HAL
open science

Algorithmes non paramétriques pour la synthèse de textures volumiques à partir d'un exemple 2D

Radu Urs, Jean-Pierre da Costa, Jean-Marc Leyssale, Gérard Vignoles, Christian Germain

To cite this version:

Radu Urs, Jean-Pierre da Costa, Jean-Marc Leyssale, Gérard Vignoles, Christian Germain. Algorithmes non paramétriques pour la synthèse de textures volumiques à partir d'un exemple 2D. Actes du XXIIIème Colloque GRETSI, Sep 2011, Bordeaux, France. pp.ID192. hal-00669472

HAL Id: hal-00669472

https://hal.science/hal-00669472v1

Submitted on 13 Feb 2012

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.

Algorithmes non paramétriques pour la synthèse de textures volumiques à partir d'un exemple 2D

RADU URS[1], JEAN-PIERRE DA COSTA[1, 2], JEAN-MARC LEYSSALE[3], GERARD VIGNOLES[3], CHRISTIAN GERMAIN[1, 2]

[1] Laboratoire IMS, CNRS UMR 5218, F33405 Talence cedex, France
[2] Université de Bordeaux, ENITAB, F33175 Gradignan cedex, France
[3] LCTS, CNRS UMR 5801, F33600 Pessac, France

radu.urs@ims-bordeaux.fr, jean-pierre.dacosta@ims-bordeaux.fr

Résumé – Cet article traite de synthèse non paramétrique de textures volumiques anisotropes à partir d'une observation 2D unique. Nous proposons différentes variantes originales d'un algorithme non paramétrique et multi-échelle de synthèse de textures. L'originalité réside d'une part dans le fait que le processus de synthèse 3D s'appuie sur l'échantillonnage d'une seule image 2D d'entrée en garantissant la cohérence selon deux des trois vues de la texture 3D de sortie et, d'autre part, dans les stratégies de parcours 3D et d'optimisation utilisées. Les différentes variantes algorithmiques proposées sont appliquées à la synthèse de textures volumiques de matériaux carbonés, à partir d'une observation 2D unique obtenue par Microscopie Electronique en Transmission (MET). Nous développons une étude qualitative et quantitative des résultats de synthèse qui permet d'une part d'identifier les stratégies les plus pertinentes pour la synthèse et d'autre part de les comparer de façon objective à certains algorithmes de la littérature.

1 Introduction

La synthèse de textures reproduisant le réalisme du monde physique est un sujet d'étude aux applications multiples qui a donné naissance à différentes familles d'algorithmes. Les algorithmes basés sur un exemple nécessitent une image en entrée. Ils synthétisent une nouvelle texture en garantissant la plus grande similitude possible avec l'original. Parmi ces algorithmes, les approches paramétriques [2-4] synthétisent des textures reproduisant les statistiques mesurées sur l'exemple : statistiques d'ordre 1 à 2 mesurées sur l'image ou sur le résultat d'une décomposition multi-échelle. Ce type d'approches s'avère cependant assez complexe et conduit à des algorithmes relativement difficiles à optimiser. Il s'agit de méthodes fondées sur une optimisation globale faisant évoluer la texture dans son ensemble au cours du temps. Par opposition, les méthodes locales [1,5,6] synthétisent une texture un pixel ou un patch à la fois, à partir d'un échantillonnage non paramétrique de l'image d'entrée. Les méthodes de synthèse par patch [7,8] impliquent que la texture de sortie est remplie avec des patches aléatoires de l'image d'entrée, les transitions entre patches étant gérées par optimisation. Les méthodes de synthèse pixel par pixel [1,6,9,10] permettent quant à elles un contrôle plus fin de la synthèse, au prix cependant d'un coût calculatoire élevé.

Si la texture joue un rôle important dans la perception des images naturelles et dans le réalisme des images de synthèse, elle est également, dans le cas de l'imagerie industrielle de matériaux par microscopie, le témoin d'une structure microscopique qu'il convient de décrire et d'interpréter.

Dans cet article, nous nous intéressons aux textures anisotropes lamellaires, en particulier aux images de matériaux carbonés obtenues par microscopie électronique en transmission (MET). Du fait des propriétés de symétrie vérifiées par ces matériaux, on peut déduire leurs propriétés statistiques 3D de celles observées en 2D sur l'image de MET [11].

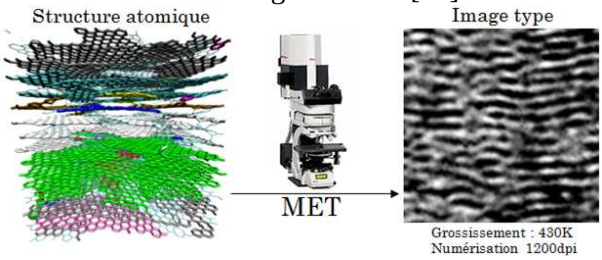

Figure 1 : Microscopie Electronique en Transmission Haute-Résolution

Il est même possible de pousser l'inférence jusqu'à la synthèse d'un signal 3D fidèle à la structure tridimensionnelle du matériau [4,11]. La synthèse de textures volumiques à partir d'un exemple plan reste cependant plus délicate. Elle implique d'inférer l'information 3D à partir d'une information 2D seule. Cette inférence n'est possible que sous certaines hypothèses d'anisotropie qu'il s'agit d'injecter dans l'algorithme de synthèse.

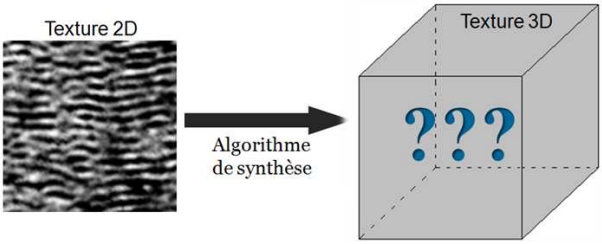

Figure 2 : Obtenir une représentation 3D à partir d'un vue 2D

Une extension 2D/3D récente de l'algorithme paramétrique de Portilla et Simoncelli [3] a été proposée, s'appuyant sur une inférence de 2D en 3D des statistiques d'ordre 1 et 2 et sur la proposition d'un algorithme de décomposition multi-échelle original [4,11].

2 Algorithme de synthèse 2D/3D

2.1 L'algorithme de synthèse 2D de Wei & Levoy

Nous proposons ici d'aborder le problème de synthèse 2D/3D par une approche non paramétrique, inspirée de l'algorithme de Wei et Levoy [1]. Ce dernier s'appuie sur l'hypothèse d'un champ markovien. Il utilise les propriétés de *localité* (chaque pixel est prédictible à partir des seuls pixels de son voisinage) et de *stationnarité* (invariance des statistiques spatiales par translation) des textures. En partant d'une initialisation aléatoire et selon un parcours lexicographique, l'image est synthétisée pixel par pixel. Pour cela, on recopie le pixel de l'échantillon d'entrée dont le voisinage est le plus similaire à celui du pixel courant. La combinaison d'un voisinage causal et du parcours lexicographique permet de générer une image de proche en proche et en une seule passe. Afin d'accélérer la phase de recherche du meilleur voisinage dans l'image d'entrée, on utilise un arbre binaire de recherche comme structure de données pour des requêtes de type 'point le plus proche' efficaces. Par ailleurs, une implémentation multi-résolution permet de capturer les motifs à différentes échelles sans alourdir la charge calculatoire.

Notons cependant, et c'est là une propriété bien connue de ce type d'algorithme, que l'utilisation d'un voisinage causal, du parcours lexicographique et de l'algorithme, sous optimal, de recherche du meilleur candidat rend cet algorithme déterministe (à l'initialisation aléatoire près). Il conduit, dans certains cas, à la répétition quasi-systématique de certains motifs texturaux trouvés dans l'image d'entrée.

2.2 L'algorithme de synthèse 2D/3D

L'extension 2D/3D que nous proposons est une adaptation de l'algorithme de synthèse de textures à partir de sources multiples [12]. Elle repose sur le principe suivant : à partir d'une initialisation aléatoire, on réalise la synthèse voxel par voxel en examinant les voisinages 2D du voxel selon deux vues orthogonales du bloc 3D (vue de face et vue latérale). Pour chacun de ces voisinages, la recherche du meilleur candidat est effectuée dans la même image d'entrée et non dans des images différentes [12]. On affecte au voxel de sortie la moyenne des deux résultats de recherche et on réitère plusieurs fois la recherche en prenant en compte, dès la deuxième itération, le pixel central dans la définition du voisinage.

Cette extension 2D/3D soulève différentes questions.

La première concerne la méthode de combinaison des vues de face et latérale. La simple moyenne proposée dans [12] conduit à une différence de dynamique entre textures originale et synthétisée qui peut compromettre l'ensemble du processus de synthèse. Des réponses possibles à ce problème consistent à remplacer la moyenne par une combinaison spécifique [13] ou bien à intégrer un mécanisme d'ajustement d'histogramme [2,13] de telle sorte que les statistiques globales soient respectées et que la synthèse ne porte pas seulement sur des décisions locales.

La deuxième question est celle du choix du système de voisinage. Comme évoqué précédemment, le choix d'un voisinage causal rend la synthèse d'un pixel entièrement dépendante des pixels précédents et conduit, dans le cas de nos textures lamellaires à une trop grande régularité des images synthétisées. Le choix d'un voisinage non causal permet de lever en partie ce déterminisme mais requiert une synthèse en plusieurs passes.

La dernière question, corollaire de la précédente, est celle du sens de parcours lors de la synthèse. Dès lors qu'un voisinage non causal est utilisé, le choix du sens de parcours peut être remis en question. Le remplacement du parcours lexicographique par un parcours aléatoire permet de synthétiser un pixel en s'affranchissant de son simple passé et donc de multiplier les configurations possibles. En revanche, le temps de convergence peut dans ce cas devenir prohibitif. Une solution alternative consiste à utiliser un parcours de nature fractale (e.g. courbe de Hilbert).

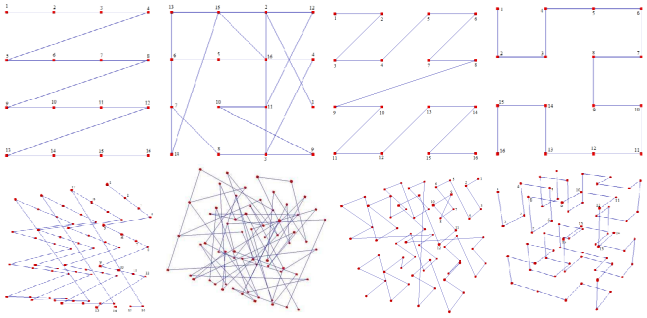

Figure 3 : Illustrations de parcours 2D (en haut) et leurs extensions 3D (en bas) : de gauche à droite, parcours lexicographique, aléatoire, courbe en Z, courbe de Hilbert.

La prise en compte de ces différentes questions a conduit à l'implantation de différentes variantes de l'algorithme que nous proposons d'évaluer au travers de l'étude comparative ci-dessous.

3 Démarche expérimentale et résultats obtenus

Différentes variantes de l'algorithme de synthèse 2D/3D ont pu être implantées. Elles ont été appliquées à la synthèse de textures volumiques à partir d'un échantillon 2D unique obtenu par microscopie. Quelques exemples de résultats sont représentés à la figure 4 : extensions 2D/3D de l'algorithme de Wei et Levoy sans (WL2D3D) et avec (WL2D3D_AH) ajustement d'histogramme, avec parcours de type Hilbert (WL2D3D_AH_Hilbert) et l'extension 2D/3D de l'algorithme de Kopf (Kopf2D3D_AH).

Ces résultats, obtenus avec 5 échelles de décomposition et des voisinages 7x7, sont d'une qualité visuelle relativement convaincante, notamment en termes de dynamique. La pseudo-périodicité de l'image est respectée. Il semble toutefois, d'un point de vue structural, que les textures produites soient plus anisotropes que sur l'image initiale en particulier pour les algorithmes WL2D3D, WL2D3D_AH et WL2D3D_AH_Hilbert. L'approche Kopf2D3D_AH fournit quant à elle des résultats visuellement plus satisfaisants.

On observe par ailleurs que l'ajustement d'histogramme (AH) n'apporte pas d'amélioration significative d'un point de vue perceptuel dans les cas présentés à la figure 4.

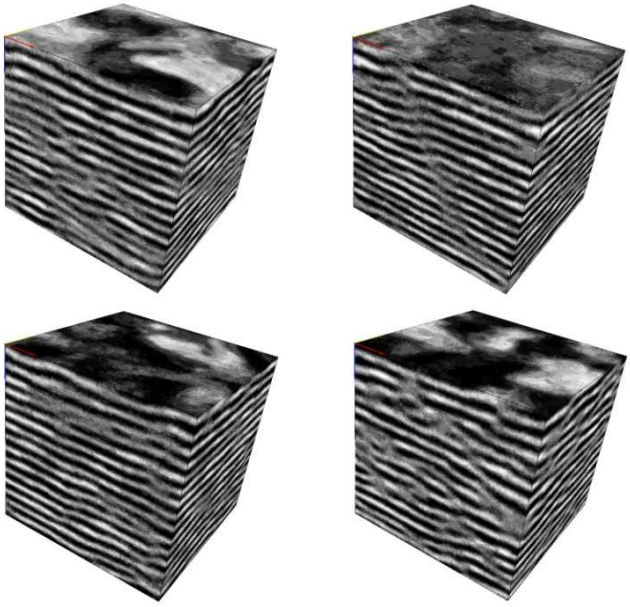

Figure 4 : Exemples de textures volumiques synthétisées, avec 5 échelles et un voisinage 7x7. De gauche à droite, en haut : approches WL2D3D, WL2D3D_AH; en bas : WL2D3D_AH_Hilbert, Kopf2D3D_AH.

En revanche, si l'on change les paramètres de l'algorithme (3 échelles seulement et des voisinages 5x5), l'ajustement d'histogramme semble alors compenser les problèmes d'échelle d'analyse. Il apparaît néanmoins que la prise en compte de la taille des structures dans la détermination du nombre d'échelles d'analyse et de la taille des voisinages reste un point crucial en termes de qualité de synthèse.

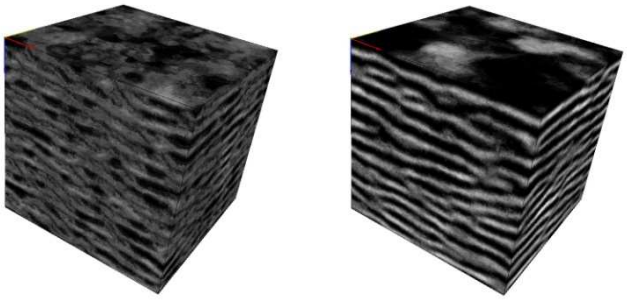

Figure 5 : Exemples de textures volumiques synthétisées avec un voisinage 5x5, 3 échelles et la compensation apportée par le mécanisme de correction d'histogramme. De gauche à droite : approches WL2D3D et WL2D3D_AH.

Au-delà de la simple évaluation qualitative des résultats de synthèse et dans l'objectif d'évaluer la capacité de l'algorithme à reproduire une texture 3D respectant les propriétés statistiques de l'échantillon d'entrée, une étude quantitative des performances de synthèse a été menée. Cette étude porte non seulement sur la dynamique des images synthétisées (statistiques d'ordre 1) mais aussi sur leur structure spatiale (orientations locales, autocorrélations, etc.).

Les figures 6 à 8 montrent la convergence des statistiques d'ordre 1 (moments d'ordre 2 à 4) du bloc de sortie vers les statistiques correspondantes de l'image d'entrée, même sans introduction du mécanisme correcteur (AH). Cette convergence est également vérifiée à la figure 9 par l'évolution globale de l'histogramme des niveaux de gris du bloc de sortie vers celui de l'image d'entrée.

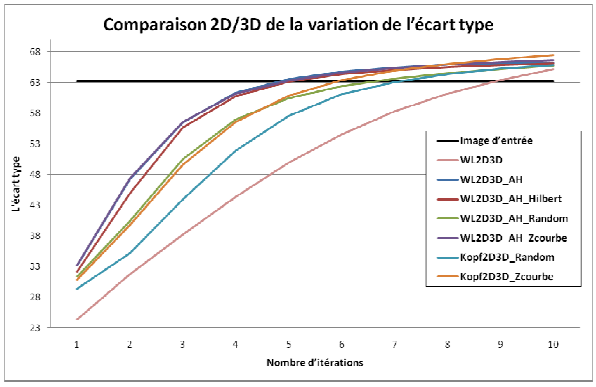

Figure 6: Evolution de l'écart type des niveaux de gris des blocs 3D synthétisés au cours 10 premières itérations.

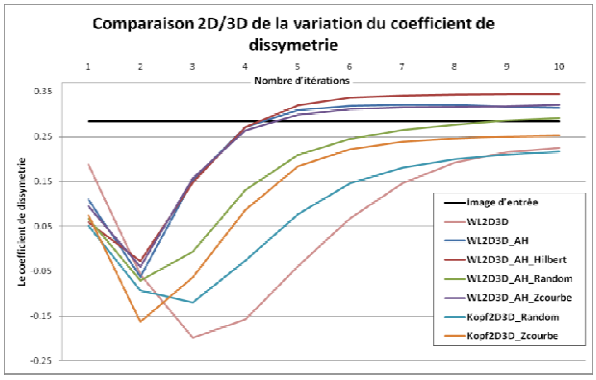

Figure 7: Evolution du coefficient de dissymétrie des niveaux de gris des blocs 3D synthétisés au cours 10 premières itérations.

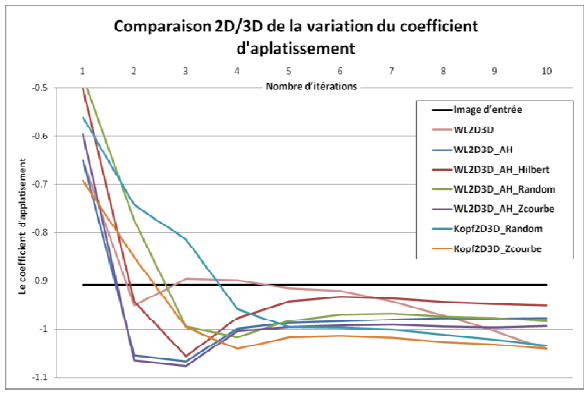

Figure 8: Evolution du coefficient d'aplatissement des niveaux de gris des blocs 3D synthétisés au cours 10 premières itérations.

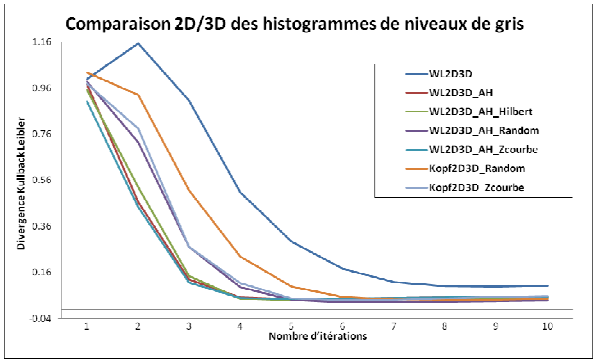

Figure 9: Evolution au cours des 10 premières itérations des divergences de Kullback Leibler entre l'histogramme de niveaux de gris de l'image exemple 2D et ceux des blocs 3D synthétisés.

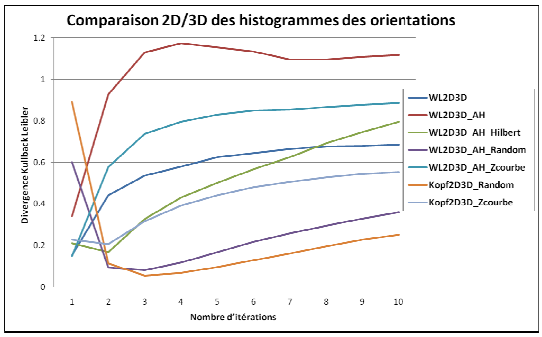

Figure 10: Evolution des divergences de Kullback Leibler entre l'histogramme des orientations de l'image d'entrée et ceux des blocs 3D synthétisés. Les orientations sont fournies par un tenseur de structure estimé sur un voisinage carré 7×7) .

Par opposition, il apparaît qu'après une à trois itérations, la structure du bloc de sortie semble s'écarter de celle de l'image cible. Ceci est révélé à la fois par la comparaison des histogrammes d'orientations (fig. 10) et par l'étude des autocorrélations (fig. 11 et 12) et confirme l'impression selon laquelle les algorithmes proposés tendent à produire des textures plus régulières que celle de l'image d'entrée.

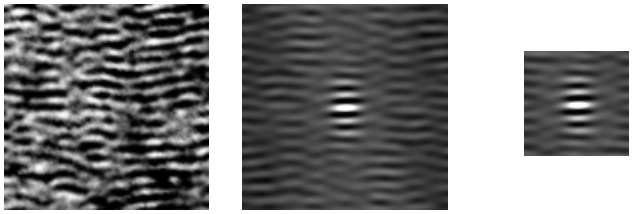

Figure 11: Exemple d'autocorrelation. De gauche à droite : l'image 2D, l'image des autocorrelations, les coefficients centraux utilisés pour l'évaluation (voir fig. 12).

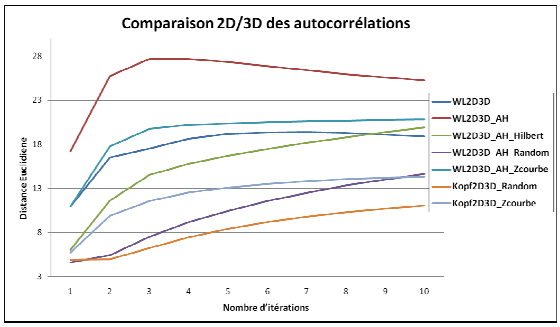

Figure 12: Variation des distances euclidiennes entre les autocorrelations mesurées sur l'image exemple 2D et sur les tranches des images 3D synthétisées.

Ce phénomène pourrait être lié au caractère déterministe des algorithmes, fondés sur des décisions locales, qui tendent à produire des textures très régulières voire répétitives. L'introduction d'un certain degré de stochasticité par l'utilisation de parcours aléatoires semble d'ailleurs conduire à de meilleurs résultats. Par ailleurs, la taille limitée des images d'entrée, ne fournissant pas une base d'apprentissage suffisamment variée, ou celle du bloc de sortie, périodique et de taille limitée (pour des questions calculatoires), sont autant de contraintes pouvant en partie expliquer la régularité des images produites.

4 Conclusion

Un algorithme de synthèse de textures volumiques à partir d'un exemple 2D unique a été proposé. Plusieurs variantes de l'algorithme ont été implantées puis appliquées au cas de textures anisotropes de matériaux carbonés. Une procédure expérimentale a été proposée qui vise à une évaluation quantitative et objective des algorithmes de synthèse. Les résultats obtenus, en dépit de certaines limites, montrent des résultats relativement convaincants et prometteurs qu'il s'agira d'améliorer à l'avenir, en termes de préservation de la structure.

5 Remerciements

Ces travaux ont été menés dans le cadre du projet *Pyroman* en partie financé par l'*Agence Nationale pour la Recherche* et labellisé par le pôle *Aerospace-Valley*. Nous remercions par ailleurs la société Snecma Propulsion Solide, pour la mise à disposition d'images.

6 Bibliographie

[1] L.-Y. Wei et M. Levoy. *Fast texture synthesis using tree-structured vector quantization*. Proc. of ACM SIGGRAPH 2000, pp. 479-488.

[2] D. J. Heeger et J.R. Bergen. *Pyramid-based texture analysis/synthesis*. Proc. of the 22nd annual conf. on Computer graphics and interactive techniques, pp. 229–238, SIGGRAPH 1995.

[3] J. Portilla et E.P. Simoncelli. *A parametric texture model based on joint statistics of complex wavelet coefficients*. International Journal of Computer Vision, 40(1): 49–70, 2000.

[4] J.-P. Da Costa et C. Germain. *Synthesis of solid textures based on a 2D example: application to the synthesis of 3D carbon structures observed by transmission electronic microscopy*. Proc. of SPIE 2010, vol. 7538, Image Processing: Machine Vision Applications III, 2010.

[5] R. Paget et I.D. Longstaff. *Texture synthesis via a noncausal nonparametric multiscale markov random field*. IEEE Trans. on Image Processing, 7(6): 925–931, 1998.

[6] A.A. Efros et T.K. Leung. *Texture synthesis by non-parametric sampling*. Proc. of ICCV'99,1033-1038.

[7] A.A. Efros et W.T. Freeman. *Image quilting for texture synthesis and transfer*. Proc. of SIGGRAPH'01, pp. 341-346.

[8] V. Kwatra, A. Schodl, I. Essa, G. Turk et A. Bobick. *Graphcut textures: image and video synthesis using graph cuts*. ACM SIGGRAPH 2003, pp. 277-286.

[9] M. Ashikhmin. *Synthesizing natural textures*. ACM Symp. on Interactive 3D Graphics 2001, 217-226.

[10] S. Lefebvre et H. Hoppe. *Appearance-space texture synthesis*. ACM Transactions on Graphics, 25(3):541-548, 2006.

[11] J.-M. Leyssale, J.-P. Da Costa, C. Germain, P. Weisbecker et G. Vignoles. *An image-guided atomistic reconstruction of pyrolytic carbons*. Applied Physics Letters, vol. 95, 2009.

[12] L.-Y.Wei et M. Levoy. *Texture synthesis from multiple sources*. Proc. of ACM SIGGRAPH 2003.

[13] J. Kopf, C.W. Fu, D. Cohen-Or, O. Deussenn, D. Lischinski et T.T. Wong. *Solid Texture Synthesis from 2D Exemplars*. ACM SIGGRAPH 2007.