



HAL
open science

Restauration des images couleurs de documents arabes anciens basée sur les EDPs

Mohamed Ben Halima, Wafa Bousellaa, Moncef Charfi, Adel Alimi

► **To cite this version:**

Mohamed Ben Halima, Wafa Bousellaa, Moncef Charfi, Adel Alimi. Restauration des images couleurs de documents arabes anciens basée sur les EDPs. Sep 2006, pp.103-108. hal-00113558

HAL Id: hal-00113558

<https://hal.science/hal-00113558>

Submitted on 13 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.

Restauration des images couleurs de documents arabes anciens basée sur les EDPs

Mohamed Ben Halima, Wafa Boussellaa, Moncef Charfi, M. Adel Alimi

¹ REsearch Group on Intelligent Machines (REGIM)

Université de Sfax, ENIS, DGE, BP. W-3038 - Sfax – Tunisia

{mohamed.benhalima, wafa.boussellaa}@gmail.com

moncef.charfi@enis.rnu.tn, adel.alimi@ieee.org

Résumé *Les documents arabes anciens représentent un patrimoine culturel très précieux, témoin de la civilisation arabe passée et utile pour les générations futures. Ces documents encourent une dégradation progressive et sont menacés d'un réel danger de disparition. Ils se heurtent à de multiples problèmes telle que : l'effet de transparence, l'irrégularité de fond et les tâches d'humidité absorbé par le papier.*

Dans cet article, nous proposons l'utilisation des équations aux dérivées partielles ou EDP dans le but de restaurer les images couleurs de documents Arabes anciens. L'idée est d'utiliser les EDPs pour le lissage du fond de l'image tout en préservant les contours des images traités. Les résultats obtenus dans le stade actuel de la méthode sur une dizaine d'images de documents arabes anciens sont encourageants.

Mots-clés : *Restauration, Equations aux dérivées partielles, Diffusion non linéaire, image couleur, document arabe ancien.*

1. Introduction

Les ouvrages anciens conservés dans la bibliothèque nationale de la Tunisie forme une bonne partie de son patrimoine culturel et scientifique. Ces manuscrits encourent une dégradation progressive et sont menacés d'un réel danger de disparition.

Le traitement automatique de ces documents en vue de leur restauration offre un avantage certain, mais il est confronté à de nombreuses difficultés dues au mauvais état de conservation de ces manuscrits et à la complexité de leur contenu. En effet, les documents anciens possèdent de nombreuses particularités qui invalident les techniques classiques de filtrage. Les détériorations les plus communes que l'on trouve dans les images de documents arabes anciens sont : l'effet de transparence, la présence de tâches d'humidité absorbé par le papier, les variations de la couleur du papier, la présence de plis et de déchirures, et les déformations dues à la courbure naturelle des pages.

Les méthodes de restauration des images de documents anciens proposés dans la littérature ont commencées récemment. Ces méthodes visent à séparer

le texte du fond bruité et irrégulier, puis restaurer le fond par un lissage avec la couleur la plus dominante.

Leydier et al [LEY 04] ont réalisé un système de segmentation adaptatif basée sur une sérialisation de l'algorithme des k-moyennes appliquée séquentiellement sur l'image dans une fenêtre glissante. Lors du déplacement de la fenêtre, l'algorithme réutilise des informations provenant des nuées calculées dans la fenêtre précédente et les ajuste automatiquement pour adapter le classificateur à toute variation locale des couleurs. Les caractéristiques utilisées sont les canaux RVB et TSL.

Dans le cadre d'un projet financé par l'archive nationale de Singapore, Wang et al; [WAN 03a] [WAN03b] [WAN03c]; ont développé une méthode de séparation du texte à partir d'un fond bruité avec effet de transparence. Cette technique est basée sur l'utilisation des ondelettes directionnelles. D'après les auteurs, le modèle d'écriture du document détermine les différences entre les orientations du texte du premier plan et du bruit généré par l'effet de transparence.

Cette méthode fait partie du projet "Nabuco" [CAR 02], qui consiste en la conservation et la valorisation des documents de "Joaquim Nabuco". Le principe de cette méthode est basé sur une segmentation dont le but est de séparer le fond et le texte de l'image basée sur les algorithmes d'entropie. Après segmentation, le fond et le texte sont traités séparément pour extraire leurs caractéristiques. La partie texte est traitée par un OCR pour produire un texte annoté avec des entrées à une base de données de fonte.

Dans cet article, nous présentons,

2. Les EDPs en restauration d'images

Nous proposons ici une approche classique du problème de la réduction de bruit en traitement d'images. Ceci va nous permettre d'introduire les notions de diffusions isotrope et anisotrope, et de s'intéresser aux conditions de stabilité d'un tel processus et au cas particulier des images couleur. Une approche variationnelle, plus élégante, mais plus longue, est proposée dans [DER 96]; elle permet notamment

d'unifier dans un même formalisme un certain nombre d'approches des EDP en traitement d'images.

1.2 Diffusion isotrope

Posons notre problème comme un problème de réduction de bruit : une approche classique consiste à considérer le bruit comme un signal haute fréquence. Dans ce contexte, la méthode la plus souvent utilisée est l'opération de convolution spatiale

$$I(x, y, t) = \int_{\Omega} G(x - \mu, y - \nu, t) I_0(\mu, \nu) d\Omega \quad (x, y) \in \Omega \quad (1)$$

Avec :

$I(x, y, t)$: l'image restaurée (intensité lumineuse)

$I_0(x, y, t)$: l'image bruitée

$G(x, y, t)$: un opérateur de lissage

t : paramètre de contrôle de l'importance du lissage

Pour ce type d'opération de lissage, un exemple d'opérateur souvent utilisé est l'opérateur gaussien. Dans [KOE 84], Koenderink remarque justement qu'une opération de convolution d'une image par un opérateur gaussien peut être réécrite sous la forme d'un processus de diffusion, dont l'équation est la suivante :

$$\begin{cases} \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \frac{\partial^2 I(x, y, t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 I(x, y, t)}{\partial y^2} \\ I(x, y, 0) = I_0(x, y) \end{cases} \quad (2)$$

(2) peut être interprétée comme un processus de diffusion de l'intensité lumineuse d'un pixel (x, y) autour des pixels voisins $(x \pm \partial x, y \pm \partial y)$, durant un temps $t (t \in [0, t])$ relation directe avec la variance spatiale de l'opérateur gaussien. Les résultats obtenus par ce lissage, dit "isotrope", sont peu satisfaisants. Il opère en effet de manière identique dans toutes les directions, et ne possède aucune direction privilégiée, atténuant ainsi bruit et contours sans distinction. En revanche, il permet d'introduire la notion de diffusion anisotrope.

2.2 Diffusion anisotrope

La diffusion anisotrope, telle que Perona et Malik la présentent dans [PER 90], permet de faire la distinction bruit/contour. Elle s'écrit de la façon suivante :

$$\begin{cases} \frac{\partial I(x, y, t)}{\partial t} = \text{div}(c(|\nabla I(x, y, t)|) \nabla I(x, y, t)) \\ I(x, y, 0) = I_0(x, y) \end{cases} \quad (3)$$

Avec : $c(\cdot)$: une fonction de diffusion positive décroissante,

div : l'opérateur de divergence,

r : l'opérateur gradient.

Il s'agit cette fois d'un lissage conditionnel, dont le comportement est fonction de la norme du gradient de l'image, grâce à la fonction $c(\cdot)$. Le principe est de diffuser fortement dans les zones à faibles gradients (zones homogènes), et faiblement dans les zones à forts gradients (contours). Un seuil k permet de distinguer les zones à faible gradient de celles à fort gradient. Perona-Malik proposent par exemple la fonction suivante :

$$c(|\nabla I|) = \exp(-(|\nabla I|/k)^2) \quad (4)$$

Le choix de seuil k n'est d'ailleurs pas évident ; il peut être fixé arbitrairement ou en estimant le bruit. Pour le déterminer, Perona-Malik proposent de se baser sur un histogramme cumulé du gradient.

2.3 Conditions de stabilité

Dans une approche variationnelle de ce même problème de restauration d'image, Deriche et Faugeras [DER 96] retrouvent, sous certaines conditions (coefficients de pondération positifs ou nuls), la formulation suivante :

$$\begin{cases} \frac{\partial I}{\partial t} = \phi''(|\nabla I|) I_{\xi\xi} + \frac{\phi'(|\nabla I|)}{|\nabla I|} I_{\eta\eta} \\ I(x, y, 0) = I_0(x, y) \end{cases} \quad (5)$$

Qui n'est autre que l'équation de diffusion anisotrope de

Perona-Malik, avec $c(|\nabla I|) = \frac{\phi'(|\nabla I|)}{|\nabla I|}$, $I_{\xi\xi}$ la dérivée

seconde de I dans la direction du gradient $\xi = \frac{\nabla I}{|\nabla I|}$ et $I_{\eta\eta}$

la dérivée seconde de I dans sa direction orthonormale.

L'écriture sous la forme (5) a pour avantage de faciliter l'étude des conditions de stabilité et le comportement d'un tel processus de diffusion. Les conditions sur la fonction $\phi(\cdot)$ sont les suivantes [AUB 97] :

$$\begin{cases} \phi''(0) \geq 0 \quad \text{et} \quad \phi'(0) \geq 0 \\ \lim_{s \rightarrow 0} \frac{\phi'(s)}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \phi''(s) = \phi''(0) \\ \lim_{s \rightarrow \infty} \phi''(s) = 0, \quad \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{\phi'(s)}{s} = 0 \\ \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{\phi''(s)}{\phi'(s)} = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Elles permettent d'interpréter géométriquement le comportement du filtre décrit précédemment : pour les zones à faible gradient ($|\nabla I| \rightarrow 0$), on procède à un lissage dans toutes les directions (diffusion isotrope), tandis que pour les zones à fort gradient ($|\nabla I| \rightarrow \infty$), celui-ci n'est effectué que le long des contours (diffusion anisotrope dans la direction des isophotes).

Il est intéressant de constater que ces conditions de stabilité, démontrées par Aubert et al [AUB 97], ne sont pas remplies par un grand nombre de fonctions qu'on peut trouver dans la littérature, puisque dans certains cas, notamment lorsqu'on utilise la fonction de Perona-Malik, le filtre continu se comporte dans les zones de contours comme une équation de la chaleur inverse, connue pour son instabilité.

Dans [WEI 97], Weickert prouve cependant que la discretisation de l'EDP de Perona-Malik a un effet de régularisation. La diffusion inverse sur les contours ne crée d'ailleurs pas d'instabilités mais au contraire rehausse ces contours.

2.4 Le cas des images couleur

Dans le cas des images couleur, on considère une image vectorielle $\vec{I}(x, y) : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^3$. La principale difficulté est alors de déterminer une représentation efficace des contours de l'image (un "gradient couleur"). Plusieurs approches de diffusion d'images couleur [SAP 96, BLO 98, TSH 00] ont été développées. Celle que nous avons retenue consiste à utiliser le gradient couleur de Di Zeno [DIZ 86], qui se base sur la géométrie différentielle des surfaces et permet de détecter les discontinuités communes aux trois plans couleur d'une image. Elle consiste à définir un tenseur multispectral, associé à un champ vectoriel, afin de rechercher les variations locales de l'image. La plus grande valeur propre du tenseur correspond alors à la norme du gradient.

3. Restauration des images de documents anciens par EDPs :

Nous discutons ici des possibilités d'utilisation des EDP pour la restauration des images de documents anciens ayant des distorsions intrinsèques aux ouvrages numérisés telle que : l'effet de transparence, la présence de taches d'humidité absorbé par le papier, les variations de la couleur du papier, la présence de plis et de déchirures, et les déformations dues à la courbure naturelle des pages.

3.1. Fonction de diffusion anisotrope

Soit I l'image définit par : $I(x, y) : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}^m$. Nous notons I^j la $j^{ème}$ composante de I avec ($1 < j < m$). Pour le cas d'une image couleur RVB avec $m=3$, $I(x, y)$ est défini par :

$$I(x, y) = \begin{cases} R(x, y) = I^1(x, y) \\ V(x, y) = I^2(x, y) \\ B(x, y) = I^3(x, y) \end{cases} \quad (4)$$

L'idée de notre méthode est de lisser isotropiquement dans les zones à forte concentration du bruit (les zones homogènes) pour filtrer le maximum de bruit. Dans les zones de contour, le lissage est parallèle a celui-ci. La fonction de diffusion améliorée, est la suivante :

$$\frac{dy}{dt} = \text{div}(d \|\nabla y\| \nabla y) \quad (5)$$

où $d(\cdot)$ est la fonction de diffusivité telle que :

$$d(u) = \begin{cases} 1 - \exp\left(\frac{-c}{\left(\frac{u}{\lambda}\right)^v}\right), & u > 0 \\ 1, & \text{sinon} \end{cases} \quad (6)$$

avec λ le coefficient de diffusion, c est calculée de telle sorte que le flux $u \cdot d(u)$ soit croissant pour $u < \lambda$ et v la vitesse de diffusion ($v > 1$).

Si le gradient est inférieur à λ , le flux augmente avec le gradient et si le gradient est plus grand que λ , le flux diminue pendant que le gradient se développe.

Le gradient, en un pixel d'une image, est un vecteur caractérisé par son amplitude et sa direction. La direction du gradient est orthogonale à la frontière qui passe au point considéré. Le gradient, en un pixel de l'image, est calculé par la formule suivante:

$$\nabla I = (\nabla X(x, y), \nabla Y(x, y)) \\ = ((I \times WX)(x, y), (I \times WY)(x, y)) \quad (7)$$

où W_ξ désigne l'opérateur de dérivation dans la direction ξ et " \times " le produit de convolution. L'amplitude du gradient s'obtient alors par l'une des formules suivantes :

$$m(x, y) = (\nabla X(x, y)^2 + \nabla Y(x, y)^2)^{1/2} \\ m(x, y) = |\nabla X(x, y)| + |\nabla Y(x, y)| \\ m(x, y) = \max(|\nabla X(x, y)| + |\nabla Y(x, y)|) \quad (8)$$

La figure 1 suivante représente la chaîne de restauration de notre méthode :

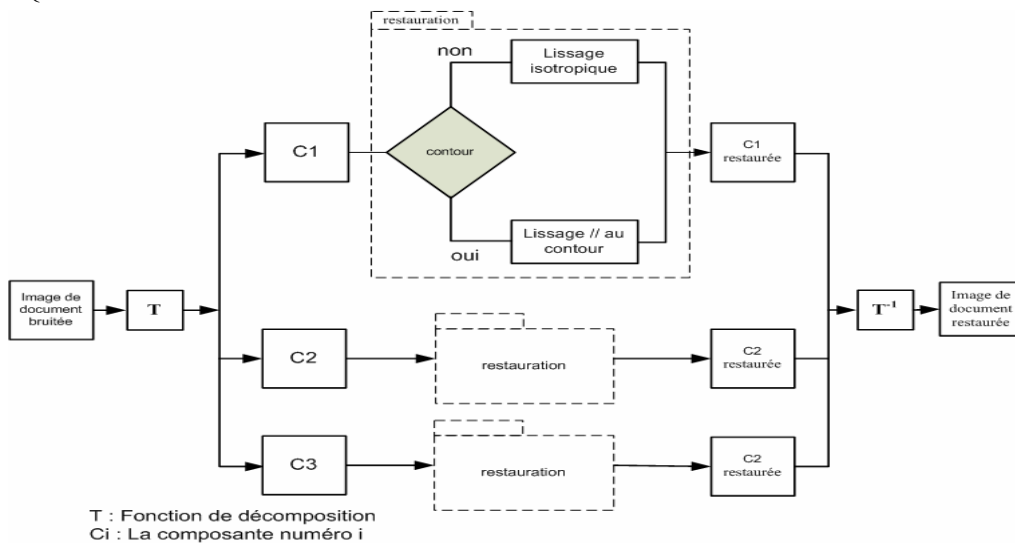


FIG.1 - La chaîne de restauration

A chacun des pixels d'une image traitée est associé un voisinage constitué de seize kernels, le contenant et dirigés selon des vecteurs tournant approximativement tous les $\pi/8$. Ainsi définis, ils introduisent dans le filtrage par analogie avec les bâtonnets de l'iris, une caractéristique de l'oeil importante dans le mécanisme de détection de contours [LIU 00]. Ceux-ci permettent l'extraction d'une région contextuelle autour d'un point, tout comme le fait l'œil humain.

Une probabilité d'appartenance du pixel à une région R est donnée par l'expression suivante:

$$P(I_{(i_0, j_0)}, R) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_R^2}} \exp\left\{-\frac{(I_{(i_0, j_0)} - \mu_R)^2}{2\sigma_R^2}\right\} \quad (9)$$

L'estimation des statistiques est définie par les relations spatiales empiriques :

$$\hat{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{(i, j) \in R} I_{i, j} \quad (10)$$

$$\hat{\sigma} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{(i, j) \in R} (I_{(i, j)} - \hat{\mu}_R)^2} \quad (11)$$

Le lissage non linéaire s'effectue alors selon une heuristique relative à l'homogénéité du voisinage du pixel traité. S'il ne l'est pas, la nouvelle valeur affectée au pixel est égale à la moyenne de la région qui présente la plus grande probabilité.

4. Résultats et discussions

Nous représentons, par la suite, quelques résultats expérimentaux qui permettent d'évaluer les performances de l'algorithme pour restaurer des images couleurs de documents arabes anciens. Sur un premier exemple, nous évaluons la méthode de diffusion non-linéaire sur une image couleur de document manuscrit arabe ancien. L'image de la figure 2 (format tif) est perturbée par un effet de transparence de la page du verso. Sa dimension est 464×393 et sa taille est 548 Kilo-octets.

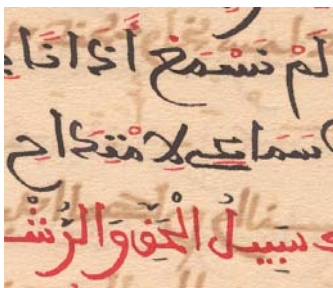


FIG. 2 - Image originale bruitée



(a)



(b)



(c)

FIG 3 – Gradient de l'image RVB :
(a) Gradient du canal R, (b) Gradient du canal B, (c) Gradient du canal V

La figure 3 et 4 représente l'image restaurée de format (tiff) de l'image bruitée de la figure 2 obtenue au bout de 35 itérations pour chaque canal (R, V et B), avec $\lambda = 9$. Le temps d'exécution est de 55 secondes. La taille de l'image restaurée est 548 Kilo-octets.

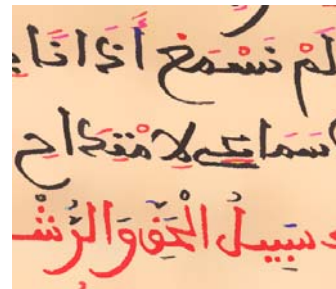


FIG. 4 - Image restaurée

La compression JPEG de l'image originale de la figure 2 a donné une image de taille 54 Ko, alors que la compression de l'image restaurée de la figure 4 par le même algorithme fourni une image de taille 27 Ko.

La figure 5 représente un autre type de bruit en plus de l'effet de transparence, c'est la présence du tampon de la bibliothèque national de tunisie.



FIG. 5 - Image bruitée de document arabe ancien imprimé

La figure 6 représente l'image de document imprimé ancien arabe restaurée de l'image bruitée (figure 10) obtenue au bout de 30 itérations pour chaque canal (R, V et B), avec $\lambda = 8$.

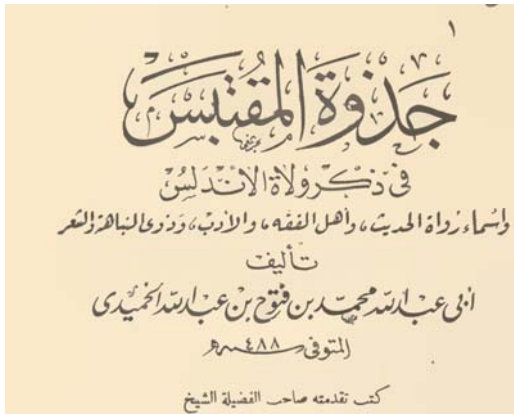


FIG. 6 - Image restaurée de document ancien imprimé (30 itérations)

La figure 7 représente un autre type de bruit :



FIG. 7 - Image bruitée de document ancien imprimé

Dans la figure 8 nous remarquons la présence d'un bruit additif représenté par le papier collant. Au bout de 30 itérations pour chaque canal (R, V et B), avec $\lambda = 7$ nous obtenons le résultat suivant :



FIG. 10 - Image restaurée de document ancien imprimé (30 itérations)

Conclusion et perspectives

Nous avons présenté une méthode de restauration des images couleurs de documents arabes anciens. Notre travail est une contribution à la restauration des images couleurs de documents Arabes anciens et présente les différentes étapes nécessaires au développement de notre algorithme. Ce travail porte sur des techniques à base d'équations aux dérivés partielles pour le traitement d'images. Notre méthode, est fondée sur une équation de diffusion non linéaire pour la restauration des images couleurs de documents arabes anciens. Les résultats obtenus sont prometteurs, et ouvrent de nouvelles perspectives pour le traitement des images de documents arabes anciens par les EDP. En ce qui concerne notre méthode, les travaux futurs vont consister à mettre au point une technique d'estimation automatique des paramètres de diffusion, afin d'obtenir un algorithme capable de travailler en mode non-supervisé. L'idéal serait en effet que l'algorithme puisse mesurer le bruit sur une image de document arabe ancien, et déterminer les paramètres optimaux de diffusion pour la restaurer. L'intervention d'un utilisateur pour fixer ces paramètres ne serait alors plus nécessaire.

Références

- [AUB 97] G. Aubert and L. Vese, "A variational method in image recovery," *SIAM Journal on Numerical Analysis*, vol. 34, no. 5, pp. 1948–1979, 1997.
- [BLO 98] P. Blomgren and Tony F. Chan, "Color tv : Total variation methods for restoration of vector valued images," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 7, no. 3, pp. 304–309, March 1998.

- [CAR 02] CARLOS A., MELLO B., RAFAEL D., Generation of Images of Historical Documents by Composition, *DocEng'02*, November, 8, 2002, McLean, Virginia, USA.
- [DER 02] DERICHE R. et KOTROPOULOS C., Diffusion PDE's on Vector-valued Images: Local Approache and Geometric Viewpoint, *IEEE – Signal Processing Magazine*, SPM'2002.
- [DER 96] R. Deriche et O. Faugeras. Les EDP en Traitement des Images et Vision par Ordinateur. *Traitement du Signal*, 13(6), 1996.
- [DIZ 86] S. Di Zenzo. Note : A note on the gradient of a multiimage. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 33(1) :116–125, January 1986.
- [HEI 04] HEIMANN T., Thorn M., Kunert T., Meinzer H.-P, new methods for leak detection and contour correction in seeded region growing segmentation, *XXth ISPRS Congress*, July 2004 Istanbul, Turkey.
- [KOE 84] J.J. Koenderink. The structure of images. *Biological Cybernetics*, 50(5) :363–370, 1984.
- [LAM 03] LAMBERT P., GRECU H., A quick and coarse color image segmentation, *International Conference on Image Processing (ICIP) 2003*, pp. 965-968.
- [LEY 04] LEYDIER Y., LEBOURGEOIS F., EMPTOZ H., Serialized Unsupervised Classifier for Adaptative Color Image Segmentation: Application to Digitized Ancient Manuscripts, *ICPR*, Cambridge, Grande Bretagne, 23-26 août 04, pp. 494-497.
- [LIU 00] LIU X., WANG D. L., RAMIREZ J. R., Boundary detection by contextual non-linear smoothing, *Pattern Recognition 2000*, vol. 33, no. 2, pp. 263-280.
- [PER 90] P. Perona et J. Malik. Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion. *IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 12(7) :629– 639, 1990.
- [TOD 00] TODORAN L., WORRING M., Segmentation of Color Document Images, *ISIS technical report series*, 2000, vol 21.
- [TSC 00] TSCHUMPERLE D. et DERICHE R. "Restauration d'images vectorielles par EDP", *12ème Congrès RFIA'00*, Paris, France, Feb. 2000.
- [TSC 01] TSCHUMPERLE D. et DERICHE R., constrained and un constrained PDE's for vector image restoration, *12th Scandinavian Conference on Image Analysis - SCIA 2001*.
- [TSC 05] TSCHUMPERLÉ D. et DERICHE R., Vector-Valued Image Regularization with PDEs: A Common Framework for Different Applications - *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligent*, vol. 27, N° 4, April 2005.
- [WAN 03a] WANG Q., TAO X., CHEW L. T. et LIDA L, Document Image Enhancement Using Directional Wavelet, *CVPR 2003*.
- [WAN 03b] WANG Q., TAO X., CHEW L. T., LIDA L, Directional Wavelet Approach to Remove Document Image Interference, *ICDAR 2003*.
- [WAN03c] WANG Q., TAO X., CHEW L. T. et LIDA L , Image Enhancement of Historical Documents using Directional Wavelet, *International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing*, Sept. 2003
- [WEI 97] J. Weickert and B. Benhamouda, "A semidiscrete nonlinear scale-space theory and its relation to the Perona–Malik paradox," in *Advances in Computer Vision*, F. Solina, W. G. Kropatsch, R. Klette, and R. Bajcsy, Eds. 1997, pp. 1–10, Springer, Wien.
- [SAP 96] G. Sapiro and D.L. Ringach, "Anisotropic diffusion in color space," *IEEE transactions on image processing*, vol. 5, pp. 1582–1586., 1996.
- [TSH 00] D. Tschumperle and R. Deriche, "Restauration d'images vectorielles par EDP," in *12ème Congrès RFIA'00*, Paris, France, Feb. 2000, vol. II, pp. 247–256.
- [TUN 01] <http://www.archives.nat.tn>
- [TUN 02] <http://www.bibliotheque.nat.tn>