

Caractérisation multiéchelle des tracés manuscrits en vue de la catégorisation de scripteurs

Véronique Eglin, Catherine Volpilhac-Auger

► **To cite this version:**

Véronique Eglin, Catherine Volpilhac-Auger. Caractérisation multiéchelle des tracés manuscrits en vue de la catégorisation de scripteurs. Colloque International Francophone sur l'Écrit et le Document, CIFED, Jun 2004, La Rochelle, France. <sic_00001192>

HAL Id: sic_00001192

https://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00001192

Submitted on 7 Dec 2004

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.

Caractérisation multiéchelle des tracés manuscrits en vue de la catégorisation de scripteurs

Véronique EGLIN¹ – Catherine VOLPILHAC-AUGER²

¹ LIRIS, INSA de Lyon
20, av. Albert Einstein – 69621 VILLEURBANNE CEDEX
eglin@rfv.insa-lyon.fr

² CERPHI – ENS LSH de Lyon
15, parvis René Descartes - 69342 LYON CEDEX
c.volpilhac-auger@wanadoo.fr

Résumé : Dans cet article, nous proposons une approche de caractérisation des écritures manuscrites à partir de l'analyse multiéchelle des tracés centrée autour de quatre dimensions complémentaires : la direction (évaluée à partir d'une analyse fréquentielle multiéchelle des images), la cursivité (définie à partir de l'évolution multirésolution du nombre apparent de connexités présentes sur les lignes de texte), la sinuosité (calculée comme une déformation de type multirésolution des profils haut et bas des tracés), et la complexité (exprimée comme une entropie de distributions multiéchelles du tracé). Chaque mesure est étudiée selon un graphe d'évolution qui se traduit par une signature unique du tracé et qui permet de créer des familles de scripteurs ayant leurs propres caractéristiques visuelles. Les résultats de classement obtenus sur les extraits d'ouvrages manuscrits de Montesquieu sont très prometteurs et très discriminants.

Mots-clés : caractérisation d'écritures manuscrites, analyse multiéchelle et multirésolution, sinuosité, complexité, cursivité, analyse spectrale des directions, texture.

1 Introduction

On recense actuellement un nombre étonnant d'ouvrages et de collections manuscrites anciens préservés dans des bibliothèques ou des instituts spécialisés. Ces collections présentent un intérêt et un enjeu considérable aux yeux d'un grand nombre d'individus, tant sur le plan historique, sociologique, littéraire que scientifique. Actuellement, on cherche à créer une vraie dynamique autour de la préservation et de la valorisation de ce patrimoine ancien qui nécessite la mise en place d'outils de restauration, d'analyse, de reconnaissance et de compression très spécialisés. Dans ce contexte, nous pouvons citer la problématique à l'origine de ce travail qui concerne les fonds manuscrits relatifs à Montesquieu dont la numérisation a été initiée par Catherine Volpilhac-Auger dès 1999. L'exploitation scientifique de tels fonds ne se conçoit que si elle comprend une numérisation de très haute qualité dont l'exploitation scientifique est par nature

pluridisciplinaire, et est seule capable de rendre compte de la complexité de pages où s'enchevêtrent les corrections, parfois de plusieurs mains différentes, voir figure 1.

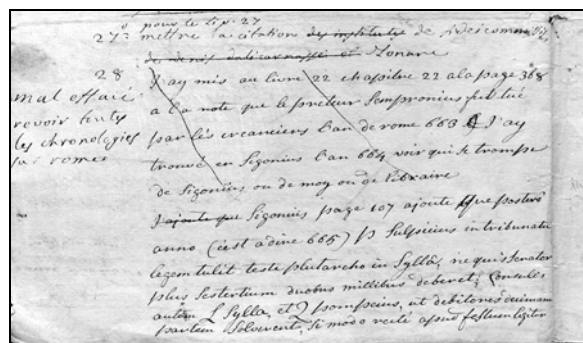


FIG. 1 - Extrait d'une page de L'Esprit des Lois (1748)

Dans ce projet, nous nous intéressons à une particularité étonnante des manuscrits de Montesquieu : l'existence de plus de 30 secrétaires ayant participé à la rédaction et l'achèvement de ses œuvres. La grande diversité des écritures soulève ainsi le problème de l'authentification des scripteurs. Dans ce projet, nous ne cherchons pas à retraduire l'œuvre complète de Montesquieu, qui est chose faite désormais sur le plan littéraire, et qui reste aujourd'hui techniquement difficile à concevoir (segmentation de pages très bruitées et très complexes souvent illisibles au regard même de certains experts, reconnaissance automatique d'écritures très difficile à modéliser). En revanche, nous aspirons dans ce travail à valoriser les écrits de l'auteur par l'étude de la variabilité des scripteurs en présence en proposant une méthodologie de classement par familles. Notre objectif immédiat consiste ainsi à caractériser les différentes interventions des scripteurs et d'évaluer leur variabilité inter et intra-scripteur en utilisant des propriétés graphomorphologiques et visuelles des tracés retenues par les experts de l'analyse des écritures manuscrites. Afin d'illustrer la pertinence de notre approche, nous avons complété notre base actuelle avec des images de tracés très diversifiés de textes manuscrits d'auteurs contemporains de Montesquieu.

2 La caractérisation de scripteurs

Les systèmes usuels d'analyse et de reconnaissance de textes manuscrits sont basés sur l'exploitation de niveaux d'interprétation hiérarchiques : du niveau graphique jusqu'aux niveaux lexical et syntaxique, voire sémantique. Bien souvent encore, on considère la reconnaissance comme un problème purement omni-scripteur en traitant les mots ou les lettres à reconnaître indépendamment les uns des autres et de manière séquentielle. Pour appréhender le texte manuscrit un peu à la même manière de l'homme, comme cela a été initié par Nosary dans [NO02] - schématiquement, avec des capacités d'adaptation au style d'écriture en présence - il faut s'intéresser de près aux tracés des scripteurs sans oublier la mise en page et à tout le sens qu'elle peut dégager. Comment caractériser dans ce contexte une même écriture construite avec un certain état d'esprit et à des moments différents, et comment retrouver des caractéristiques d'invariance de formes manuscrites parmi la multiplicité des dérivations possibles d'un même tracé ? Au niveau de la mise en page, on peut s'intéresser à l'organisation spatiale de l'information, à la cursivité des lignes, aux espaces inter lignes... à un niveau plus fin, on peut s'intéresser aux caractéristiques de formes et remarquer qu'à travers une même écriture il existe des invariances qu'il faut caractériser. Des réponses relevant de techniques complémentaires ont été proposées ces dernières années pour caractériser les écritures : on distingue tout d'abord les approches de caractérisation des écritures par texture, initiées par Kuckuck dans [KU80] et reprises par Said dans [SA98] où l'extraction de caractéristiques s'effectue à partir d'une décomposition spectrale des images de textes. Parallèlement à ces approches, on peut citer les méthodes structurelles s'attachant à décrire l'écriture à partir de descripteurs de formes tels que les dimensions physiques des connexités, la sinuosité et la courbure moyenne du tracé, [MA01] et enfin à un niveau plus fin encore, les approches par invariances de formes basées sur l'expertise des graphèmes définis comme les entités élémentaires du texte manuscrit, [BEN02].

3 Outils développés

Dans cet article, nous proposons comme première étape à ce projet, une approche de la caractérisation des écritures manuscrites des œuvres de Montesquieu à partir de l'analyse multi-échelle des tracés centrée autour de quatre dimensions complémentaires : la *direction* (évaluée à partir d'une analyse fréquentielle et d'une décomposition hiérarchique des images), la *cursivité* (définie à partir de l'évolution du nombre de connexités des lignes de texte), la *sinuosité* (calculée comme une déformation des profils des tracés), et la *complexité* (exprimée comme une entropie de distributions des courbes). Chaque mesure est étudiée selon un graphe d'évolution multi-échelle se traduisant par une signature unique du tracé et permettant de créer des familles de scripteurs ayant chacune leurs propres caractéristiques visuelles. On peut ainsi mettre en lumière des tracés *complexes*, compacts ou au contraire très aérés et espacés, et des tracés fins plutôt aplatis ou présentant à

l'opposé de fortes zones de courbure. Pour cela, nous considérons des blocs de textes homogènes extraits manuellement des ouvrages que nous étudions du niveau du graphème (défini dans [NO02] comme l'entité élémentaire du texte manuscrit) au niveau de la mise en page à travers l'évolution des quatre dimensions.

3.1 Analyse directionnelle des tracés

Les écritures sont caractérisées par diverses orientations observables à différents niveaux de résolution : une orientation globale de mise en page liée à l'organisation des lignes (localisation et direction) sur le bloc de texte et à l'échelle d'observation inférieure, on peut évaluer l'inclinaison globale du tracé traduite par la présence ou non d'italique. En zoomant ainsi sur l'écriture de façon progressive, on peut mettre en évidence l'évolution des orientations successives caractéristiques des écritures. Dans ce contexte, on peut citer les travaux de Said dans [SA00] et de Jain dans [JA92] basées sur l'utilisation de bancs de filtres de Gabor permettant la classification de régions texturées à la fois pour la segmentation du texte imprimé et la classification de textes manuscrits. Une alternative à notre approche a été développée par Srihari dans [SRI04] et Srikanthan dans [SRI02], où les auteurs proposent une analyse des directions des graphèmes à partir d'un calcul du gradient. L'approche que nous avons choisie est liée à une décomposition fréquentielle des images analysées et à l'application de fonctions 2D de Gabor dont les orientations et les bandes passantes fréquentielles sont paramétrables. L'analyse directionnelle que nous avons mise en œuvre se base sur des filtrages successifs de l'image originale faisant varier l'échelle d'analyse et l'orientation : on procède par bancs de filtres successifs en partitionnant le domaine fréquentiel en différents canaux, traduisant les changements d'échelles et d'orientations.

Autocorrélation et quantification des directions

Nous avons choisi d'estimer l'amplitude des directions présentes dans les tracés manuscrits à partir de la quantification de la réponse des filtres de Gabor paramétrés selon les orientations fournies par la rose des directions définie dans [Br97] et mesurée sur le résultat de l'autocorrélation de l'image initiale à pleine résolution. Les résultats fournissent des informations exploitables en termes de directions globales des lignes de textes (fig 2.4) que nous étendons ensuite à un découpage hiérarchique du bloc image en sous blocs pour l'extraction des orientations à différents niveaux d'observation, voir section 4. On considère qu'une direction est significative lorsque elle est associée à un maximum local relatif estimé par le calcul de la variance avec les autres directions voisines. L'autocorrélation résultant de l'image met en évidence l'horizontalité quasi parfaite du tracé (1° par rapport à l'horizontale) et la présence d'inclinaisons locales relatives perceptibles à 43°, 65° et 90° et caractéristiques des inclinaisons présentes dans les hampes et les jambages des lettres. La quantification des orientations retenues résulte de l'estimation de la surface des réponses binaires des filtres obtenues pour chaque secteur angulaire et chaque

échelle. En pratique, nous avons retenu quatre échelles (de 1 à 4) correspondant à des largeurs de bandes passantes croissantes permettant de mettre en évidence dans une direction choisie des caractéristiques plus locales (échelles faibles) ou globales (échelles élevées).

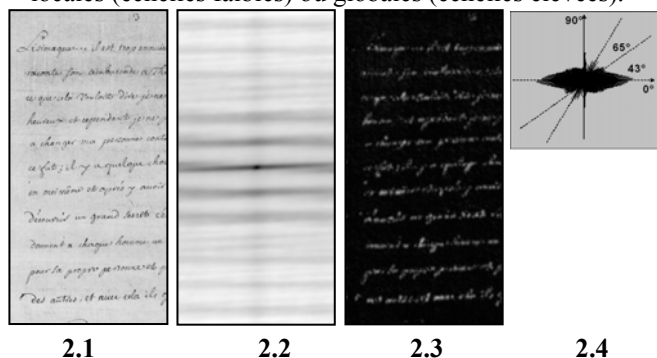


FIG. 2 - 2.1 Image originale 2.2 Image d'autocorrélation résultante 2.3 Résultat de filtrage avec $\sigma_{u,v} = 1 / 128$ et $\theta = 43^\circ$ 2.4 Roses de direction de l'image d'origine.

3.2 Analyse des profils des écritures

Caractérisation de la sinuosité (S)

La courbure est un paramètre de forme abondamment utilisé pour la caractérisation du tracé manuscrit. Dans [RA03], les auteurs présentent une approche basée sur la normalisation des écritures et la définition de profils (haut et bas) servant de base à une caractérisation d'invariants. Nous avons choisi de définir la courbure du tracé manuscrit (appelée *sinuosité*) à une échelle donnée comme le rapport de la somme des longueurs des profils haut et bas calculés sur l'ensemble de composantes estimées à partir de leurs contours sur la surface totale de l'image. Ces profils sont déduits pour chaque contour fermé Γ de fragments de mots (ou de mots complets) à partir de la ligne médiane des connexités. On ne conserve que le contour le plus extérieur (le plus large). On réitère ce processus sur l'ensemble des composantes d'un bloc et on évalue ainsi le rapport moyen de courbure à résolution fixée. On appelle S_H et S_B ces deux rapports, voir figure 3. Le contour est obtenu par des différences d'images obtenues par convolutions gaussiennes dont le principe est développé dans [EG98]. Ces différences, appelées *Difference of offset gaussian (DOOG)*, ont très souvent été adoptées pour leur robustesse et leur simplicité d'implémentation. Elles permettent dans le cas précis de l'analyse du manuscrit de ne pas passer par une étape de recherche de composantes connexes qui se révèle irréalisable sur le texte très irrégulier des manuscrits en niveaux de gris. L'approche globale par différence de gaussiennes permet de faire ressortir des connexités différentes à chaque niveau de résolution considéré. Pour chaque écriture analysée, on évalue le couple (S_H, S_B) obtenu par une estimation moyenne des valeurs de déformation de profils hauts et bas sur toute une page. La distribution des points résultants met en évidence l'existence d'une corrélation entre les tracés haut et bas, ceux-ci étant

généralement plus linéaires. La table 1 illustre les résultats numériques des valeurs de S_H par le classement obtenu sur un échantillon d'écritures jugé représentatif du corpus.

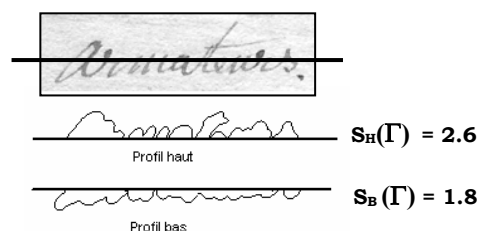


FIG. 3 - Profils haut et bas d'un mot et mesure de sinuosité haute et basse correspondante.

Observation de la cursivité du tracé (C)

La *cursivité* du tracé peut s'interpréter simplement en terme de connexités et d'enchaînements, elle peut se traduire par une estimation de l'étendue des liaisons à l'intérieur d'un même mot et entre plusieurs mots d'une même ligne. Nous avons choisi de calculer la cursivité à partir d'une première identification des emplacements des lignes de textes (par mesure d'autocorrélation) qui donne la direction à explorer d'une composante à la suivante. L'image initiale subit une série de filtres appliqués dans la direction des lignes de texte combinés par des différences de gaussiennes estimées pour une valeur de σ fixe. Le résultat conduit à une image de contours de formes connexes à partir de laquelle on évalue un nombre moyen de connexités considérées comme appartenant à une même ligne (appelée dans la formule *Largeur_segment*). A partir du barycentre de la première connexité, on explore dans la direction des lignes estimée par la mesure d'autocorrélation, les barycentres situés dans le voisinage de cette direction. On tolère une tranche angulaire de 5° (permettant de prendre en compte les composantes mal alignées mais de ne pas tenir compte de celles qui sont situées sur les lignes supérieures et inférieures). La cursivité s'exprime par la formulation suivant :

$$C(\Gamma) = 1 - 2 * \frac{Nb_Connexités}{Largeur_Segment}$$

Dans ce calcul, on cherche à mettre en évidence les différences entre les écritures scriptes très espacées marquées par la forte présence d'espaces intra et inter-mots (cursivité proche de 0), et les écritures très connexes caractérisées par un tracé très linéaire (cursivité proche de 1), voir table 1.

Complexité du tracé et mesure d'entropie (E)

La *complexité* est une mesure d'entropie qui traduit la densité de distributions des traits de l'écriture. D'une ligne droite à une écriture très sinueuse et resserrée, la complexité varie entre les bornes normalisées 0 et 1. Sa valeur est proportionnelle à la taille des caractères présents dans les blocs de textes. Son calcul se base sur l'estimation du nombre d'intersections entre le tracé manuscrit et les droites orientées dans la direction des lignes du tracé. On déduit une probabilité d'intersection

présentant une sinuosité plus marquée à travers les changements de résolution sur les tracés manuscrits de notre corpus. La figure 5 présente trois profils d'un même extrait pour des niveaux de filtrages itératifs croissants (aux échelles E_0 , E_4 , E_8). Ainsi, la variation du profil est plus légèrement marquée pour les écritures initialement peu sinueuses et très étirées.

L'estimation de la déformation multirésolution de la sinuosité des tracés se réalise par la représentation des couples $(S_H(E_0), \sum_{i=0}^{N-1} (E_{i+1} - E_i) * S_H(E_i))$.

On conserve la valeur de la sinuosité à pleine résolution (E_0) car elle est représentative de la rondeur maximale du tracé, et on conserve également la surface (ou l'intégrale) obtenue par la courbe multirésolution de sinuosité de la résolution maximale (E_0) à la résolution la plus faible (E_N) pour la bloc image considéré. Avec les valeurs des écarts type de gaussiennes utilisées, on considère 10 niveaux de résolutions différents.

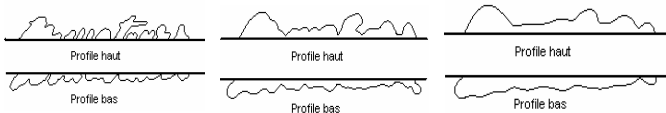


FIG. 5 - Evolution des profils haut et bas en fonction de trois niveaux de résolution.

La *cursivité* des tracés manuscrits va être analysée à travers les modifications induites par l'application de filtrages gaussiens directionnels itératifs qui vont agir dans la direction du tracé sur la connexité des formes. L'évolution du nombre de connexités présentes par lignes d'écriture se traduit par une courbe dont l'observation révèle la présence de trois zones : une 1^{ère} zone traduit la fusion des connexités proches intra-mots (graphèmes ou lettres). La décroissance de la 1^{ère} zone est d'autant plus élevée que les lettres et les graphèmes sont resserrés. On observe ensuite une 2^{ème} zone d'autant plus étendue et d'autant moins pentue que les espaces inter-mots sont grands. Une 3^{ème} zone indique enfin la fusion des espaces inter-mots. On a choisi d'évaluer pour chaque courbe deux coefficients P_1 et P_2 sous la forme de deux dérivées maximisant les variations entre les portions (1-2) et (2-3), voir figure 6.

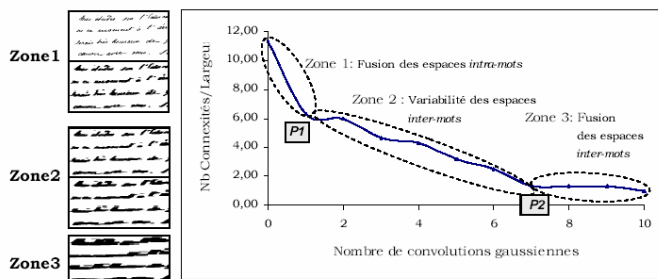


FIG. 6 - Evolution multirésolution de la cursivité d'une portion de texte en zones de fusion de connexités.

La *cursivité* laisse ainsi apparaître des zones de densité variable illustrant d'une part les écritures présentant de faibles connexités à l'intérieur des mots avec des espaces

intra-mots importants pour les écritures scriptes, saccadées et très morcelées (fortes valeurs de P_1), et les écritures présentant des espaces inter-mots importants (fortes valeurs de P_2) ou au contraire très faibles (faibles valeurs de P_2). La figure 7 présente le graphe de cursivité des tracés illustré par des extraits significatifs.

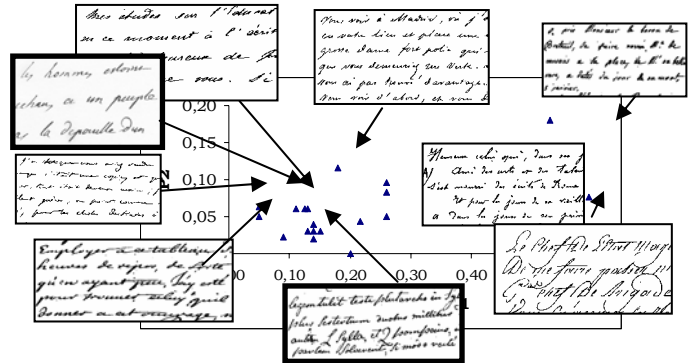


FIG. 7 - Déformation multirésolution de la cursivité.

4.3 Cohérence inter et intra scripteur et classification des écritures

Le bilan que nous proposons est plus qualitatif que numérique en raison de la petite taille du corpus qui a servi aux tests. Ce corpus est représenté par 50 scripteurs différents (chacun étant représenté par plusieurs extraits en pleine page). Ce bilan permet de constater que l'association des dimensions (orientation, cursivité, sinuosité et complexité) conduit à une description complémentaire des écritures et peut s'interpréter en terme de ressemblance (ou de dissemblance) inter-scripteur, voir figure 8. Deux écritures visuellement semblables ont ainsi avec notre approche des dimensions très proches. Par exemple, les deux extraits de la figure 8 (dont le 2^{ème} est une portion manuscrite de Montesquieu) ont des dimensions de complexité, de cursivité et de sinuosité très proches. A ce stade une analyse multi-échelée des dimensions est insuffisante pour pouvoir les distinguer. Une analyse portant sur certains traits particuliers de l'écriture (proportion de la taille des hampes et des jambages, particularité de certaines lettres souvent très discriminantes...) pourrait lever l'ambiguïté de décision.

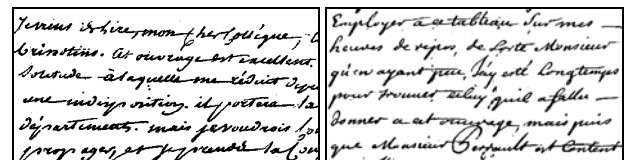
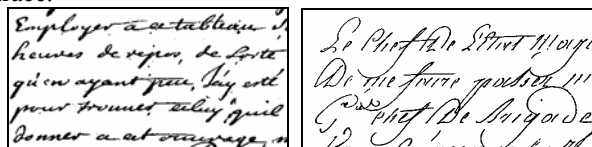


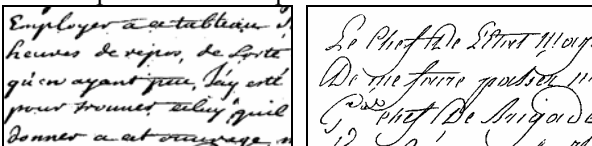
FIG. 8 - Exemple de scripteurs voisins pour les quatre dimensions considérées.

Sur la figure 9, nous avons illustré sur des exemples significatifs les variations extrêmes rencontrées dans notre corpus pour les quatre dimensions d'orientation multi-échelle, de sinuosité, de complexité et de cursivité. On voit ainsi émerger des groupements d'écritures par

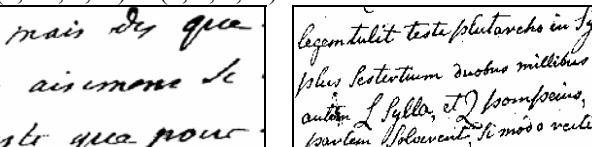
familles, visuellement proches pour une résolution, une échelle et une dimension donnée, que l'on peut proposer à l'étiquetage ou à l'identification à partir de l'interprétation des dimensions. Ce travail est actuellement à l'étude. En fonction du paramètre choisi, l'écriture analysée se place relativement aux autres. Ainsi une dimension prise indépendamment des autres n'est pas suffisante pour conduire l'analyse exhaustive de la forme du tracé mais elle concourt à sa description : une écriture ne peut être caractérisée qu'en comparaison d'une autre, et c'est bien souvent ainsi que nous procédons empiriquement pour décrire la forme d'un tracé.



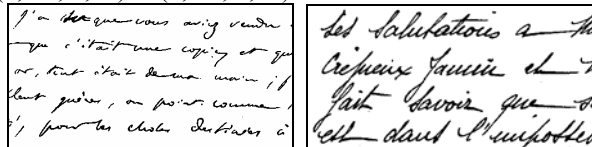
9.1 Exemples non voisins pour l'orientation multiéchelle



9.2 Exemples extrêmes pour la dimension de cursivité (0,05 ; 0,06) et (0,6 ; 0,12).



9.3 Exemples extrêmes pour la dimension de complexité (0,32 ; 0,46) et (0,61 ; 0,72)



9.4 Exemples extrêmes pour la dimension de sinuosité S_H (5,4 et 1,4) à pleine résolution.

FIG. 9 -Variabilité inter-scripteur à travers les extrêmes représentatifs de chaque dimension.

La catégorisation que nous proposons repose une combinaison de résultats issus d'une classification portant sur les trois attributs représentés sur les graphes 2D d'évolution et employant la méthode des k-ppv. (l'orientation est traitée indépendamment). Actuellement, nous avons choisi de considérer 5 familles de scripteurs visuellement connexes pour chaque attribut ce qui nous permet de faire une recherche systématique dans les graphes autour de 5 régions séparables (les quatre coins du quadrant 2D et le centre). Cette approche que nous ne détaillerons pas ici fournit une première catégorisation. On dispose ainsi théoriquement de 5^3 possibilités de classement pour l'ensemble des scripteurs. Dans notre étude, nous avons pu faire ressortir 38 familles sur les 50 scripteurs initialement considérés. La prise en compte de la dimension d'orientation a permis de lever l'ambiguïté pour 8 scripteurs. Pour lever les ambiguïtés typiques de

ressemblance forte entre deux écritures (figure 8), nous envisageons une étude plus systématique de recherche de similarités et d'invariants pour chaque scripteur.

5. Conclusion et travaux prospectifs

Ce travail a été initié pour tenter d'apporter des réponses scientifiques au problème de la numérisation et de la valorisation des collections manuscrites d'auteurs. Il s'inscrit précisément dans le cadre de la discrimination inter-scripteur des écritures des ouvrages de Montesquieu et a été validé ici sur corpus plus étendu de scripteurs. Dans ce contexte, nous avons choisi d'aborder la page manuscrite dans sa globalité (mise en page, présence d'annotations marginales de directions différentes...) et de fournir des informations ayant une véritable pertinence visuelle à travers quatre dimensions complémentaires (orientation, sinuosité, cursivité et complexité). Cette première étude définit une caractérisation des tracés que l'on peut évaluer en terme de variabilité entre scripteurs et qui se base sur une description relative des écritures les unes par rapport aux autres. Cette étude est actuellement complétée par une analyse fine inter et intra-scripteur permettant de positionner la contribution de chaque scripteur dans l'organisation générale de la page et d'aller plus loin encore dans l'exploitation du style.

Références

- [BEN02] BENSEFIA, A., HEUTTE L., PAQUET T., NOSARY, A., Identification du scripteur par représentation graphèmes, in CIFED'02, 2002, pp.285-294.
- [CH96] CHETVERIKOV, D., LIANG, J., KOMUVES, J., HARALICK, R.M., Zone classification using texture features, *Proceedings of the 13th ICPR*, 1996, vol.3, pp.676-680.
- [EG98] EGLIN, V., Contribution à la structuration fonctionnelle des documents, PhD thesis. : INSA de Lyon, 1998, 250p.
- [JA92] JAIN, A.K., BHATTACHARJEE, S., Text segmentation using Gabor filters for automatic document processing, *Machine Vision & Appl.*, 1992, vol.5, no.3, pp.169-184.
- [KU80] KUCKUCK, W., Writer recognition by spectra analysis, Proc. Int. Conf. In Security through Science Engineering, 1980, pp.1-3.
- [MA 01] MARTI, U.V., MESSERLI, R., BUNKE, H., Writer identification using text line based features, in Proc. ICDAR'01, 2001, pp. 101-105.
- [NO02] NOSARY, A., PAQUET, T., HEUTTE, L., Reconnaissance de textes manuscrits par adaptation au scripteur, CIFED'2002, pp.365-374.
- [RA03] RATH T.M., MANMATHA R., Features for Word spotting in historical manuscripts, In Proceedings of the 8th ICDAR, 2003, pp. 218-222.
- [SA98] SAID H. E., PEAKE G. S., TAN T. N., BAKER K. D., Writer Identification from Non-uniformly Skewed Handwriting Images, British Mach. Vision Conf., 1998.
- [SRI02] SRIKANTAN G, LAM S W, SRIHARI S.N., Gradient-based contour encoding for character recognition, *Pattern Recognition*, vol.29, 2002, pp.1147-1160.
- [SRI04] SRIHARI, S.N., SHIN Z., Forensic handwritten document retrieval system, in Proc. of the 1st Workshop of Document Image Analysis for Libraries, Palo Alto, 2004, pp. 188-195.