



HAL
open science

Une nouvelle approche pour indexer les documents manuscrits anciens

Guillaume Joutel, Véronique Eglin, Hubert Emptoz

► To cite this version:

Guillaume Joutel, Véronique Eglin, Hubert Emptoz. Une nouvelle approche pour indexer les documents manuscrits anciens. Colloque International Francophone sur l'Écrit et le Document, Oct 2008, Rouen, France. pp.85-90. hal-00334400

HAL Id: hal-00334400

<https://hal.science/hal-00334400>

Submitted on 26 Oct 2008

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

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

Une nouvelle approche pour indexer les documents manuscrits anciens

Guillaume JOUTEL¹ – Véronique ÉGLIN¹ – Hubert EMPTOZ¹

LIRIS UMR CNRS 5205 - INSA Lyon
69621 VILLEURBANNE Cedex

{guillaume.joutel; veronique.eglin}@insa-lyon.fr

Résumé : Dans cet article nous présentons une architecture pour la description et la recherche de documents manuscrits anciens. Nous utilisons une décomposition en Curvelets des images pour indexer les fragments linéaires de l'écriture. Appartenant à la famille des ondelettes, cette transformée nous permet d'avoir plusieurs niveaux de détails. Le schéma général consiste à analyser les orientations et les courbures sur les contours des formes et ce à différentes échelles. Nous utilisons cette approche pour, dans un premier temps, isoler les parties textuelles et, dans un second temps, construire une signature synthétique de l'écriture. Nous avons validé notre approche par un système de recherche d'informations par le contenu sur une base médiévale de l'IRHT¹ et le corpus de correspondances européennes du 18^{ème} siècle.

Mots-clés : Recherche d'informations par le contenu, Curvelets, extraction de caractéristiques, manuscrits anciens

1 Introduction

Nous nous intéressons dans ce travail à l'analyse de deux grandes époques de manuscrits numérisés que sont les manuscrits médiévaux (rédigés par des copistes du 9^{ème} au 15^{ème} siècle) et les manuscrits humanistes (essentiellement des brouillons d'auteurs du 19^{ème} siècle). L'objectif est d'aider les paléographes et les historiens dans leur travail quotidien de datation, expertise et authentification des manuscrits, voir figure 1.



FIG. 1 – Images de manuscrits de différentes périodes (13^{ème} et 18^{ème} siècle)

L'une des premières difficultés rencontrées par les paléographes est la classification et l'identification des mains. Ce

¹Ce travail est réalisé dans le cadre de deux projets : le projet ANR GRAPHEM 2007-2010 entre l'IRHT (Institut de Recherche en Histoire des Textes), l'École des Chartres de Paris et le LIRIS et le projet du Cluster 13 de la région Rhône-Alpes : "Culture, Patrimoine et Création", 2005-2009

domaine a été très étudié dans d'autres disciplines. En particulier, la communauté des analystes de documents légaux a beaucoup apporté au développement de méthodes informatiques de recherche, identification et classification des écritures modernes. La question soulevée alors est : peut-on utiliser ces méthodes pour les écritures médiévales ?

Dans ce contexte, nous avons cherché une approche originale pour répondre aux besoins antagonistes des documents de notre collection médiévale et de notre collection humaniste. D'un côté il nous faut trouver des primitives indépendantes du scripteur mais dépendantes du style pour les manuscrits médiévaux et de l'autre il nous faut des primitives dépendantes du scripteur pour les manuscrits humanistes. Répondre à ces objectifs est complexe. Nous proposons dans ce papier une contribution pour relever ce défi. Cette contribution doit être vue comme un outil pour aider les historiens et les paléographes dans leur travail de datation, expertise et authentification.

Les échanges avec les paléographes nous ont permis de faire ressortir deux dimensions qu'ils considèrent comme fondamentales de l'écriture que sont la courbure et l'orientation. Nous avons donc cherché un moyen d'extraire ces deux dimensions sur le contours des traits des écritures de nos deux collections. La méthode choisie se devait d'être sensible aux frontières des formes, de s'adapter aux différentes échelles, de faire ressortir la variabilité des formes et leur forte anisotropie, d'être robuste aux environnements bruités (bruit de fond, formes incomplètes, ...) et enfin de ne pas nécessiter un trop gros volume de stockage ni un coût prohibitif de traitement. Notre choix s'est porté sur une transformée multi-échelle redondante : la transformée en Curvelets. Cette transformée est mieux adaptée à la représentation des formes anisotropiques des segments rectilignes et des courbes présentes dans les images. Notre contribution repose essentiellement sur un système d'indexation et de navigation devant répondre à différents objectifs : recherche de documents manuscrits du même scripteur, identification de scripteur, classification des écritures médiévales.

Nous pouvons synthétiser notre système en deux grandes parties, voir la figure 2) :

- Une décomposition en Curvelets hors-ligne dont on extrait les forts coefficients à travers les différentes échelles : les échelles basses nous permettent d'extraire les zones de texte (voir la partie 3), les moyennes et

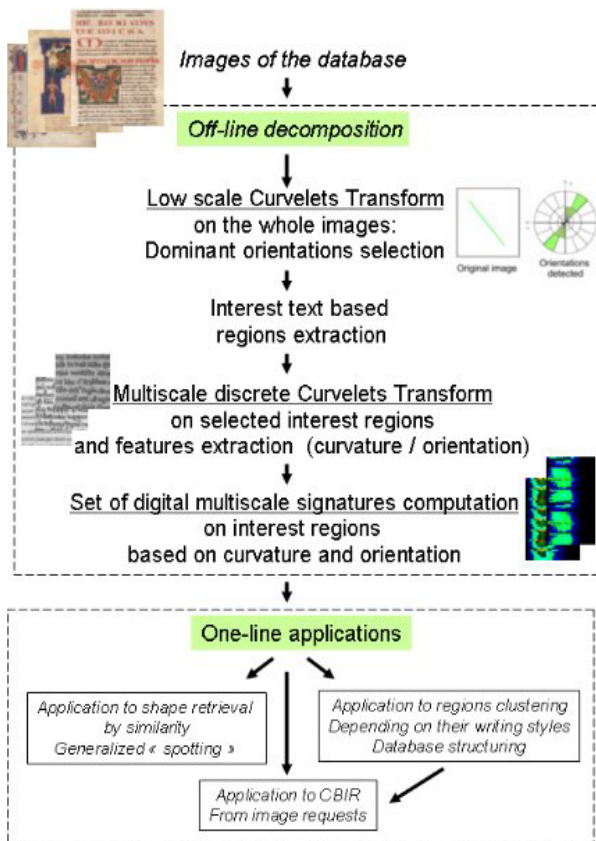


FIG. 2 – Architecture pyramidale pour la caractérisation des écritures et ses applications en-ligne.

hautes échelles nous permettent de construire des signatures de zones de textes homogènes (voir la partie 4),

- Des applications en-ligne pouvant être l'une des trois envisagées ci-dessous :
 - la *classification des styles d'écriture* basée sur la production d'un vecteur de caractéristiques extraites des différentes échelles pour chaque échantillon d'écriture permettant une analyse statistique de la distribution des coefficients. Cette classification devant fournir un regroupement en familles cohérentes pour les critères paléographiques existants,
 - la *recherche par similarité de formes* reposant sur une analyse de la courbure et de l'orientation extraites de l'échelle la plus fine de la décomposition de l'image,
 - la *RIC²* basée sur une analyse de l'échelle la plus fine pour construire une signature unique et caractéristique de chaque échantillon d'écriture. Ce système et certains de ses résultats préliminaires seront présentés dans la partie 5.

²Recherche d'informations par le contenu

2 Caractérisation des formes manuscrites

2.1 Travaux antérieurs

Le besoin d'outils de recherche de documents manuscrits au sein de grandes bases existe dans de nombreux domaines tels que la datation de collection, les travaux de génèses d'œuvres complètes, l'édition critique, l'authentification de documents, ...

Récemment Srihari et al. dans [ZHA 03b] et dans [Zha 03a] ont réalisé l'importance de ce besoin et ont présenté un système dédié à des applications légales telle que l'identification de scripteur. Actuellement, différentes distances sont utilisées pour obtenir le meilleur appariement entre différents ensembles d'échantillons d'écritures, [CHA 00]. Il est possible de discriminer deux échantillons d'écritures à l'aide d'une mesure de similarité en étudiant leurs distributions d'apparitions pour un même scripteur ou pour deux scripteurs différents. Généralement, dans la plupart des approches de classification de scripteurs, les auteurs tentent de produire des caractéristiques graphiques exhaustives pour décrire efficacement toutes les familles d'écritures.

Pour la classification des écritures, qui est notre principal objectif, les travaux antérieurs les plus proches sont [CRE 95] et [Zha 03a]. Dans [CRE 95], les auteurs proposent une analyse de la variabilité des écritures suivant deux types d'observations : tout d'abord l'épaisseur du trait et la densité spatiale des caractères puis les directions successives des traits. Ce travail a été réalisé uniquement sur des documents récents. Le seul travail portant sur des documents médiévaux est [AIO 99]. Ce travail propose des procédures de classification sujettes aujourd'hui à débat parmi les paléographes. Dans [MOA 06] par exemple, les auteurs se sont intéressés aux documents manuscrits médiévaux avant l'émergence de l'imprimerie. Ils ont fait le choix d'une analyse statistique de l'image du manuscrit dans son intégralité pour mesurer globalement toutes les formes. Cette approche devant garantir l'indépendance par rapport au contenu, au style personnel du scripteur et au langage utilisé avec ses fréquences de lettres. Il est difficile de prétendre pouvoir être exhaustif dans la description des formes manuscrites pour leur recherche, c'est pourquoi il est essentiel de travailler avec des experts capables de valider les mesures qui semblent avoir le plus de sens. Ce degré de confiance fourni par les experts peut servir au système pour créer une distance efficace entre les classes d'écritures, [SHE 02]. Avec ce type d'approches génériques il est possible de classer les écritures en classes de style visuellement distincts. Les méthodes généralistes sont soit basées sur des considérations relatives à des graphèmes particuliers [BEN 02], soit sur des caractérisations trop macroscopiques qui sont guère efficaces pour une authentification de scripteurs, [BUL 03], [MOA 06].

Dans notre approche, nous réalisons une analyse basée sur les Curvelets pour extraire la courbure et l'orientation qui ont un réel sens pour les paléographes. Ces deux dimensions peuvent paraître restrictives en comparaison avec les travaux antérieurs, néanmoins ce sont les seules à être reconnues par les paléographes comme stables au sein d'une même classe

d'écriture. Il n'est pas exclu que pour certaines applications spécifiques d'autres descripteurs soient ajoutés pour affiner l'analyse. Néanmoins notre approche diffère des travaux susmentionnés par son aspect généraliste permettant de traiter à la fois les documents manuscrits médiévaux et contemporains et ce doit donc de respecter au mieux les contraintes de ces deux types de manuscrits.

D'autre part, notre méthode utilise une transformée géométrique multi-échelle que sont les Curvelets qui n'avaient jamais été utilisées dans ce contexte.

2.2 Décompositions géométriques

Dans les images de manuscrits les points de discontinuités sont concentrés sur les contours des formes qui contiennent un maximum de l'information. Cette information peut être analysée tant globalement (orientations des contours, présence de courbures redondantes et particulièrement marquées) que localement (les discontinuités sont localisées sur des zones sensibles des contours des formes auxquelles les experts accordent généralement de l'attention pour reconnaître et identifier une écriture). Une approche permettant de combiner les descriptions globales et locales semble être une voie intéressante pour une analyse des images de documents manuscrits. Cependant nous avons constaté qu'aucune décomposition ne permettait de décorréler les propriétés locales et globales tout en conservant la capacité de localiser les discontinuités dans le domaine de l'image.

La transformée de Fourier est un outil puissant pour analyser la régularité globale d'une fonction mais elle ne permet pas de localiser les points de discontinuités. Elle ne permet pas d'analyser localement les formes et ne tire pas avantage des corrélations existant entre les échelles dans les images de texte.

Les ondelettes orthogonales fournissent une représentation parcimonieuse des images mais souffre d'une absence de description directionnelle des courbes et de la géométrie. Nous nous sommes plus intéressés à la famille de transformées qui permettent une décomposition de l'image en sous-bandes orientées capables de capturer la géométrie du contour des formes. On peut citer par exemple les X-lets (i.e. contourlets, bandelets, ondelettes complexes et ondelettes orientées). Dans cette famille nous avons choisi les Curvelets qui ont été introduites par Candès, [CAN 00]. Elles offrent des propriétés de directionnalité ainsi qu'une bonne localisation des formes et de la géométrie.

3 Sélection de zones d'intérêt textuelles

Les documents manuscrits médiévaux ont très souvent une mise en page très riche. Cette question récurrente ([BAI 92],[RAM 05]) est le plus souvent traitée en cherchant une description complète de cette mise en page avec, par exemple, la recherche d'une segmentation de l'image adaptée au type de composant recherché.

La première étape de notre système est de produire une décomposition simplifiée en trois classes : le texte, les parties graphiques et le fond. A partir de ces trois classes on se

concentre sur la partie textuelle que notre système signera à partir d'une analyse multi-échelle basée sur les Curvelets. Pour cela nous faisons l'hypothèse que les régions textuelles sont horizontales (à plus ou moins 5°) Il s'agit d'une première évaluation grossière des zones de texte. La détection de ces zones horizontales se fait à une basse échelle (3 sur 8) de la décomposition des Curvelets. La carte des zones textuelles est alors représentée par les forts coefficients. Cette approche fournit un masque binaire du document (3(b)). Bien évidemment, la sous-résolution de l'image provoque une grosse perte de précision dans la détection. Pour compenser cette perte nous utilisons la carte de fond (CF) de ce masque (3(c)). Cette méthode a été introduite par Jean-Yves Ramel dans [RAM 05]. Pour chaque pixel de l'image on calcule la somme du nombre de pixels blancs alignés horizontalement et verticalement. Les différentes étapes de cette détection sont illustrées sur la figure 3.

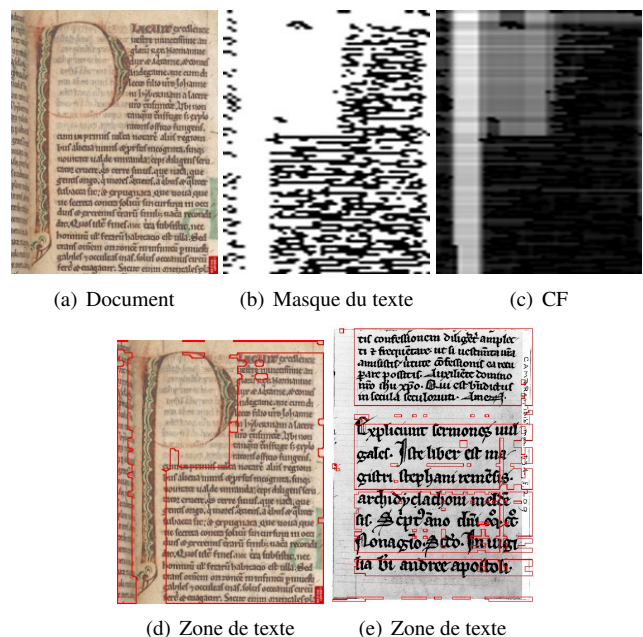


FIG. 3 – Sélection de régions textuelles

Cette décomposition produit une séparation basique texte/graphique à basse résolution. Nous avons évidemment besoin des hautes échelles pour signer les détails des formes dans ces zones de texte. Une fois la zone de texte localisée nous sélectionnons une fenêtre de taille normalisée en terme de longueur, largeur et nombre de lignes qui sont des caractéristiques essentielles pour la calcul de la signature. Ces caractéristiques sont étudiées dans la partie 4.

4 Construction de la signature

La transformée en Curvelets fournit pour chaque pixel une analyse multi-échelle suivant plusieurs orientations. Nous nous intéressons ici uniquement à l'échelle la plus fine de la décomposition. Le principe d'estimation de la courbure est le suivant : un pixel sur une courbe est potentiellement détecté dans plusieurs orientations en fonction de la courbe. Pour chaque coefficient de Curvelets correspondant à ce pixel dans une orientation donnée on le compare aux

autres orientations pour ce même pixel. On ne conserve que les valeurs significatives. Le nombre de coefficients significatifs nous donne une évaluation de la courbure générale du pixel comme cela a été démontré dans [ANT 03]. À partir des orientations récupérées et des courbures calculées on construit une signature pour chaque échantillon d'écriture. La signature est définie comme la matrice d'occurrences de couples (courbure,orientation). Pour ne pas normaliser les images avant la décomposition nous avons choisi de normaliser nos signatures. Pour cela nous ne conservons que les ratios entre les valeurs de la signature et la quantité totale d'informations dans la signature. Le problème avec une telle définition est que certaines coordonnées de la signature sont communes à bon nombre d'écritures (présence de fortes valeurs dans les directions horizontales et verticales). Pour compenser ce phénomène nous avons inversé les ratios dans la signature de sorte que les faibles valeurs s'en retrouvent accentuées et dominantes. La figure 4 est un exemple de matrice représentée sous forme d'image pour un manuscrit médiéval et un manuscrit d'auteur du 18^{ème}. Elle fait ressortir (visuellement) les orientations dominantes de l'écriture considérée. Pour tous les tests nous avons choisi d'utiliser huit échelles d'analyse et la signature est donc de dimension 32x64 (les courbures dans notre approche étant toujours paire) et pourrait être réduite à 32x32 à cause de la symétrie des orientations.

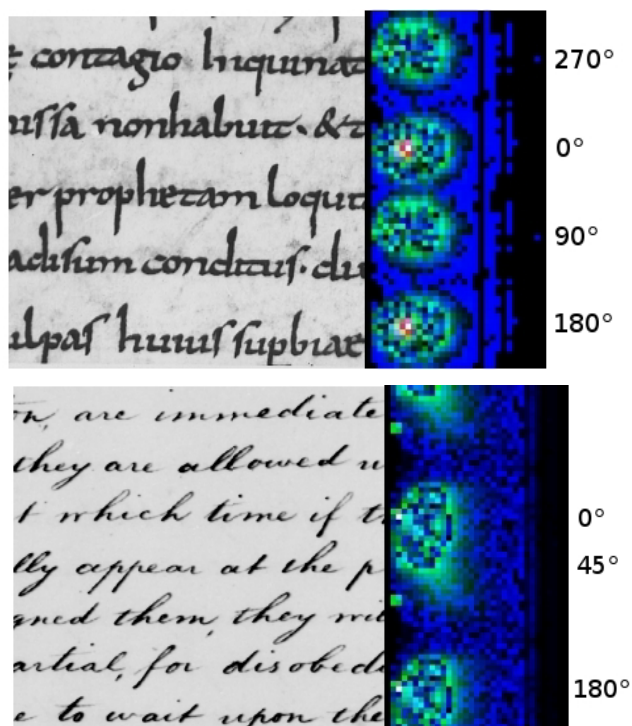


FIG. 4 – Signatures d'un échantillon d'écriture médiévale de la base de l'IRHT (dominantes horizontales et verticales) et sur un extrait de la collection des manuscrits de Georges Washington (dominantes horizontales et à 45°)

Pour tester le comportement de notre signature face à différentes déformations possibles d'un document manuscrit nous avons mené cinq types de test :

- des étirements horizontaux et verticaux du texte,

- des changements de résolution,
- des zooms sur les caractères,
- des changements de l'espace interligne.

La distance d'une signature à une autre est réalisée par une corrélation linéaire. Pour deux images X et Y, elle est définie ainsi $S(X, Y) = Cov(X, Y) / \sigma_X \sigma_Y$, où $Cov(X, Y)$ est la covariance entre X et Y et σ_X et σ_Y sont les écart-types. Le choix de cette distance fut fait pour obtenir une certaine rigidité dans la distance et éviter de comparer des informations d'orientations non corrélées par exemple.

Pour obtenir des résultats significatifs, quelle que soit la déformation considérée nous avons maintenu les dimensions de l'image. Nous ne présentons ici que les conclusions générales de ces tests. Si l'on considère dans un premier temps les étirements verticaux et horizontaux, le comportement de la signature est très exactement celui que nous attendions : un déplacement général des valeurs des couples (courbure,orientation) vers l'orientation de l'étirement (0° pour l'horizontal et 90° pour le vertical), une baisse générale de la courbure et une forte chute de la corrélation entre l'image originale et ses déformations successives. Cela est dû au caractère dominant des orientations verticales et horizontales dans les écritures latines de sorte que des modifications sur ces orientations entraînent de grandes modifications dans la signature. Si l'on considère ensuite les changements sur la résolution ou les dimensions des lettres, nous pouvons tirer partie de l'aspect multi-échelle de la transformée en Curvelets. On peut ainsi choisir la meilleure échelle de cette transformée pour construire la signature en fonction de la résolution de l'image ou de la taille des lettres. Enfin, les modifications sur l'espace interligne n'entraînent de réelles conséquences sur la signature que lorsque la quantité d'informations ne devient plus comparable. Dans une image d'environ une dizaine de lignes de texte médiéval, il est possible d'ajouter ou de retirer une ou deux lignes tout en maintenant le taux de reconnaissance de l'écriture.

5 Une application possible : un système RIC

Comme nous l'avons déjà précisé dans la partie 1, nous considérons actuellement trois principales applications de notre système. Dans cette partie nous nous concentrons sur l'application de recherche d'informations par le contenu à partir d'une image requête fournie par l'utilisateur. Nous décrivons ici la mise en place des tests et les résultats obtenus. Les images ont été séparées en deux groupes : un groupe composé d'images manuscrites connues et un groupe composé d'images de test. Nous avons testé notre système de recherche sur deux bases différentes (plus de 800 images) : les bases humaniste et médiévale (composées de manuscrits du corpus des correspondances européennes du 18^{ème} siècle et de la base de l'IRHT). La performance des systèmes de recherche est subjective et son évaluation est complexe, en particulier pour la base médiévale pour laquelle nous ne disposons pas d'informations précises sur le processus de datation des écritures médiévales européennes. Une fois l'ensemble des images connues constitué nous avons mené le processus d'évaluation de recherche d'informations vis à vis de cet en-

semble. Dans tous les cas, on calcule les valeurs de précisions moyenne et de rappel pour chacune des bases.

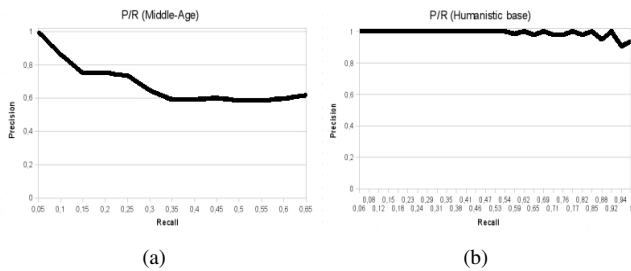


FIG. 5 – Courbes de précision moyenne et de rappel pour les bases médiévales et humanistes de notre système

Comme nous pouvons le constater sur la courbe P/R de la base médiévale 5(a), la courbe tend à se stabiliser autour d'un taux de précision de 0.6, ce qui n'est pas une valeur très élevée mais nous avons du définir comme mauvaise réponse toutes les images dont nous n'étions pas sûr de la justesse de la réponse. Cela est lié au manque de vérité terrain pour la classification de la base médiévale. La classification de notre base est en cours par les paléographes de l'IRHT. D'un autre côté, on constate que sur base humaniste, la figure 5(b), le comportement de notre système est très exactement celui que nous espérions. En réalité, les résultats obtenus sur la base humaniste sont très probablement les meilleurs que l'on puisse obtenir en comparaison des autres systèmes de RIC.

Pour avoir une meilleure évaluation de notre système nous avons utilisé la F-mesure qui combine les valeurs de précision et de rappel ($F=2P.R/(P+R)$) et fournit une valeur unique de précision de la recherche : Il s'agit de la moyenne harmonique entre la valeur de précision et la valeur de rappel. Pour la base humaniste, sur les 15 premières réponses, cette valeur est de 96,61 (P=1 et R=93). Cela implique sur les 15 premières réponses du système nous conservons un haut taux de précision et de rappel. Pour la base médiévale cette valeur est de 51,43.

Le manque de systèmes avec le même objectif que le nôtre limite les comparaisons possibles. Néanmoins nous avons choisi de comparer notre système à celui nommé ImgSeek ([JAC 95]) parce qu'il utilise également une approche multi-résolution pour indexer les bases via une transformée en ondelettes. Nous nous devons de signaler par ailleurs que ce système a été conçu pour les images naturelles et non pour les documents. Nous avons mené les mêmes tests sur ce système que ceux pratiqués sur le nôtre et les résultats sont illustrés sur la figure 6.

Nous pouvons tirer deux conclusions générales de ces résultats. D'un côté les résultats sur la base humaniste sont sensiblement les mêmes et d'un autre côté les résultats sur la base médiévale sont clairement inférieurs à ceux de notre système.

Les paléographes avec lesquels nous collaborons sur ce projet de recherche (le projet Graphem) n'ont pas besoin d'une classification déterministe ou un tri ambigu des documents mais ils préféreraient une proposition de regroupement

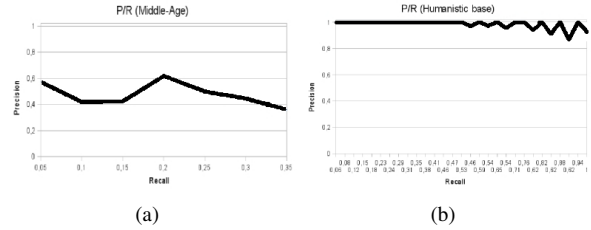


FIG. 6 – Courbes de précision moyenne et de rappel pour les bases médiévales et humanistes du système ImgSeek

permettant d'apprécier des similarités de style non prédéfinies et permettant la discussion. Le processus de RIC est un outil permettant de définir un ordre à l'intérieur du mélange d'écritures de la base et ainsi permettre une étude plus approfondie par les experts. Il faut rappeler que la vérité terrain dans ce domaine est sujet à contestation et que c'est ce qui explique l'appréciation visuelle des résultats. Néanmoins les résultats obtenus sur la base humaniste (voir figure 7) nous conforte dans notre choix de caractéristiques.

101	97.1304	96.1633	95.8227	95.0448
2710271.bmp	2780278.bmp	2700270.bmp	2740274.bmp	2770277.bmp
93.2888	92.7596	92.3983	91.8604	91.7934
3010301.bmp	2720272.bmp	2760276.bmp	2750275.bmp	2730273.bmp
89.4041	88.576	88.1714	86.6041	85.5693
3040304.bmp	3070307.bmp	3050305.bmp	3020302.bmp	MONTES-PHOTO1.bmp

FIG. 7 – Un exemple de recherche d'un manuscrit de Washington

6 Conclusion

Nous pouvons affirmer que la transformée en Curvelets peut être utilisée pour la détection et l'extraction de caractéristiques. Dans le cas spécifique des manuscrits que nous étudions, l'hypothèse formulée décrivant l'orientation et la courbure comme deux dimensions fondamentales des formes semble validée par notre système RIC et ses valeurs de rappel. Le système est actuellement en cours d'intégration au sein de la plateforme du projet Graphem dédiée aux paléographes. Les deux autres applications que nous avons présenté basé sur la décomposition géométrique que sont les Curvelets (la recherche de formes par similarités et la classification d'écritures) sont actuellement en cours de développement.

Références

[AIO 99] AIOLLI F., SIMI M., SONA D., SPERDUTI A., STARITA A., ZACCAGNINI G., SPI : a System for Palaeographic Inspections. AIIA Notizie <http://www.dsi.unifi.it/AIIA/>, vol. 4, 1999, pp. 34-38.

- [ANT 03] ANTOINE J., JACQUES L., Measuring a curvature radius with directional wavelets, *Inst Phys Conf Series*, , 2003, pp. 899-904.
- [BAI 92] BAIRD H. S., Background Structure in Document Images, *Proc., 1992 IAPR Workshop on SSPR*, Berne, Switzerland, 1992.
- [BEN 02] BENSEFIA, HEUTTE L., PAQUET T., , NOSARY A., Identification du scripteur par représentation graphèmes, 2002, pp. 285-294.
- [BUL 03] BULACU M., SCHOMAKER L., Writer style from oriented edge fragments, 2003, pp. 460-469.
- [CAN 00] CANDÈS E., DONOHO D., Curvelets : A Surprisingly Effective Nonadaptive Representation of Objects with Edges, rapport, 2000.
- [CHA 00] CHA S., SRIHARI S., Multiple Feature Integration for Writer Verification, 2000, pp. 333-342.
- [CRE 95] CRETTEZ J.-P., A set of handwriting families : style recognition, *Third International Conference on Document Analysis and Recognition*, vol. 1, 1995, pp. 489-494.
- [JAC 95] JACOBS C. E., FINKELSTEIN A., , SALESIN D. H., Fast multiresolution image querying, *SIGGRAPH '95 : Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, New York, NY, USA, 1995, ACM, pp. 277-286.
- [MOA 06] MOALLA I., LEBOURGEOIS F., EMPTOZ H., , ALIMI A., Contribution to the Discrimination of the Medieval Manuscript Texts : Application in the Palaeography, pp. 25-37, 2006.
- [RAM 05] RAMEL J.-Y., LERICHE S., Segmentation et analyse interactives de documents anciens imprimés, vol. 22, November 2005, pp. 209-222.
- [SHE 02] SHEN C., RUAN X.-G., , MAO T.-L., Writer identification using Gabor wavelet, *Intelligent Control and Automation, 2002. Proceedings of the 4th World Congress on*, vol. 3, 2002, pp. 2061-2064.
- [Zha 03a] ZHANG B., SRIHARI S. N., , HUANG C., Word image retrieval using binary features, BARNEY SMITH E. H., HU J., , ALLAN J., Eds., *Document Recognition and Retrieval XI. Edited by Barney Smith, Elisa H. ; Hu, Jianying ; Allan, James. Proceedings of the SPIE, Volume 5296, pp. 45-53 (2003).*, vol. 5296 de *Presented at the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference*, décembre 2003, pp. 45-53.
- [ZHA 03b] ZHANG B., SRIHARI S. N., Binary Vector Dissimilarity Measures for Handwriting Identification, vol. 5010, SPIE, 2003, pp. 28-38.