ce chiffre de 85%, de manière à éliminer les thèmes les moins importants tout en conservant la spécificité du corpus. Dès lors, nous utiliserons ce chiffre lorsque nous procèderons à la réduction du profil. Cette réduction permet d'augmenter la rapidité de classification, mais leur réduction peut affecter la performance de la classification due à la perte d'information qu'elle implique.

(4) L'utilisation d'une stop-liste de thèmes réduit également par « sélection des attributs » l'espace final des thèmes et concerne l'élimination des thèmes généraux récurrents du profil du document, une fois celui-ci créé. Les thèmes communs renforcent la similarité entre articles provenant de domaines différents. Il existe plusieurs manières de réduire ou d'éliminer l'importance de ces thèmes : soit en établissant, a priori, une liste des thèmes généraux à supprimer (appelée stop-liste), soit en rajoutant une pénalité supplémentaire à leur poids, comme le facteur *idf* (*inverse document frequency*) (Salton, 1989) qui représente l'inverse de la fréquence relative d'un thème dans les autres documents du corpus. Nous proposons pour notre étude une solution qui consiste à utiliser une stop-liste des thèmes construite grâce au calcul de leur facteur *idf*. Pour éviter d'avoir à générer les profils de tous les articles nous avons constitué un « mini-corpus » par tirage aléatoire de 1000 articles provenant du corpus « Le Monde 2003 » et nous avons utilisé cet échantillon pour calculer le facteur *idf* des thèmes. Ce facteur nous permet de sélectionner automatiquement les thèmes communs à tous les documents de l'échantillon.

4. Expérimentation et évaluation

Comme indiqué précédemment, l'implémentation de notre algorithme s'est faite en deux temps : par la construction des classifieurs (phase d'apprentissage) tout d'abord, puis par leur évaluation sur un ensemble d'articles à classer (phase de test).

4.1. Construction des classifieurs

Afin de construire les 32 classifieurs possibles pour chaque catégorie (variations de 5 paramètres binaires) nous avons extrait aléatoirement 400 articles de la collection du Monde 2003.

4.1.1. Le choix des catégories

Les dossiers de la collection étant très hétérogènes par leur contenu et par leur taille, nous avons été obligés d'en réaliser une sélection sur la base de deux critères.

(1) La dimension, soit le nombre de d'articles contenu dans une catégorie, a constitué notre première préoccupation. Il convient en effet de déterminer la taille minimale nécessaire à l'obtention du point fixe de notre algorithme. Nous avons ainsi étudié la convergence du profil de chaque catégorie en ajoutant aléatoirement les articles un par un et en calculant la similarité des profils entre les pas N et $N+1$. Une forte convergence étant obtenue au delà d'une centaine de pas, nous avons choisi de ne retenir que les catégories de plus de 400 articles pour construire nos classifieurs.

(2) Le sujet, soit le thème de la catégorie, a été notre deuxième facteur de sélection. Nous n'avons conservé que les catégories spécialisées de manière à éviter les superpositions de sujets similaires, tels que « Économie », « Entreprise » et « Argent ».

Les six catégories finalement retenues sont « Culture », « Économie », « International », « Entreprises », « Sciences » et « Sports ».

4.1.2. Détection de seuil

La classification d'un article se fait par le calcul de la similarité (cosinus des vecteurs) de son profil avec celui de chacun des six classifieurs calculés précédemment. À chaque document d_j correspond ainsi pour chaque catégorie C_i un score de similarité compris entre 0 et 1 $CSV_i(d_j)$ encore appelé « *Categorization Status Value* » (Sebastiani, 2002) qui détermine la proximité d'un document et d'une catégorie. La classification nécessite alors la détermination d'un seuil au dessus duquel un document d_j sera classé dans la catégorie C_i :

$$CSV_i(d_j) \geq \tau_i \Leftrightarrow d_j \in C_i \quad \forall i = \{1, 2, \dots, 6\}, \quad \forall j = \{1, \dots, n\}$$

Il existe plusieurs possibilités de déterminer ce seuil qui influence directement les résultats. Nous avons retenu deux méthodes de calcul, en prenant comme référence la mesure F_1 , qui combine la précision et le rappel. Le seuil CSV pour lequel chaque seuil est déterminé en choisissant la valeur minimale qui produit les meilleurs résultats pour un échantillon donné – cent documents dans notre étude. Cette méthode se situe dans une approche multi-classes où le document à classer est associé à toutes les catégories qui possèdent un score de similarité supérieur au seuil établi. Le seuil fixe ou « k-per-doc » qui consiste à associer à chaque document les k premières catégories dont les scores sont les plus grands. Nous avons considéré pour nos évaluations le cas particulier où $k=1$ (« 1-per-doc ») où chaque article appartient à la catégorie dont la similarité est le plus élevé. Cette méthode se place ainsi dans une approche mono-classe, pour laquelle un article ne peut-être classé que dans une seule catégorie. Le choix de la méthode de détection de seuil est dépendant de l'application envisagée. Nous considérons ainsi le même classifieur dans deux contexte d'évaluation différents : mono-classe ou « 1-per-doc » et multi-classes ou « CSV-seuil ».

4.2.Évaluation

L'ensemble de nos traitements nous a conduit à un grand nombre de résultats (2 méthodes de détection de seuil * 6 catégories * 32 classifieurs) dont nous avons réalisé l'évaluation de la manière suivante.

4.2.1. Mesures d'évaluation

Pour chaque catégorie et chaque classifieur nous avons calculé, la précision, le rappel, et la mesure F_1 (leur moyenne harmonique). Nous utilisons cette mesure pour comparer les performances de nos classifieurs en fonction des algorithmes et des paramètres utilisés (Lewis, 1992).

Pour évaluer la performance globale du système nous nous sommes basés sur deux mesures : micro-moyenne (micro-averaging) où les catégories sont considérées proportionnellement à leur nombre d'exemples positifs et macro-moyenne (macro-averaging) où les catégories sont toutes également considérées (Tague, 1981) (voir tableau 1).

	Micro-moyenne	Macro-moyenne
Précision (π)	$\frac{\sum_{i=1}^m VP_i}{\sum_{i=1}^m VP_i + FP_i}$	$\frac{\sum_{i=1}^i \pi_i}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{VP_i}{VP_i + FP_i}}{m}$
Rappel (ρ)	$\frac{\sum_{i=1}^m VP_i}{\sum_{i=1}^m VP_i + FN_i}$	$\frac{\sum_{i=1}^i \rho_i}{m} = \frac{\sum_{i=1}^m \frac{VP_i}{VP_i + FN_i}}{m}$

Tableau 1 : Les mesures globales d'évaluation : précision et rappel en micro et macro moyenne, où $VP=nb.$ de vrai-positifs, $FP=nb.$ de faux-positifs, $FN=nb.$ de faux-negatifs,

4.2.2. Résultats

En raison du grand nombre de classifieurs que nous avons évalués, l'étude des résultats est relativement complexe. Nous commencerons donc par une présentation générale pour nos deux types de seuils avant d'étudier les paramètres plus en détail.

Pour l'évaluation « 1-per-doc », précision et rappel sont monotones vis à vis de la mesure F_1 , le meilleur classifieur possède ainsi le meilleur rappel et la meilleure précision. Les valeurs de la mesure d'évaluation de différents classifieurs sont comprises entre 0,76 pour le meilleur et 0,64 pour le moins bon ce qui signifie que pour cette méthode, notre classification est efficace.

Pour l'évaluation « CSV seuil » par contre, nous observons que le rappel n'est pas monotone pour la précision et F_1 . Le meilleur classifieur déterminé par la précision n'est pas le même que celui déterminé par le rappel. La performance des classifieurs est également différente puisque le meilleur possède une mesure F_1 de 0,62, ce qui reste bon, mais le plus mauvais une mesure de 0,32. Cela signifie donc que la variation des paramètres est beaucoup plus importante dans le cas de l'évaluation par méthode CSV.

Facteur de correction

Dans les deux types d'évaluation, nous avons remarqué que les cinq meilleurs classifieurs sont issus de la variante de l'algorithme utilisant un coefficient de correction pour les mots polysémiques. Pour le seuil « 1-per-doc », l'algorithme avec facteur de correction est systématiquement mieux classé que l'autre. Cela signifie également que cet algorithme fournit des classifieurs ayant un rappel plus élevé. Cette tendance n'est pas confirmée pour la détermination du seuil par la méthode CSV. Dans ce cas, la précision l'emporte sur le rappel, empêchant la construction de classifieurs performants. Mais les meilleurs résultats sont également obtenus avec le facteur de correction dans la plupart des cas.

Stop-liste des thèmes

La stop-liste exerce une véritable influence sur le résultat de la classification. Avec le « seuil-CSV », elle est le facteur le plus important de distinction et le deuxième dans le cas « 1-per-doc », après le facteur de correction.

Catégories grammaticales

Pour les catégories grammaticales, les différences sont moins nettes, néanmoins, par utilisation du « seuil-CSV », on remarque que la sélection des noms seuls nous donne de meilleurs classifieurs. L'influence est étroitement dépendante du domaine thématique (pour le dossier « International » par exemple, cette remarque n'est pas valable) En classification « 1-per-doc », il semble que la différence soit encore plus nette entre les différents dossiers (« Sports » a les meilleures performances pour les noms et « Société » et « International » pour toutes les catégories).

Réduction du profil

Ce paramètre n'a pas une très grande influence sur les résultats. Cela nous permet ainsi de réduire les profils de manière à diminuer le temps de calcul nécessaire à la classification.

Algorithme simple vs. Algorithme récursif

Il est relativement difficile de réaliser une distinction claire entre les performances de l'algorithme simple et celle de l'algorithme récursif. On remarque en effet que les classifieurs sont souvent regroupés par paires (rec/it1) mais sans qu'il y ait de hiérarchie systématique.

Cela est sans doute dû au manque de pertinence de notre type d'évaluation pour distinguer les caractéristiques spécifiques de l'un et de l'autre.

5. Conclusion et perspectives

L'évaluation « 1-per-doc » nous permet de valider notre algorithme, puisque le meilleur classifieur a un rappel de 80% et une précision de 75% et il semble tout à fait justifié de vouloir l'utiliser dans un système de classification automatique. Toutefois, si cette évaluation nous donne les meilleurs résultats, le calcul du seuil par la méthode « CSV-seuil » nous apporte beaucoup plus d'informations sur les paramètres de construction des classifieurs et permet un paramétrage et une classification plus fins. Ainsi la variante de l'algorithme appliquant une pénalité aux mots polysémiques est nettement plus efficace et permet de mettre en évidence la spécificité des documents.

Pour aller plus loin, il serait intéressant de comparer les performances de notre système de classification construit autour de notre algorithme avec un système « baseline », qui représente les documents dans l'espace des lemmes pondérés par le facteur $tf*idf$.

Les classifieurs présentés dépendant du contenu et de la structure du dictionnaire qui fournit les thèmes, il serait également utile de comparer deux dictionnaires électroniques et plus précisément les distinctions de sens proposés pour l'ensemble des entrées. De même, pour un dictionnaire donné la précision d'un classifieur donné dépend de l'homogénéité du corpus sur lequel on effectue la classification. Notre algorithme pourrait alors se révéler être une méthode pour comparer l'homogénéité des corpus.

Il serait encore possible, de développer un système d'indexation contrôlée dans lequel nous remplacerions les thèmes par des descripteurs issus d'un thésaurus. Par une méthode d'apprentissage (voir (Pouliquen et al, 2003)) nous associerions à chaque mot une liste pondérée des descripteurs. Nous pourrions alors appliquer notre algorithme de génération de profil pour chaque nouveau document en utilisant la liste des descripteurs associés aux mots. Nous disposerions ainsi d'une liste pondérée des descripteurs du document.

Finalement, il serait également intéressant d'effectuer une évaluation de notre algorithme en utilisant un autre dictionnaire fournissant les étiquettes thématiques pour chaque mot. Les domaines issus de WordNet (Magnini et Cavaglia, 2000), par exemple, ouvriraient la perspective d'une approche multilingue pour nos applications.

Références

- Benzécri J.-P. et al. (1973). *La taxinomie*, Vol.1, *L'analyse des correspondances*, Vol.2, Dunod, Paris.
- Gale W., Church K. et Yarowsky D. (1992). One sense per discourse. In *Proceedings of the 4th ARPA Workshop on Speech and NLP* : 233-237.
- Ide, N. et Veronis, J. (1998). Introduction to a special issue on word disambiguation : the state of art. in *Special issue of Computational Linguistics on Word Sense Desambiguation* : 1-40.
- Krovetz R. (1998). More than one sense per discourse. Technical report, NEC Research Institute.
- Lewis, D. D. (1990). Text representation for text classification. In P.S. Jacobs, editor, *Text-Based Intelligent systems : Current Research in Text Analysis, Information Extraction, and Retrieval*.
- Lewis D. D. (1992). Feature selection and feature extraction for text categorization. In *Proceedings of Speech and Natural Language Workshop*, pp. 212-217.
- Magnini B. et Cavaglia G. (2000). Integrating Subject Field Codes into WordNet. In *Proceedings of LREC-2000, Second International Conference on Language Resources and Evaluation, Greece*.

- Magnini B., Strapparava C., Pezzulo G. et Gliozzo A. (2002). The Role of Domain Information in Word Sense Disambiguation. *Special issue of the Journal of Natural Language Engineering*.
- Moulinier I. (1996). A Framework for Comparing Text Categorization Approaches. *In AAAI Spring Symposium on Machine Learning and Information Access*, Stanford University.
- Pouliquen B., Steinberger R. et Ignat C. (2003). Automatic Annotation of Multilingual Text Collections with a Conceptual Thesaurus. *Proceedings of the Workshop Ontologies and Information Extraction at EUROLAN*.
- Salton G. (1989). *Automatic text processing*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Salton G., Yang C.S. et Yu C.T. (1975) A theory of text importance in automatic text analysis. *Journal of the American Society for Information Science*, Jan-Feb : 33-44.
- Sebastiani F. (2004). In Zanassi A. (ed.), Text categorization. *Text Mining and its Applications*.
- Sebastiani F. (2002). Machine learning in automated text categorization. *ACM Computing Surveys*, 34(1) : 1-47.
- Tague J. (1981). The Pragmatics of Information Retrieval Experimentation. *Information Retrieval Experimentation*, Butterworth, London : 59-102.
- Tufis D., Popescu C. (Ignat) and Rosu R. (2000). Automatic Classification of Documents by Random Sampling. *Publishing House Proceedings of the Romanian Academy*, Series A, Vol. 1, Number 2.
- Yang Y. (1999). An evaluation of statistical approaches to text categorization. *Journal of Information retrieval*, Vol. 1 No 1/2, pp. 67-88, Kluwer Academic Publishers.
- Yang Y. et Pederson J. (1997) A comparative study on feature selection in text categorization. *In Proceedings of ICML'97* : 412-420.

