



**HAL**  
open science

## Séparation recto/verso des images de documents anciens par une approche “ aveugle ”

Fadoua Drira, Frank Lebourgeois, Hubert Emptoz

### ► To cite this version:

Fadoua Drira, Frank Lebourgeois, Hubert Emptoz. Séparation recto/verso des images de documents anciens par une approche “ aveugle ”. Colloque International Francophone sur l'Écrit et le Document, CIFED'06, Sep 2006, Fribourg, Suisse. pp.199-204. hal-00115039

**HAL Id: hal-00115039**

**<https://hal.science/hal-00115039>**

Submitted on 20 Nov 2006

**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.

# Séparation recto/verso des images de documents anciens par une approche « aveugle »

F. DRIRA - F. LEBOURGEOIS - H. EMPTOZ

Laboratoire d'InFoRmatique en image et Système d'Information (LIRIS)  
INSA de LYON- Bât Jules Verne  
20 avenue Albert Einstein 69621 Villeurbanne Cedex France

E-mail : fdrira@liris.cnrs.fr

**Résumé :** *La numérisation de grandes quantités d'images de documents anciens a créé un nouveau contexte de travail, notamment au niveau des dégradations. Parmi ces dernières, nous allons nous focaliser sur le problème du passage en transparence du verso sur le recto, conséquence de la porosité du papier, de la qualité chimique de l'encre ou des conditions de numérisation. Cette dégradation se traduit par des marques diminuant la lisibilité de l'image du document. Notre étude traite la suppression de ces marques afin d'apporter une meilleure lisibilité aux documents numériques. Une méthode de restauration virtuelle dite « aveugle » de cette dégradation est donc proposée. Elle représente une méthode de segmentation récursive non supervisée des données décorréelées. Notre stratégie fondée sur l'utilisation de l'histogramme logarithmique permet de guider la segmentation récursive. L'article conclut avec quelques résultats expérimentaux qui démontrent l'efficacité de la méthode proposée. Le problème est illustré dans le cadre d'une application particulière, celle de la restauration d'images de documents dégradés des archives municipales.*

**Mots-clés :** Images de documents dégradés, restauration, segmentation récursive, analyse en composantes principales, nuées dynamiques, histogramme logarithmique.

## 1 Introduction

Bien que la restauration des images naturelles soit largement traitée dans la littérature scientifique, la restauration des images de documents est à considérer comme un domaine de recherche émergent; de nouveaux problèmes vont se rajouter aux problèmes classiques présents sur les images naturelles. Par problèmes classiques, nous faisons référence aux dégradations apparues lors de la capture, de l'acquisition, de la transmission, du changement de format ou du stockage de l'image. Dans le cas des documents anciens, d'autres types de dégradations apparaissent. Ces dégradations sont intrinsèquement liées au support physique du document et aux conditions de sa

conservation. En effet, ce patrimoine écrit dont la valeur historique est souvent inestimable n'échappe pas, en dépit des précautions prises, à l'usure du temps (vieillesse, modification des couleurs, porosité du papier, acidité de l'encre, humidité et variation de la température de stockage, présence d'insectes, sinistres de toutes sortes...) qui détériore énormément le support. Ces dégradations qui s'ajoutent à celles liées à la procédure de numérisation (variation d'éclairage, résolution, compression...) vont contribuer à la dégradation de la copie numérique. Toutes ces dégradations peuvent se traduire par des modifications de couleurs, des trous dans le support (associés à des caractères disparus), des taches recouvrant des parties plus ou moins importantes du document, la superposition du recto et du verso en transparence, des caractères devenant flous, effet bloc, courbure de la page... Compte tenu de ces différents nouveaux problèmes, la restauration (que l'on qualifiera d'informatique ou virtuelle<sup>1</sup>) des images des documents anciens ne se limite pas à une simple transcription des outils classiques de traitement et d'analyse, et encore moins à une application immédiate des méthodes de restauration déjà définies pour les images naturelles dégradées. Mais quelle que soit la nature du document (image naturelle ou image de document), l'objet principal de la restauration reste le même : il consiste à atténuer (voire à supprimer dans les cas les plus favorables) les dégradations présentes sur un document image. En outre, la restauration est un pré-requis nécessaire pour un grand nombre d'usages d'images de document. Non seulement, elle permet d'améliorer leur qualité visuelle, mais aussi elle rend possible ou optimise les performances des outils informatiques tels que les logiciels de reconnaissance optique des caractères (OCR).

Cet article présente une méthode de restauration des images de documents anciens. Un intérêt particulier sera porté à un type bien défini de dégradation présent sur ces images, celui du passage en transparence du verso sur le

---

<sup>1</sup> Il y a aussi la restauration physique des documents. Cette catégorie de restauration sort complètement du cadre de notre travail qui se base sur des traitements numériques.

recto et le problème de sa restauration. Un bref aperçu de quelques approches de restauration traitant ce problème fera l'objet de la deuxième section de cet article. La troisième section présente notre proposition de traitement de cette dégradation. Il s'agit d'une méthode de restauration aveugle et récursive basée sur une segmentation dichotomique des images générées et vérifiant certaines conditions sur leur histogramme logarithmique. Quelques résultats expérimentaux, présentés dans la section quatre, démontrent l'efficacité de la méthode proposée. Le problème traité est illustré dans le cadre d'une application particulière, celle de la restauration des images de documents fournies par les archives municipales<sup>2</sup>.

## 2 Travaux antérieurs

Le passage en transparence du verso sur le recto entraîne des marques sur le recto dégradant la lisibilité du document. Une partie représentative d'un document possédant ce type de dégradation est donnée sur la figure 1. L'application des méthodes de restauration sur ces images dégradées peut être une solution pour extraire le texte original du recto du fond bruité.

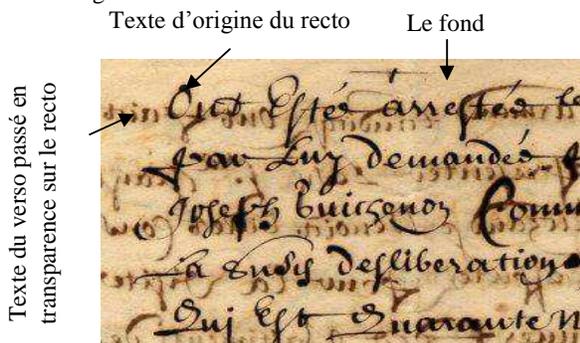


FIG.1 - Extrait d'une image de document dégradé fournie par les archives municipales

La binarisation, qui dépend le plus souvent du choix d'un seuil, est une solution couramment utilisée. En revanche, l'utilisation des techniques de seuillage adaptatifs, pouvant améliorer la qualité des documents noirs et blancs, reste moins efficace pour des documents en niveaux de gris ou en couleur. En outre, les approches classiques de seuillage demeurent insuffisantes pour les images trop dégradées. Leedham et al. comparent dans [LEE 02] plusieurs approches de seuillage pour séparer le recto du verso. Les résultats obtenus montrent que ni les approches de seuillage locales ni celles globales ne restaurent correctement ce type de dégradation. Quelques méthodes de restauration de ce type de dégradation ont vu le jour. Cependant, aucune d'elles n'a permis d'élaborer une méthode générique pour les grandes familles de documents. Ces méthodes de restauration peuvent être définies selon la disponibilité du verso lors de la restauration du recto: des méthodes « non-aveugles » en cas d'une restauration utilisant le verso et des méthodes « aveugles » en cas d'une restauration sans verso. Les méthodes « non-aveugles » sont essentiellement basées

sur l'exploitation des informations présentes sur les deux faces (recto/verso) d'un document image. L'approche de Sharma [SHA 00] traite ce problème en simplifiant le modèle physique des dégradations pour en dériver une modélisation mathématique linéaire suivie par l'application d'un filtre linéaire adaptatif pour les deux faces du document. L'approche de Dubois et Pathak [DUB 01] traite simultanément les deux faces du document image. Ce traitement utilise une transformation affine pour la mise en correspondance des deux faces. Une fois la mise en correspondance faite, les marques de transparence sont identifiées par une méthode de seuillage et remplacée par la moyenne des pixels du fond. Une autre approche [TAN 02], basée sur la transformée en ondelettes, cherche à séparer par un processus itératif le texte original du recto des autres marques en transparence. Toutes ces méthodes aboutissent à de bons résultats. Néanmoins, leur dépendance vis-à-vis des deux faces du document limite énormément leur application. En outre, la nécessité de procéder au recalage rend l'application de ce type de méthode assez compliquée. Une mise en correspondance parfaite est exigée. Ceci n'est pas évident à mettre en œuvre si les deux faces du document sont de résolution différente ou déformées au cours de la numérisation. On conçoit donc l'intérêt d'appliquer des méthodes aveugles ne s'intéressant qu'à une seule face à la fois. Une méthode intéressante à base de filtres orientables [WAN 03, TAN 00] a été utilisée avec succès pour la séparation recto/verso en transparence. Une approche directionnelle de restauration proposée par Wang et al. [WAN 03] utilise la technique des ondelettes. Cette approche est limitée à des cas particuliers de documents (ceux ayant des caractères à une orientation bien définie). Elle nécessite de plus des connaissances *a priori* sur leur contenu. En général, les méthodes à base de filtres orientables ne restent applicables que pour des images de document dont le recto et le verso en transparence possèdent des orientations différentes, ce qui n'est pas toujours le cas. Une autre approche de restauration [TON 04] utilise la notion d'Analyse en Composantes Indépendantes et plus particulièrement l'algorithme de FastICA. Il s'agit de considérer le problème comme étant un problème de séparation aveugle de sources. Cette méthode résout le problème du passage en transparence du verso pour quelques images de documents dégradés (s'agissant le plus souvent d'images de synthèses). Cependant, les résultats associés à des images réelles de documents restent bien modestes. La méthode de segmentation appelée « *k*-means sérialisés » [LEY 04] est une autre alternative pour le problème de la séparation recto/verso. Cette méthode consiste à mettre en œuvre une classification automatique sur une fenêtre parcourant l'image. Durant le déplacement de la fenêtre, elle adapte automatiquement le centre des classes au contexte local. Cette approche permet donc de combiner les avantages d'une segmentation par classification et les méthodes de segmentation adaptatives classiques que l'on trouve principalement dans le domaine du document. Le fait que

<sup>2</sup> Archives municipales de Châtillon / Chalaronne XIV-XVIII siècle.

cette approche progresse suivant des blocs de petites tailles et effectue des tests locaux au niveau de chaque pixel rend le coût du temps de calcul assez faible. Son principal inconvénient réside dans son aspect non-automatique, l'utilisateur sélectionne des exemples de couleurs pour chaque classe et fixe aussi le nombre de ces classes. Une sélection aléatoire des prototypes n'aboutit pas à des résultats aussi performants que ce que l'on obtienne dans le cas d'une sélection manuelle. La méthode à base d'apprentissage par réseau de neurones [SMI 04] et la méthode locale hybride de binarisation [GAT 04] sont d'autres méthodes de restauration « aveugles » existantes.

Nous avons présenté un bref aperçu des travaux antérieurs traitant la séparation recto/verso. La suite de cette étude traitera la méthode que nous proposons pour résoudre ce problème. Il s'agit d'une méthode aveugle car pour la plupart des images de documents fournis, le verso n'est pas disponible.

### 3 Notre proposition

L'idée de base de notre méthode consiste à classer chaque pixel de l'image du document dégradé dans l'une de ces trois classes : (1) le fond, (2) le texte original et (3) le texte en transparence. Notre problème est donc un problème de séparation de couches superposées avec différents niveaux de couleurs. La classe n°3 doit être supprimée de l'image et remplacée par la couleur du fond (par exemple par la moyenne des pixels du support papier). Néanmoins, une classification globale non supervisée en trois classes sur l'image entière n'est pas suffisante pour correctement extraire le texte original. Nous avons appliqué l'algorithme des « nuées dynamiques » sur les données décorréélées par analyse en composantes principales dans l'espace des couleurs Rouge-Vert-Bleu. Les résultats d'une classification automatique en trois classes sur une image de test sont donnés sur la figure 3. Ces résultats montrent qu'une telle application ne permet pas de séparer le recto du verso. Par ailleurs, nous remarquons que la classe image n°1 (FIG.2), correspondant au recto, contient toujours des informations reliées au verso même après avoir effectué cette classification.



**FIG.2** - Résultat d'une classification globale en trois classes sur une image de document, de gauche à droite : l'image dégradée, image de classe 1, image de classe 2 et image de classe 3 respectivement.

Nous avons alors introduit une méthode de séparation recto/verso basée sur une technique de segmentation récursive. Pour simplifier l'analyse et optimiser sa complexité, nous nous sommes limité au cas d'un problème à deux classes : texte original du recto ou autre. La méthode proposée repose donc sur une subdivision récursive de l'image en deux ensembles de classes.

#### 3.1 Justification

Dans ce qui suit, nous allons brièvement (1) introduire l'algorithme des « nuées dynamiques », (2) introduire la technique d'analyse en composantes principales, (3) préciser l'intérêt d'appliquer l'analyse en composantes principales comme étape préliminaire à une étape de classification et (4) introduire l'histogramme logarithmique.

1. L'algorithme des « nuées dynamiques » est un algorithme de classification. Il vise à regrouper les pixels en  $K$  régions distinctes,  $K$  étant fixé par l'utilisateur. On affecte aléatoirement chaque pixel à une région et on itère comme suit : les centres des différents groupes sont recalculés et chaque pixel est de nouveau affecté à un groupe en fonction du centre de classe le plus proche. La convergence est atteinte lorsque les centres sont fixes. Nous avons choisi l'algorithme des « nuées dynamiques » car c'est le classificateur non-supervisé le plus simple et le plus efficace qui peut être aisément modifié et contrôlé. D'autres classificateurs peuvent cependant être utilisés (par exemple ISOSATA).

2. L'objectif principal de l'ACP est de transformer un tableau de données comprenant un certain nombre d'observations afin d'en donner une meilleure représentation. La transformation va réaliser un changement de base conduisant à de nouveaux axes où l'information contenue sur chaque axe est distribuée de façon optimale et permettant ainsi de mieux discriminer les classes. La première propriété de l'ACP est la décorrélation des nouvelles données. La deuxième propriété de cette analyse est qu'elle est pertinente sur les axes ayant la plus grande distribution de la variance et que l'énergie du signal est entièrement conservée.

3. Nous proposons d'appliquer l'algorithme de segmentation des nuées dynamiques ( $K=2$ ) sur l'espace généré par l'ACP. L'analyse en composantes principales peut représenter une étape préliminaire à une étape de classification. Elle permet d'appréhender la qualité de la classification à partir de la réduction des nombres de canaux et par élimination de certaines associations entre les bandes. En représentant le document dans un espace vectoriel bien choisi, nous pouvons réussir à mieux regrouper les éléments voisins de manière à faire converger les nuages de points vers des classes significatives.

4. L'histogramme logarithmique est un histogramme à échelle logarithmique. Il permet une appréciation plus globale du contenu de l'image en accroissant le niveau des faibles fréquences tout en ne perturbant pas les fortes fréquences. Nous avons donc utilisé cet histogramme pour mieux mettre en valeur les faibles fréquences.

### 3.2 Description de la méthode

Notre proposition est une approche récursive, basée sur l'analyse en composante principale et l'algorithme des « nuées dynamiques ». Ces derniers sont appliqués récursivement sur certaines images générées. Le processus général de notre méthode est donné dans la figure 3.

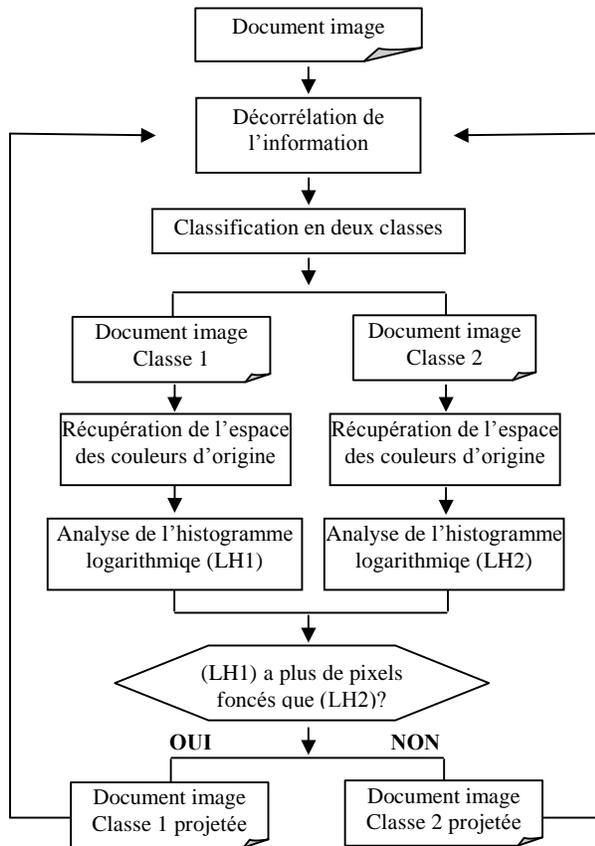


FIG.3 - Le processus général de la méthode proposée

Les étapes suivantes sont exécutées successivement :

1. Nous appliquons l'analyse en composantes principales sur l'image de test en cours.
2. Nous appliquons l'algorithme de segmentation des « nuées dynamiques » sur les données générées par l'ACP. La segmentation est en deux classes (texte original du recto ou autre).
3. Nous projetons les deux classes générées dans l'espace des couleurs d'origine.
4. Nous comparons l'histogramme logarithmique de chaque classe image. L'histogramme ayant le plus grand nombre de pixels sombres est associé à la classe image qui doit être ensuite traitée. Cette image va subir tous les traitements précédents en commençant par l'étape (1).

Nous appliquons l'Analyse en Composantes Principales sur tous les pixels de l'image du document à restaurer. Les trois caractéristiques passées en paramètres sont les trois composantes couleurs : rouge, vert et bleu. Un exemple d'illustration de ces tests est donné dans la

figure 4. Nous remarquons que le valeur propre, associée au premier axe factoriel de la projection, correspond approximativement à une combinaison linéaire équivalente à 99.8% de la variance. La projection suivant le deuxième et le troisième axe factoriel met en évidence une combinaison bruitée du texte du recto et celui du « verso en transparence ». Le premier axe factoriel donne donc une bonne approximation de l'image. Comparé aux autres axes, il est le plus porteur d'information. Nous proposons ainsi de passer à l'algorithme de classification les résultats générés par la projection suivant le premier axe factoriel.

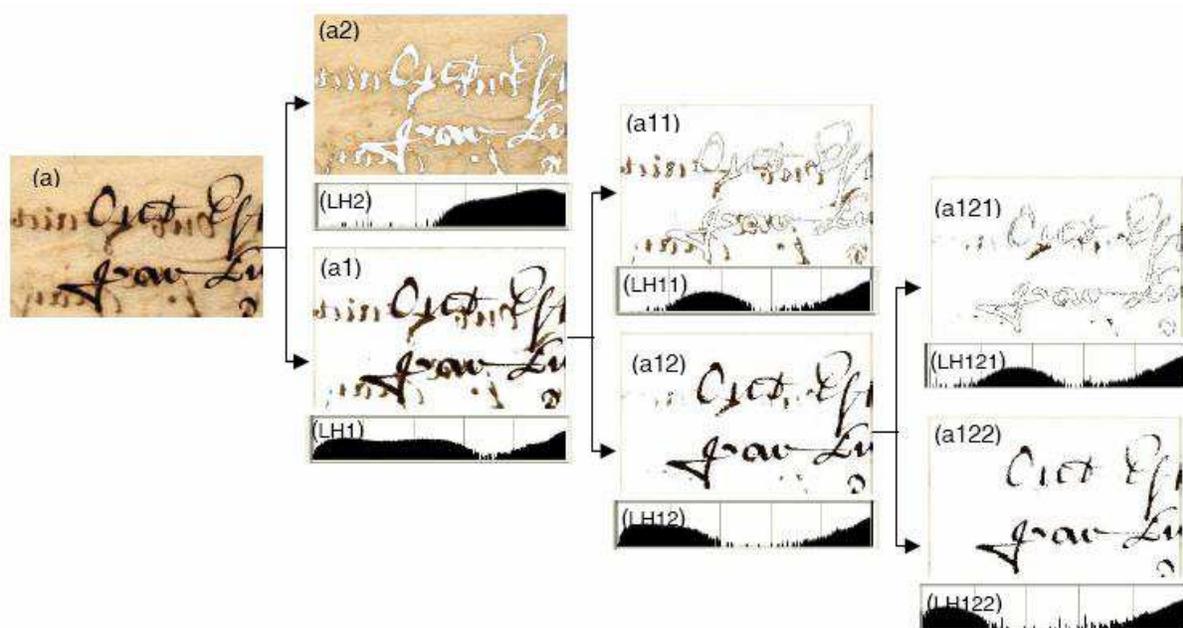


FIG.4 - L'ACP appliquée sur une image (a) ; résultat suivant le (b) 1<sup>er</sup> axe factoriel (99.2% de la variance), (c) 2<sup>ème</sup> axe factoriel (0.72% de la variance), (d) 3<sup>ème</sup> axe factoriel (0.08% de la variance)

Nous procédons ensuite par une approche de segmentation dichotomique. Le choix d'une telle approche de segmentation s'explique par le fait que :

1. la complexité de la classification en deux classes est inférieure à celle en K classes.
2. aucune connaissance a priori du nombre total des classe. Il s'agit d'une procédure par une approche de segmentation non supervisée.
3. une classification dichotomique en deux classes est plus performante qu'une classification directe en K classes (ce qui sera mieux illustrés à la suite dans les résultats).

Lors d'une première itération de la méthode proposée, nous obtenons, pour une image de document donnée, deux classes images. Ces dernières sont ensuite analysées par étude de leur histogramme logarithmique. Le but d'une telle étude est de ne favoriser le traitement que des classes images menant à la bonne version restaurée de l'image dégradée. En outre, une telle procédure nous permet d'atteindre une détection plus automatique de la classe image souhaitée. En partant de l'hypothèse que le texte original du recto est le texte le plus foncé, l'analyse de l'histogramme logarithmique de l'image peut être une solution adéquate à notre problème. Ce critère de sélection a été établi suite à l'étude des différents manuscrits fournis par les archives municipaux. Ainsi, la classe image correspondant à l'histogramme logarithmique ayant le plus grand nombre de valeurs sombres est la classe qui sera subdivisées en deux autres classes. Le test itère pour les autres classes



**FIG.5** - Extrait de l'arbre généré suite à l'application de notre méthode sur une image de test (a) ; (a1), (a2), (a11), (a12), (a121) et (a122) représentent les différentes classes images générées ; (LH1), (LH2), (LH11), (LH12), (LH121) et (LH122) représentent les histogrammes logarithmiques respectifs de (a1), (a2), (a11), (a12), (a121) et (a122).

générées. La figure 5 donne une idée des résultats obtenus suite à l'application de notre méthode sur une image de test. Ces résultats montrent que notre approche dichotomique est plus performante qu'une simple classification globale, en K classes, appliquée à toute l'image (FIG.2).

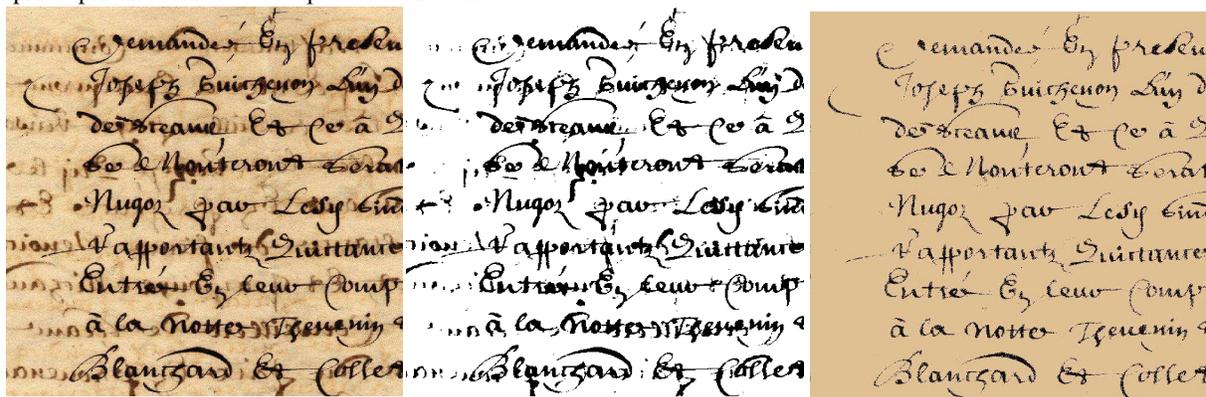
Le nombre d'itérations a été déterminé expérimentalement et fixé à une valeur égale à trois. Au bout de ce nombre d'itérations, l'algorithme converge généralement, pour les différents tests réalisés, vers la classe recherchée.

#### 4 Résultats expérimentaux et discussion

Pour évaluer correctement la méthode proposée, nous avons mené des tests sur quelques exemples d'images de documents dégradés (FIG.6). Les images testées sont essentiellement des images couleurs de différentes tailles et prises par un scanner à 600 dpi avec un taux de 99%

en JPEG. La figure 6 illustre pour une image de test, l'image obtenue suite à l'application d'un algorithme classique de seuillage et l'image obtenue suite à l'application de notre méthode. Nous notons clairement sur cette dernière que le texte original de l'image du document dégradé est extrait avec succès. Les différentes marques du verso en transparence sont remplacées par la moyenne des pixels du fond. La figure 6 montre aussi qu'une méthode classique de seuillage (par exemple Sauvola) n'est pas capable de résoudre correctement le problème et donc d'enlever toute marque du verso.

Les différentes expériences réalisées sur des images de documents dégradés, dont quelques unes ont été précédemment citées, ont permis d'évaluer les performances de cette méthode de segmentation récursive et d'apprécier ses résultats. Ces derniers sont similaires à ceux obtenus avec l'approche [LEY 04]. A titre d'illustration, la figure 7 montre les versions restaurées d'un extrait d'une image dégradée



**FIG.6** - De gauche à droite : Extrait d'une image de document dégradé, image résultat après application de l'algorithme de Sauvola, image résultat après application de notre méthode

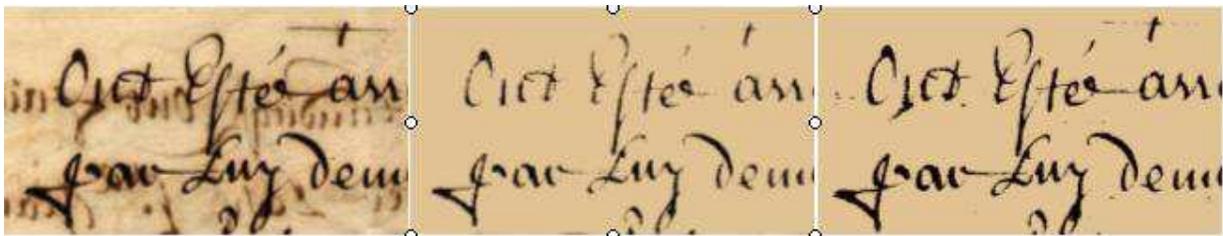


FIG.7 - De gauche à droite : Extrait d'une image de document dégradé, image restaurée par notre méthode et l'image restaurée par la méthode [LEY 04]

respectivement obtenues par notre méthode et celle de [LEY 04].

Comparée avec d'autres méthodes existantes de restauration, la méthode proposée n'exige :

(1) aucun traitement numérique de l'autre face du document dégradé. Elle est capable de supprimer les marques, conséquence du passage en transparence du texte du verso sur le recto, à l'aide d'une seule face du document dégradé. Notre méthode se classe donc parmi les approches de restauration aveugles.

(2) aucun apprentissage. Cette méthode est différente des méthodes d'apprentissage par réseau de neurones : les Self-Organizing Maps (ou cartes auto-organisatrices) [SMI 04] où un apprentissage doit avoir lieu sur des parties d'un document à traiter.

(3) aucun paramètre d'entrée. Cette méthode est différente de l'approche de [LEY 04] qui a comme paramètres d'entrées le nombre de classes et les échantillons pour initialiser les nuées.

## 5 Conclusion

Nous avons démontré dans cette étude l'efficacité d'une méthode de restauration aveugle pour la séparation recto/verso des images de documents écrits anciens dégradés. Les images traitées sont essentiellement des images de document à fond bruité par des marques du verso en transparence. L'idée consiste à correctement extraire le texte original du fond bruité. L'approche proposée est une approche de segmentation récursive utilisant à la fois l'algorithme de segmentation des « nuées dynamiques », l'analyse en composantes principales et l'histogramme logarithmique. Le choix d'une telle méthode de décorrélation des données et d'un tel algorithme de segmentation, a été dirigé vers les outils couramment utilisés dans la littérature. Ceci a pour objectif de tester en premier lieu l'efficacité de la méthode. Nous allons dans des futures recherches tester d'autres techniques pour nous situer par rapport aux résultats obtenus ici. L'analyse des valeurs de l'histogramme logarithmique de chaque image générée a été introduite afin d'optimiser notre approche récursive. Des résultats intéressants ont été obtenus suite à des tests réalisés sur des images de documents fournies par les archives municipaux. D'autres tests sur d'autres images d'archives sont en cours.

Certaines améliorations de notre travail peuvent s'orienter vers l'utilisation de quelques techniques de traitement d'images. Le recours à de telles techniques a

pour objet l'amélioration de la lisibilité du document restauré. A titre d'exemple, la suppression des marques en transparence peut endommager les caractères du texte original du recto si ces derniers interceptent les marques en transparence. Ceci met en évidence que certains des pixels supprimés peuvent aussi bien appartenir au texte original qu'à celui du verso. L'irrégularité de la couleur de l'encre et la variation de l'épaisseur de sa couche d'un caractère à un autre, dans le cas des manuscrits, peuvent aussi être à l'origine des caractères cassés obtenus sur les images restaurées.

## 6 Références

- [LEE 02] G. Leedham, S. Varma, A. Patankar, V. Govindaraju, Separating text and background in degraded document images, *IWFHR*, 2002, pp.244–249.
- [SHA 00] G. Sharma, Cancellation of show-through in duplex scanning, *ICIP*, 2000, pp. 609-612.
- [DUB 01] E. Dubois, A. Pathak, Reduction of bleed-through in scanned manuscripts documents, *IS&T conference on image processing, image quality, image capture systems*, 2001.
- [TAN 02] C. L. Tan, R. Cao, P. Shen, Restoration of Archival Documents Using a Wavelet Technique, *IEEE Transactions on PAMI*, 2002, pp.1399–1404.
- [WAN 03] Q. Wang, T. Xia, C. L. Tan, L. Li, Directional Wavelet Approach to Remove Document Image Interference, *ICDAR*, 2003, pp.736-740.
- [TAN 00] C. L. Tan, R. Cao, P. Shen, J. Chee and J. Chang, Text extraction from historical handwritten documents by edge detection, *ICARCV*, 2000.
- [TON 04] A. Tonazzini, E. Salerno, M. Mochi, L. Bedini, Bleed-through removal from degraded documents using a color decorrelation method, *DAS*, 2004, pp. 229-240.
- [LEY 04] Y. Leydier, F. LeBourgeois, H. Emptoz, Serialized k-means for adaptive color image segmentation – application to document images and others, *DAS*, 2004, pp. 252-263.
- [SMI 04] E. Smigiel, A. belaid, H. Hamza, Self-organizing Maps and Ancient Documents, *DAS*, 2004, pp.125-134.
- [GAT 04] B. Gatos, I. Pratikakis, S. J. Perantonis, An Adaptive Binarization Technique for Low Quality Historical Documents, *DAS*, 2004, pp.102-113.