

# **Outils de caractérisation et de génération de propriétés fractales pour l'analyse d'images couleur naturelles et la création d'images de synthèse ; Applications en réalité virtuelle pour la confection d'imprimés textiles.**

Julien CHAUVEAU, David ROUSSEAU, Paul RICHARD, François CHAPEAU-BLONDEAU

Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Automatisés (LISA), Université d'Angers,  
62 avenue Notre Dame du Lac, 49000 Angers - France

*julien.chauveau@univ-angers.fr*

## **Résumé**

Nous proposons de rendre directement accessibles [1] les principes et applications de travaux de recherche récents [2, 3, 4, 5, 6] sur l'organisation des images à travers les échelles spatiales ou, de façon moins classique, à travers les échelles colorimétriques. Un ensemble d'outils informatiques opérationnels réalisent, la visualisation en temps réel de l'histogramme couleur d'une image issue d'une webcam, l'analyse en échelle d'histogrammes couleur tridimensionnels par différentes mesures fractales sous le logiciel libre ImageJ [7], la synthèse d'images aux propriétés fractales et l'application de ces images sur des avatars d'objets 3-D dans des environnements virtuels dédiés à la conception assistée par ordinateur dans le domaine du textile-habillement.

**Mots-clés:** *Imagerie couleur, fractales, analyse-synthèse, temps réel, plugins, réalité virtuelle.*

## **1 Introduction**

L'analyse des propriétés statistiques des images naturelles est une problématique importante. La construction de modèles statistiques est en effet utile pour le traitement des images (en particulier pour les tâches de type compression, classification ou indexation), pour la compréhension du système visuel (questionner l'adaptation darwinienne à un modèle statistique) ou encore pour la génération d'images de synthèse réalistes. De nombreuses analyses ont montré que les images naturelles tendaient à manifester des propriétés d'invariances à travers les échelles spatiales [8, 9, 10]. Ceci se traduit par un spectre de fréquence spatiale qui évolue selon une loi de puissance en  $1/f^\alpha$  avec  $f$  la fréquence spatiale (voir par exemple [11]) ou par un spectre de fréquence temporelle en loi de puissance dans des séquences d'images vidéos [12]. Ainsi, les images dans l'espace et le temps montrent de la corrélation, des structures, de la redondance. Et ces corrélations apparaissent auto-similaires ou invariantes à travers les échelles, ou aussi fractales selon l'espace et le temps.

Dans les études [2, 3, 4, 5], nous avons montré que les histogrammes des images couleur ont tendance à s'organiser selon des régularités non triviales à travers les échelles de l'espace colorimétrique naturel RGB. Ces observations récentes ouvrent la voie à de nombreuses explorations complémentaires. Nous présentons dans ce rapport un ensemble d'outils informatiques opérationnels (librement téléchargeables sur [1]) permettant de reproduire les analyses faites dans [2, 3, 4, 5]. De façon complémentaire, nous proposons ensuite des outils de synthèse d'images couleur aux propriétés fractales. Nous discutons les possibilités d'application de ces outils d'analyse et synthèse au domaine spécifique de la génération d'imprimés pour le textile-habillement.

## 2 Outils d'analyse d'images couleur naturelles

### 2.1 Histogrammes couleur en temps réel

En traitement d'images, les histogrammes des valeurs des pixels sont utiles à divers égards [13]. Ils peuvent servir par exemple pour la caractérisation et la correction lors de l'acquisition des images, ou pour des opérations de segmentation, ou encore pour l'indexation d'images dans des bases de données. Pour des images en niveaux de gris ou monocomposantes, l'histogramme est une structure monodimensionnelle aisée à visualiser et à manipuler. L'imagerie multicomposante avec les imageries multispectrales ou hyperspectrales ou encore en multimodalité est en plein développement. Les histogrammes des images multicomposantes sont des structures de données multidimensionnelles qui peuvent recéler des organisations complexes. Pour des images multicomposantes, une approche usuelle en traitement d'images est de considérer séparément les histogrammes marginaux de chaque composante. Ceci mène à des traitements simples mais qui peuvent perdre une part importante de l'information contenue dans la dépendance entre les composantes. L'histogramme multidimensionnel contient davantage d'information mais il est plus compliqué à manipuler et on en connaît finalement peu sur la structure multidimensionnelle de ces histogrammes à commencer simplement par celle des images couleur.

Parmi les imageries multicomposantes les plus courantes, on trouve l'imagerie couleur qui produit, en sortie des capteurs d'images, trois composantes rouge, vert, bleu. Afin de rendre accessible la visualisation et la manipulation d'histogrammes multidimensionnels, nous avons développé un logiciel qui permet de visualiser dans le cube colorimétrique l'histogramme tridimensionnel d'images couleur acquises par une simple webcam. Ce logiciel, dont des captures d'écran sont visibles sur la Fig. 1, fonctionne en temps réel et permet donc d'observer l'évolution au cours du temps de l'histogramme colorimétrique de la scène dans le champ de la caméra. Sur la Fig. 1, la caméra pointe sur une étoffe colorée. La couleur des imprimés textiles ne dépend pas uniquement des pigments présents dans les fibres mais aussi de l'éclairage ou encore des effets de reflets liés à la façon dont les fibres sont tissées. L'ensemble de ces phénomènes est traduit dans l'histogramme couleur. La visualisation de l'histogramme couleur en temps réel peut donc être utile pour le domaine du textile et de l'habillement.

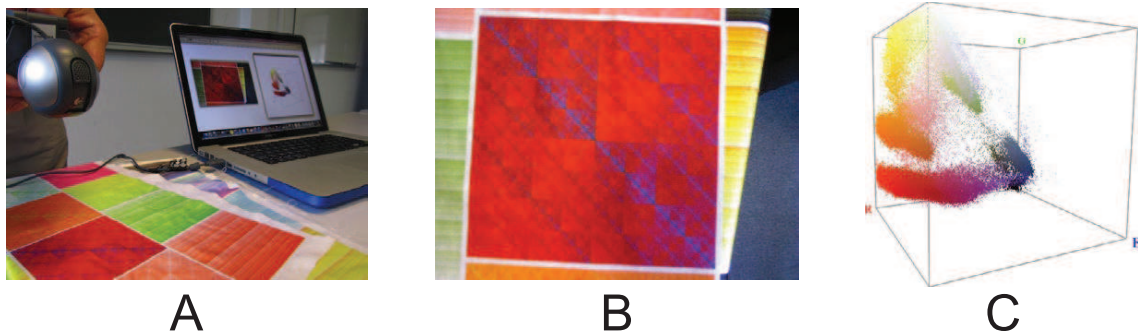


FIGURE 1 – Frise illustrant la visualisation en temps réel de l'histogramme (C) d'une image (B) acquise par une webcam (A). Le langage de développement utilisé est "Processing" [16] qui est libre de droit, adapté à la création graphique car simple de syntaxe tout en permettant l'accès à des bibliothèques spécialement élaborées pour le traitement d'images comme la bibliothèque graphique libre OpenCV [17]. L'application est librement téléchargeable sur [1].

## 2.2 Analyse en échelle colorimétrique

Le logiciel de la section précédente, nous a permis d'examiner l'organisation colorimétrique de nombreuses images naturelles. Nous avons ainsi montré dans [2, 3, 4, 5] que les images couleur naturelles tendent à s'organiser d'une façon non triviale à travers les échelles colorimétriques que l'on peut qualifier de fractale. Pour ce faire nous avons considéré des images couleur où chacun des pixels est constitué par un triplet de composantes  $(R, G, B)$ , chacune de ces composantes prenant une valeur entière dans  $[0, Q - 1]$  (par exemple  $Q = 2^8 = 256$ ). L'espace colorimétrique tridimensionnel des coordonnées  $(R, G, B)$  possède donc  $Q^3$  cases colorimétriques ou couleurs distinctes. Pour caractériser l'organisation des histogrammes colorimétriques à travers les échelles, nous avons testé différentes mesures classiques de l'analyse fractale que nous avons appliquées selon un paramètre d'échelle  $r$ .

- La “méthode des boîtes” (testée dans [4]) donne le nombre  $N(r)$  de boîtes de taille  $r$  nécessaires pour couvrir tous les points  $P_n$  de l'histogramme tridimensionnel couleur. Cette mesure caractérise le support de l'histogramme, c'est-à-dire la constitution et la structure de la palette des couleurs présentes dans l'image.
- La mesure de “corrélation de paires” (testée dans [2]) évalue le nombre  $C(r)$  de paires de points de l'histogramme qui sont séparés par une distance  $\leq r$ .
- L’“intégrale de corrélation” (testée dans [3]) fournit le nombre moyen  $M(r)$  de voisins situés à l'intérieur d'une sphère de rayon  $r$  centrée en un point de l'histogramme tridimensionnel couleur et totalement contenue dans le cube colorimétrique RGB.

Les tracés de  $N(r)$ ,  $C(r)$  et  $M(r)$ , en fonction de  $r$  dans un diagramme  $\log - \log$  donnent une vision de l'organisation en échelle de l'histogramme couleur. La méthode des boîtes caractérise le support de l'histogramme et les mesures de corrélation permettent d'apprécier la façon dont ce support est rempli. Une invariance en échelle est associée à une loi de puissance des mesures  $N(r)$ ,  $C(r)$  et  $M(r)$ . Parmi les comportements invariants en échelle, on qualifie de signature fractale l'existence d'un comportement linéaire de pente non entière sur une certaine gamme d'échelles du diagramme  $\log - \log$  selon  $r$ . Comme le montrent les études [2, 3, 4] et la Fig. 2, on observe chez les images couleur la possibilité d'une signature fractale dans le diagramme  $\log - \log$  pour les trois mesures  $N(r)$ ,  $C(r)$  et  $M(r)$ . L'existence de possibles structures fractales dans la distribution des couleurs au sein des images naturelles est un fait nouveau que les résultats préliminaires [2, 3, 4] ont contribué à identifier. D'autres analyses et observations sur de larges banques d'images naturelles seraient nécessaires pour confirmer l'existence de propriétés colorimétriques fractales et pour apprécier leurs conditions d'existence et leurs possibles origines. Pour rendre largement accessibles ces explorations, nous avons développé une application réalisant l'implantation des différentes mesures en échelles citées ci-dessus  $N(r)$ ,  $C(r)$  et  $M(r)$ . L'identification et la caractérisation de signatures fractales est un moyen de quantifier la plus ou moins grande complexité colorimétrique d'une scène. Il serait possible d'enregistrer parallèlement, en vue de les corréler, les résultats d'une analyse en échelle avec l'appréciation esthétique psychovisuelle recueillie auprès d'un jury. Cette perspective serait intéressante pour étudier comment l'analyse en échelle colorimétrique pourrait s'appliquer dans des domaines liés à l'esthétique comme celui des imprimés textiles couleur pour des objets de mode.

## 3 Outils fractals pour la synthèse d'images couleur

Dans le domaine des fractales, il convient de distinguer les outils d'analyse en échelle et les processus fractals. Les outils d'analyse en échelle (comme ceux de la section précédente) servent à identifier des signatures non triviales d'organisation à travers les échelles et peuvent être appliqués à des signaux synthétiques ou naturels. Les processus fractals constituent quant à eux des

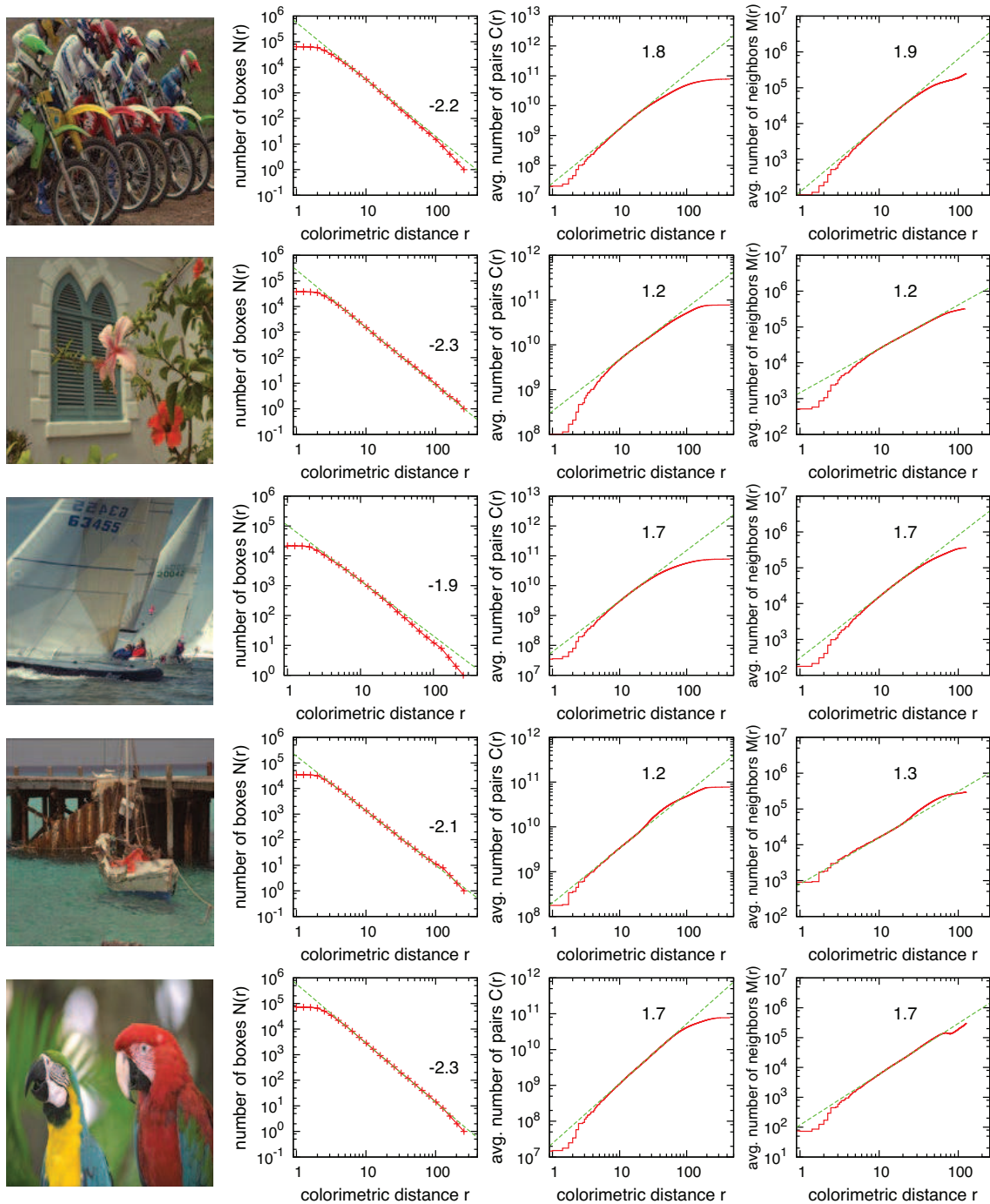


FIGURE 2 – Analyse en échelle colorimétrique d’images par la méthode des boîtes ( $N(r)$ ), la mesure de corrélation de paires ( $C(r)$ ) et l’intégrale de corrélation ( $M(r)$ ). L’exposant indiqué correspond à la pente de la droite en pointillé ajustée sur la plus grande gamme d’échelles colorimétriques possible. Les images (au format PNG non compressé de taille  $768 \times 512$  pixels) sont issues de la base d’images couleur de référence Kodak PhotoCD PCD0992 [14]. L’environnement de développement utilisé est le logiciel libre ImageJ [7] qui permet le développement de plugin en Java. Le plugin que nous avons développé (librement téléchargeable sur [1]) se présente comme une nouvelle version du plugin “Color Inspector 3D” [15].

algorithmes de génération de signaux synthétiques aux propriétés fractales théoriques connues et au moins partiellement contrôlables par le choix des paramètres de ces algorithmes. Par leur propriété d'invariance en échelle, les processus fractals recèlent un potentiel esthétique non encore pleinement exploité pour la génération de motifs décoratifs. Nous avons implanté de nombreux processus de génération de fractales dans ce contexte (voir atelier Createx dans la prochaine section). Nous détaillons ici deux d'entre eux pour lesquels nous discutons les potentialités pour la génération de motifs couleur appliqués aux domaines textile-habillement.

Nous considérons tout d'abord un processus fractal généré de façon déterministe à base de systèmes de fonction itérée (IFS pour Iterated Function Systems en anglais). Dans ce processus initialement introduit dans [18, 6], l'ensemble  $\mathcal{I}$  des signaux bidimensionnels ou images  $s(x, y) \in \mathbb{R}$  avec les coordonnées spatiales  $(x, y)$  est défini sur un support  $[0, 1[ \times [0, 1[ = \mathcal{S}$ . Une transformation  $T$  transforme une image initiale de  $\mathcal{I}$  dans une autre image (finale) de  $\mathcal{I}$ . Cette image finale est obtenue comme l'union de 4 sous-images définies sur 4 quadrants du support  $\mathcal{S}$ , i.e.  $[0, 1/2[ \times [0, 1/2[ = \mathcal{S}_1$ ,  $[1/2, 1[ \times [0, 1/2[ = \mathcal{S}_2$ ,  $[0, 1/2[ \times [1/2, 1[ = \mathcal{S}_3$ , et  $[1/2, 1[ \times [1/2, 1[ = \mathcal{S}_4$ , sur lesquels chaque sous-image est une version contractée de l'image initiale ayant subi une transformation affine d'intensités. Explicitement, la transformation  $T$  est définie par l'union de 4 sous-transformations :

$$\left| \begin{array}{l} \mathcal{S} \times \mathbb{R} \longrightarrow \mathcal{S}_1 \times \mathbb{R} \\ ((x, y), s(x, y)) \longmapsto \left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}, a_1 s(x, y) + b_1\right), \end{array} \right. \quad (1)$$

$$\left| \begin{array}{l} \mathcal{S} \times \mathbb{R} \longrightarrow \mathcal{S}_2 \times \mathbb{R} \\ ((x, y), s(x, y)) \longmapsto \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{2}, \frac{y}{2}, a_2 s(x, y) + b_2\right), \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\left| \begin{array}{l} \mathcal{S} \times \mathbb{R} \longrightarrow \mathcal{S}_3 \times \mathbb{R} \\ ((x, y), s(x, y)) \longmapsto \left(\frac{x}{2}, \frac{1}{2} + \frac{y}{2}, a_3 s(x, y) + b_3\right) \end{array} \right. \quad (3)$$

et

$$\left| \begin{array}{l} \mathcal{S} \times \mathbb{R} \longrightarrow \mathcal{S}_4 \times \mathbb{R} \\ ((x, y), s(x, y)) \longmapsto \left(\frac{1}{2} + \frac{x}{2}, \frac{1}{2} + \frac{y}{2}, a_4 s(x, y) + b_4\right), \end{array} \right. \quad (4)$$

avec les coefficients  $a_j$  et  $b_j$  des réels vérifiant  $0 < |a_j| < 1$ , pour  $j = 1$  à 4, de façon à avoir des transformations contractantes. Le processus d'IFS converge vers un attracteur unique  $\sigma(x, y)$  qui est complètement déterminé par le jeu de 8 paramètres  $\{(a_j, b_j), j = 1 \dots 4\}$ . L'attracteur  $\sigma(x, y)$  est un point fixe,  $\sigma(x, y) = T(\sigma(x, y))$ , de la transformation  $T$  des Éqs. (1)–(4), solution de l'équation fonctionnelle

$$\left\{ \begin{array}{ll} \sigma(x, y) = a_1 \sigma(2x, 2y) + b_1 & , \forall (x, y) \in \mathcal{S}_1 \\ \sigma(x, y) = a_2 \sigma(2x - 1, 2y) + b_2 & , \forall (x, y) \in \mathcal{S}_2 \\ \sigma(x, y) = a_3 \sigma(2x, 2y - 1) + b_3 & , \forall (x, y) \in \mathcal{S}_3 \\ \sigma(x, y) = a_4 \sigma(2x - 1, 2y - 1) + b_4 & , \forall (x, y) \in \mathcal{S}_4 . \end{array} \right. \quad (5)$$

Une telle équation fonctionnelle traduit la propriété d'autosimilarité de l'attracteur  $\sigma(x, y)$  à travers les échelles spatiales, i.e. un caractère fractal. Les propriétés fractales de l'attracteur de l'Éq. (5) ont été discutées dans [18] et les potentialités esthétiques de cet IFS pour la synthèse d'images ont été soulevées dans [6]. Nous proposons d'approfondir la question de la génération d'images couleur à partir de l'attracteur de l'Éq. (5). Une première façon consiste à produire, à partir d'un même attracteur  $\sigma(x, y)$ , une variété d'images en couleurs indexées à partir d'une variété de palettes distinctes de couleurs. Comme le montre la Fig. 3, le même motif fractal de base peut ainsi être coloré différemment en gardant le même paramétrage de l'attracteur. Une grande variété



de motifs fractals peut être explorée en variant le paramétrage de cet attracteur. Une autre façon de générer des images fractales en couleur à partir de l'attracteur  $\sigma(x, y)$  consiste à générer 3 plans rouge, vert, bleu à partir de trois attracteurs ayant un jeu de paramètres  $\{(a_j, b_j), j = 1 \dots 4\}$  différents. Le procédé est moins économique que l'usage de palettes prédéfinies de couleurs puisque le nombre de paramètres à régler au niveau de l'attracteur est alors de  $3 \times 8 = 24$  mais il permet d'obtenir une plus grande richesse colorimétrique et spatiale comme le montre la Fig. 4. Un intérêt de cet IFS pour l'imprimé de motifs pour le textile est que la génération du motif peut se faire avec une résolution quelconque en conservant les propriétés d'invariance en échelle spatiales à toutes les résolutions. Ceci évite d'avoir recours à une interpolation si on souhaite augmenter la taille du motif. Il est possible de contrôler la discontinuité entre les différents quadrants [18] d'une image fractale produite avec les IFS. En revanche, si cette image fractale est prise comme un motif que l'on reproduit de façon à générer un pavage, des discontinuités apparaîtront aux frontières des motifs. Dans cette perspective, utile pour le domaine applicatif du textile-habillement, il est intéressant de considérer d'autres processus fractals complétant le panel d'outils.

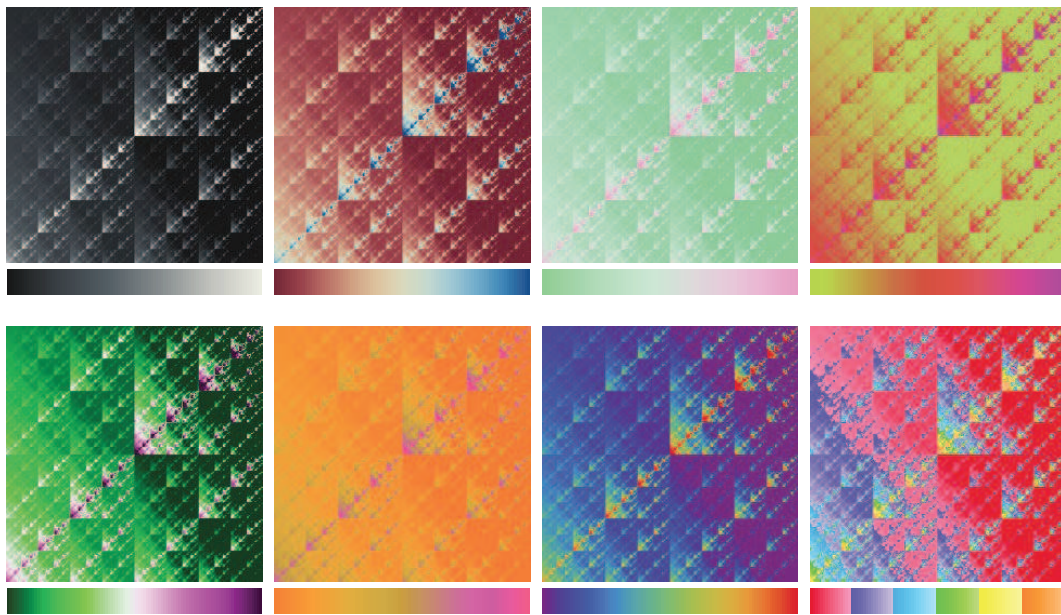


FIGURE 3 – Motif fractal de synthèse, généré selon le processus fractal de l'Éq. (5). La palette de couleurs utilisée est située sous chacun des motifs.

Pour ce rapport, nous nous sommes ainsi également appliqués à rendre accessible l'utilisation de processus fractals stochastiques dits de "feuilles mortes" pour le contexte applicatif du textile et de l'habillement. Comme implicitement contenu dans le terme "feuilles mortes", il s'agit de produire une image résultant de la superposition de motifs de teintes différentes placés pêle-mêle sur l'écran et se recouvrant partiellement les uns les autres. Les occlusions partielles des motifs produisent une grande diversité de fréquences spatiales qui s'organisent en loi de puissance dans le domaine des fréquences spatiales. Des modèles théoriques de ces lois de puissance ont donné lieu à de nombreuses études (voir [19] pour une synthèse récente). Nous proposons ici un module offrant la possibilité d'explorer les différents paramètres de processus fractals de type "feuilles mortes" pour la génération de motifs décoratifs. Le panneau de contrôle de notre logiciel permet de choisir la forme (figures géométriques diverses), le nombre et la taille des objets, leur rotation, de régler les paramètres de couleur en choisissant une teinte de référence, la dispersion des couleurs autour de cette teinte de référence, la saturation et la luminosité des couleurs, la transparence,

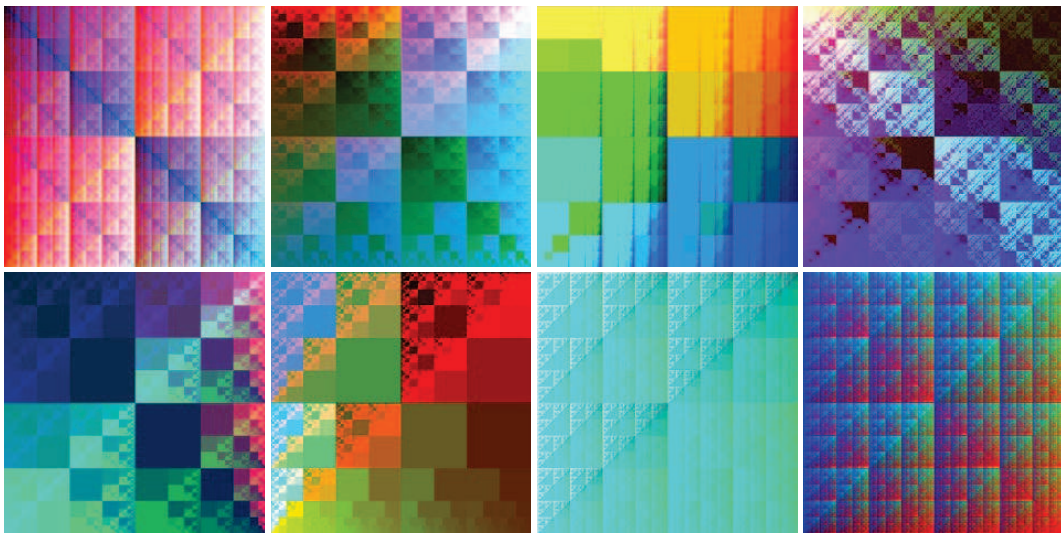


FIGURE 4 – Motif fractal de synthèse, généré selon le processus fractal de l'Éq. (5) qui est utilisé 3 fois de façon à réaliser 3 images qui constituent les 3 composantes rouge, vert, bleu de l'image.

etc. L'ensemble de ces paramètres permet de produire un large éventail de motifs comme l'atteste la Fig. 6. Les processus de “feuilles mortes” autorisent aisément la génération des motifs sans raccord, c'est-à-dire dont on ne distingue pas la jonction lorsqu'ils sont répétés de manière à former un pavage. Le principe de cette option que nous appelons “seamless” est le suivant. Nous affichons en tout 9 exemplaires de chaque forme, comme illustré sur la Fig. 5, pour former une continuité horizontale et verticale sur les quatre bords de l'image. Pour chaque forme  $f$ , nous positionnons cette forme aux coordonnées  $(x, y)$ , plus 8 autres copies aux coordonnées  $(x - w, y - h)$ ,  $(x, y - h)$ ,  $(x + w, y - h)$ ,  $(x - w, y)$ ,  $(x + w, y)$ ,  $(x - w, y + h)$ ,  $(x, y + h)$  et  $(x + w, y + h)$ , avec  $w$  la largeur et  $h$  la hauteur de l'image générée. Cette option est très utile dans le cadre de la génération de motifs décoratifs destinés au textile et à l'habillement. Des illustrations d'images générées avec le module “feuilles mortes” sont présentées sur la Fig. 6.

---

**Algorithme 1:** Construction d'un motif décoratif “seamless”

---

**Data :**  $F$  est l'ensemble des formes  $f$  du motif.

**begin**

```

 $w \leftarrow image.getWidth();$ 
 $h \leftarrow image.getHeight();$ 
for  $f \in F$  do
   $x \leftarrow f.getX();$ 
   $y \leftarrow f.getY();$ 
   $f.draw(x - w, y - h);$ 
   $f.draw(x, y - h);$ 
   $f.draw(x + w, y - h);$ 
   $f.draw(x - w, y);$ 
   $f.draw(x, y);$ 
   $f.draw(x + w, y);$ 
   $f.draw(x - w, y + h);$ 
   $f.draw(x, y + h);$ 
   $f.draw(x + w, y + h);$ 

```

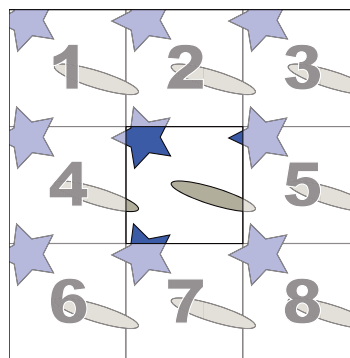


FIGURE 5 – Algorithme de la construction d'une image par processus de “feuilles mortes” avec l'option “seamless”.



FIGURE 6 – Motifs fractals de synthèse générés suivant un processus fractal de type “feuilles mortes” [19]. Les applications librement téléchargeables sur [1] sont programmées avec le logiciel libre “Processing” [16].

## 4 Application à la confection d’imprimés textiles

Un domaine d’application des propriétés fractales des images de synthèse que nous considérons est celui de la mode. Les imprimés textiles font souvent appel à des propriétés d’invariance par des symétries de types miroir, translation ou rotation. L’utilisation d’images aux propriétés fractales pour la réalisation d’imprimés textiles étendrait, d’une certaine façon, cette esthétique géométrique à une symétrie d’un autre type : une invariance à travers les échelles. Pour rendre accessible l’appréciation visuelle de nouvelles formes d’esthétique comme les propriétés fractales dans le domaine de la mode, le laboratoire LISA a développé un atelier logiciel Createx 3D qui offre la possibilité de générer automatiquement des motifs décoratifs, de les modifier et de les appliquer sur le vêtement d’un mannequin ou objet virtuel via des interfaces homme-machine ergonomiques utilisant de façon innovante une caméra infrarouge. Cet atelier intègre de nombreux modèles mathématiques permettant la génération de motifs : modèle IFS, modèle Mira-Gumowski, modèle Lace, diagramme de phase de Hénon, modèle Star Julia, modèle Twon Dragon, attracteur de Hénon, modèle de De Jong. . . L’atelier logiciel Createx 3D a été conçu de manière modulaire, pour permettre des évolutions sous la forme d’ajouts de nouveaux modules de génération d’images. Afin de contribuer au développement des outils de synthèse d’images fractales et multi-échelles, nous avons implanté les modèles fractals de type “feuilles mortes” dans Createx 3D comme le montre la Fig. 7. L’application de ces outils logiciels peut aller jusqu’à l’impression effective des motifs sur des tissus (comme visible sur la Fig. 1A) via un partenariat avec une plateforme technologique de prototypage rapide, la plateforme emode de Cholet [20] avec lequel le laboratoire LISA est couplé.

## Remerciement

Julien CHAUVEAU bénéficie du soutien de *La Communauté d’Agglomération du Choletais*, France.



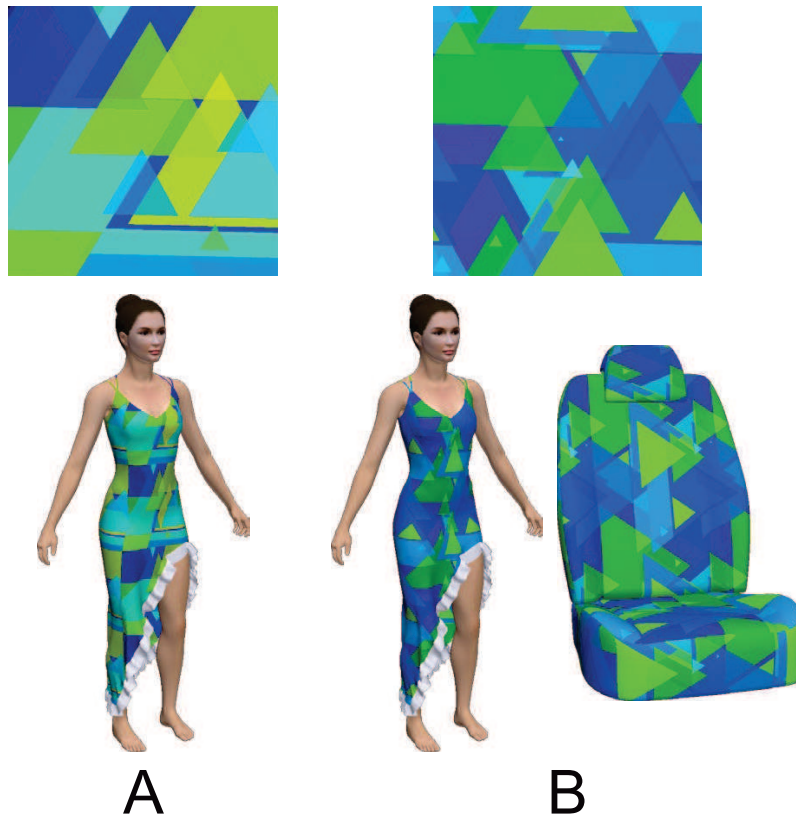


FIGURE 7 – Copie d’écran de l’atelier Createx 3D du laboratoire LISA montrant l’application de motifs fractals de type “feuilles mortes” sur des objets virtuels 3D sans l’option “seamless” en (A) où les formes triangulaires qui constituent le motif peuvent être tronquées et avec l’option “seamless” en (B) où l’on ne voit pas de discontinuités liées à la répétition du motif.

## Références

- [1] Site web dédié aux démonstrateurs proposés : [www.signal-image.net](http://www.signal-image.net)
- [2] J. Chauveau, D. Rousseau, and F. Chapeau-Blondeau, “Pair correlation integral for fractal characterization of three-dimensional histograms from color images”, in *Lecture Notes in Computer Science*, vol. LNCS 5099, pp. 200–208, Springer, Berlin, 2008.
- [3] F. Chapeau-Blondeau, J. Chauveau, D. Rousseau, and P. Richard, “Fractal structure in the color distribution of natural images”, *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 42, pp. 472–482, 2009.
- [4] J. Chauveau, D. Rousseau, and F. Chapeau-Blondeau, “Fractal capacity dimension of three-dimensional histogram from color images”, *Multidimensional Systems and Signal Processing*, vol. 21, pp. 197–211, 2010.
- [5] J. Chauveau, D. Rousseau, P. Richard, and F. Chapeau-Blondeau, “Fractal analysis tools for characterizing the colorimetric organization of digital image : Case study using natural and synthetic images”, in *International Conference on Computer Vision Theory and Applications*, (Angers, France), 17–21 May 2010.
- [6] M. Naud, P. Richard, F. Chapeau-Blondeau, and J.-L. Ferrier, “Automatic generation of aesthetic images for computer-assisted virtual fashion design”, in *Proceedings 10th Generative Art Conference*, (Milan, Italie), 12–14 Dec. 2007.



FIGURE 8 – Interface homme–machine permettant l’application de motifs sur un mannequin virtuel. Les actions se font par la détection automatique des mouvements des doigts de l’utilisateur capturés via la caméra infrarouge fixée en haut de l’écran.

- [7] ImageJ, Image Processing and Analysis in Java : <http://rsbweb.nih.gov/ij/>
- [8] M. F. Barnsley, *Fractals Everywhere*, Academic Press, New York, 1993.
- [9] N. Lu, *Fractal Imaging*, Academic Press, New York, 1997.
- [10] M. J. Turner, P. R. Andrews, and J. M. Blackledge, *Fractal Geometry in Digital Imaging*, Academic Press, New York, 1998.
- [11] D. L. Ruderman, “Origins of scaling in natural images”, *Vision Research*, vol. 37, pp. 3385–3398, 1997.
- [12] D. W. Dong and J. J. Atick, “Statistics of natural time-varying images”, *Network : Computation in Neural Systems*, vol. 6, pp. 345–358, 1995.
- [13] J. C. Russ, *The Image Processing Handbook*, CRC Press, Boca Raton, 1995.
- [14] Images couleur Kodak PhotoCD PCD0992 : <http://r0k.us/graphics/kodak/>
- [15] Color Inspector 3D, K. U. Barthel : <http://rsbweb.nih.gov/ij/plugins/color-inspector.html>
- [16] Processing, an open source programming language and environment for images, animation, and interactions : [www.processing.org](http://www.processing.org)
- [17] OpenCV (Open Computer Vision Library) : <http://opencvlibrary.sf.net/>
- [18] C. Portefaix, C. Cavaro-Ménard, and F. Chapeau-Blondeau, “Modelling of fractal images with iterated function systems : Moment matching, continuity of attractors”, in *Proceedings 3rd International Symposium on Physics in Signal and Image Processing*, (Grenoble, France), pp. 113–116, 28–31 Jan. 2003.
- [19] Y. Gousseau and F. Roueff, “Modeling occlusion and scaling in natural images”, *SIAM Journal of Multiscale Modeling and Simulation*, vol. 6, pp. 105–134, 2007.
- [20] Plateforme de prototypage rapide emode de Cholet : [www.emode.fr](http://www.emode.fr)