

L'interaction a pris une importance considérable dans certaines manifestations artistiques, au point d'acquérir le statut de performance. Ces performances sont présentées sous la forme d'interventions de l'artiste produisant son message en temps réel et en public. Certaines performances ont même introduit le public dans l'œuvre comme matériau passif (par exemple par la vidéo) ou comme concepteur. Le statut d'artiste est alors réduit (à l'essentiel ?) à celui qui a permis à d'autres d'accéder à la création artistique.

La suite de ce chapitre détaille deux approches à base de fourmis artificielles, dans le cadre de la production de peintures et de musique.

## 7.2. Des fourmis peintres

### 7.2.1. La génération de peintures par les fourmis

Les systèmes de peinture automatique qui s'inspirent, ou utilisent, des fourmis sont encore rares. Voici quelques travaux se rapportant à la production de peinture, ou d'image, par des agents-fourmis. Tout d'abord, nous pouvons citer le travail de E. Tzafestas [TZA 00], qui a utilisé des fourmis capables de ramasser et déposer de la peinture sur une image afin d'étudier l'émergence d'une forme de complexité, ainsi que le mécanisme de régulation qui se met en place dans ce cas. Avec des préoccupations plus artistiques, L. Moura et V. Ramos ont produit des peintures d'essaims<sup>3</sup> (*swarm paintings*) selon une approche qu'ils qualifient d'« art computationnel ». Ensuite, L. Moura, avec H. Garcia-Pereira, a poursuivi cette idée de « fabriquer les artistes qui fabriquent de l'art » (*Making the Artists that make the Art*) en utilisant une colonie de robots qui réagissent à leur environnement et aux modifications qu'ils y produisent en dessinant sur le sol [MOU 04]. P. Urbano a aussi étudié le rôle artistique que peuvent prendre les phéromones dans un système multi-agent [URB 05]. Enfin, G. Greenfield est reparti des travaux présentés dans ce chapitre. En particulier, il a étudié la question de l'évolution génétique des paramètres des fourmis [GRE 05]. Il a proposé une mesure d'évaluation (*fitness*) pour diriger automatiquement l'évolution des paramètres des peintures de fourmis, indépendamment de l'humain qui, comme nous le verrons dans la suite, a un rôle actif dans le cas de nos travaux.

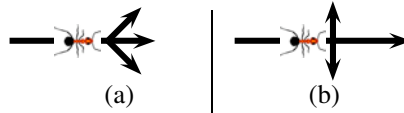
### 7.2.2. Description du modèle de fourmis pour la peinture

Dans ce travail sur la création de peintures par des fourmis, les fourmis artificielles sont des agents capables de se déplacer sur une image virtuelle. On peut aussi parler d'une toile virtuelle dont les pixels correspondent au grain d'une toile à peindre. Tout

---

3. <http://www.lxxl.pt/aswarm/aswarm.html>.

comme les fourmis réelles, qui déposent des phéromones sur le chemin qu'elles empruntent, les fourmis artificielles déposent des phéromones virtuelles. Contrairement aux phéromones naturelles, qui ne se voient pas, mais se sentent, les phéromones virtuelles utilisées correspondent à de la couleur, ou, si l'on préfère, de la peinture, déposée par les fourmis. Pour être précis, les fourmis se déplacent sur la toile de pixel en pixel et font des choix de mouvement de façon stochastique, tout en privilégiant une sorte de conservation de leur mouvement (pour donner une impression de mouvement « naturel »). Deux types de mouvements sont envisageables, suivant le voisinage que l'on autorise pour la fourmi : dans une configuration 4-voisins, la fourmi peut continuer son mouvement tout droit ou bien tourner à angle droit (à gauche ou à droite), et dans une configuration 8-voisins, la fourmi peut continuer son mouvement tout droit (cela ne change pas par rapport à l'autre mode de déplacement) et tourner légèrement (à gauche ou à droite). La figure 7.1 illustre ces deux modes de déplacement (que, par la suite, nous appellerons respectivement « mouvement droit » et « mouvement oblique »).



**Figure 7.1.** Exemples de mouvements possibles pour une fourmi :  
(a) mouvement oblique (noté  $D_o$ ), (b) mouvement (à angle) droit (noté  $D_d$ )

Afin de caractériser le mouvement d'une fourmi, trois paramètres sont utilisés pour définir ses choix : sa probabilité de tourner à gauche (notée  $P_g$ ), à droite (notée  $P_d$ ) et, de façon complémentaire, sa probabilité d'aller tout droit (notée  $P_t$ )<sup>4</sup>.

L'odeur déposée caractérise également une fourmi : comme il s'agit de peinture numérique, dans notre cas, la piste de phéromone déposée par une fourmi a une couleur définie par les composantes informatiques de la couleur<sup>5</sup>, à savoir la proportion de rouge ( $C_R$ ), de vert ( $C_G$ ) et de bleu ( $C_B$ ).

Si la modélisation des fourmis s'arrêtait ici, il n'y aurait pas lieu de parler de fourmis artificielles. Les fourmis que nous proposons sont donc capables de percevoir localement leur environnement, c'est-à-dire les odeurs-couleurs présentes dans les pixels voisins. En plus de la couleur qu'elle dépose, une fourmi est aussi caractérisée par une odeur qui l'attire (qui peut être totalement différente). Cette couleur d'attraction est également définie par les trois composantes RVB : ( $S_R, S_V, S_B$ ).

4. Notons que le caractère stochastique du mouvement d'une fourmi implique :  $P_g + P_d + P_t = 1$ .

5. On parle des composantes RVB de la couleur pour « rouge », « vert » et « bleu », qui sont, pour les trois composantes, des valeurs entières de  $\{0, \dots, 255\}$ .

A chaque pas, la fourmi inspecte son voisinage à la recherche de l'odeur qui l'attire. Pour déterminer si la couleur perçue par une fourmi correspond à la couleur qu'elle tente de suivre, nous avons introduit une distance simple entre deux couleurs, en nous basant sur un aspect de la perception que l'on peut avoir des couleurs : la luminance. Ainsi, une fourmi, pour reconnaître la couleur qu'elle cherche à suivre, compare les luminances des couleurs qu'elle rencontre. En dessous d'un seuil, paramétrable, la différence de luminance est considérée comme négligeable et la couleur-odeur est acceptée par la fourmi.

Nous avons utilisé la formule suivante pour le calcul de luminance :

$$\text{Lum}(R, G, B) = 0,242\,6 \cdot R + 0,715\,2 \cdot V + 0,072\,2 \cdot B, \quad (7.1)$$

où  $R$ ,  $V$  et  $B$  sont les composantes du pixel inspecté par la fourmi. La différence de luminance est alors :

$$\Delta(S_R, S_V, S_B, R, V, B) = |\text{Lum}(S_R, S_V, S_B) - \text{Lum}(R, V, B)|. \quad (7.2)$$

Par la suite, le seuil pour la valeur  $\Delta$ , calculée ci-dessus, a été fixé à 40.

Quand une fourmi a reconnu la couleur qu'elle cherche à suivre, elle a une probabilité  $P_s$  de suivre cette couleur (et donc de se déplacer sur le pixel qui la contient).

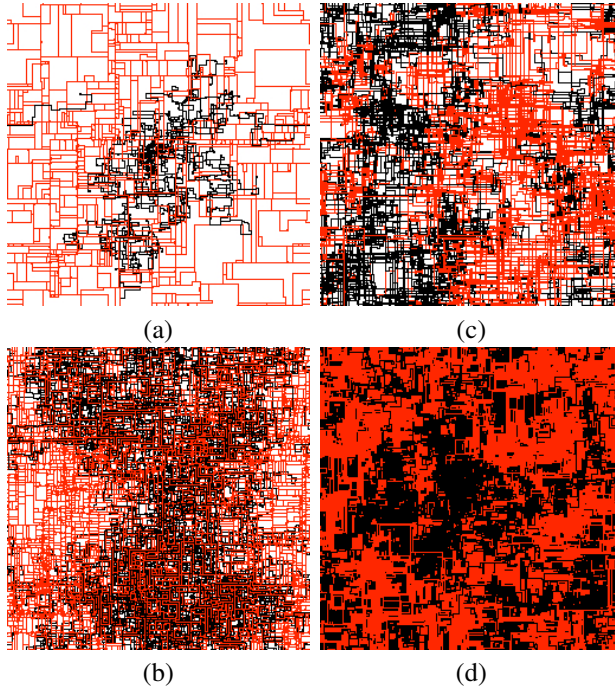
L'objectif de ce mécanisme de recherche d'une couleur particulière est d'introduire une compétition entre les fourmis, qui se traduit par une lutte, inconsciente, pour la meilleure représentation de sa couleur ( $C_R, C_V, C_B$ ), tout en recouvrant la couleur ( $S_R, S_V, S_B$ ).

Pour permettre un rendu plus varié, nous avons ajouté un paramètre de taille à chaque fourmi. Cette taille est utilisée pour la diffusion de l'odeur de la fourmi sur la toile. Une taille de 0 indique que la fourmi modifie la couleur du pixel où elle se trouve en y mettant la couleur ( $C_R, C_V, C_B$ ). Dans ce cas, cela signifie qu'il n'y a pas de diffusion sur les pixels voisins. Une taille de 1 provoque une diffusion (donc un mélange avec les odeurs déjà présentes) de l'odeur déposée par la fourmi. Pour traduire cette action, nous utilisons un produit de convolution discret, calculé sur les neuf pixels voisins (c'est-à-dire un pixel voisin, tout autour de la fourmi). Nous utilisons la matrice de convolution suivante :

$$M_c = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix}$$

Cette notion de taille de diffusion a été étendue jusqu'à trois : le produit de convolution est appliqué sur un voisinage de  $7 \times 7$  cases (c'est-à-dire trois pixels voisins, tout autour de la fourmi).

Enfin, l'environnement de déplacement des fourmis est toroïdal : la toile n'a pas de bord, quand les fourmis « sortent » d'un côté, elles réapparaissent sur le côté opposé. Cette technique nous permet d'afficher la peinture obtenue sous la forme d'une mosaïque sans séparations apparentes.



**Figure 7.2.** *Peintures obtenues avec deux fourmis et différents jeux de paramètres. Chaque fourmi est attirée par sa propre couleur : (a) après  $10^5$  itérations, et (b) après  $10^6$  itérations. Chaque fourmi est attirée par la couleur déposée par l'autre fourmi : (c) après  $10^5$  itérations, et (d) après  $10^6$  itérations.*

En résumé, pour une peinture de fourmis, il faut choisir les paramètres suivants :

- la taille de la toile (en pixels) ;
- le nombre de fourmis ;
- pour chaque fourmi :
  - la couleur déposée :  $(C_R, C_V, C_B)$ ,
  - la couleur suivie :  $(S_R, S_V, S_B)$ ,
  - les probabilités qui régissent le mouvement de la fourmi :  $(P_g, P_d, P_t)$ ,
  - le type de mouvement :  $D_o$  or  $D_d$ ,
  - la probabilité de suivre la couleur suivie (si elle est trouvée) :  $P_s$  ;
- le nombre d'itérations (c'est-à-dire le nombre de pas de chaque fourmi), mais c'est optionnel.

### 7.2.3. Résultats

Une fois les paramètres fixés, la simulation des déplacements de fourmis est lancée et le spectateur regarde la peinture se construire sur un écran (la vitesse des fourmis est paramétrable, sans que cela ne modifie les motifs construits). La simulation peut être interrompue, suspendue et relancée depuis le début (les positions initiales de différentes fourmis sont conservées).

Regardons quelques exemples simples (c'est-à-dire construits avec peu de fourmis). Prenons le cas de deux fourmis : une rouge et une noire (ou bien une claire et une foncée). Hormis la couleur déposée, les deux fourmis ont les mêmes paramètres de déplacement et cherchent à suivre leur propre couleur (figure 7.2a et figure 7.2b) ou bien la couleur de l'autre fourmi (figure 7.2c et figure 7.2d). On remarque bien l'effet de la compétition dans cette deuxième configuration : la surface est remplie beaucoup plus rapidement.

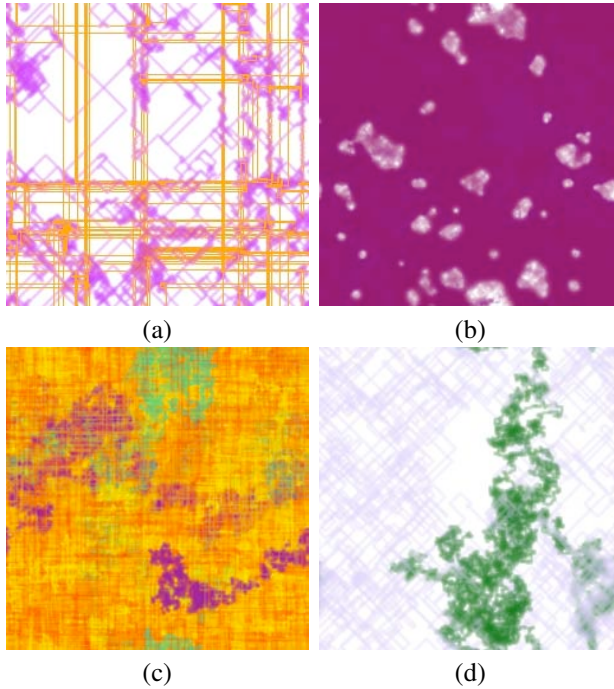
D'autres exemples sont donnés dans la figure 7.3 et les paramètres utilisés pour les produire sont dans le tableau 7.1.

fourmi	couleur déposée ( $C_R, C_V, C_B$ )	couleur suivie ( $S_R, S_V, S_B$ )	probabilités de mouvement ( $P_g, P_r, P_l$ )	type de mouvement $D_{d o}$	probabilité de suivi $P_s$
Exemple 7.3(a)					
1	(192, 0, 255)	(255, 155, 3)	(0.04, 0.95, 0.01)	$D_d$	0.7852
2	(255, 155, 3)	(76, 68, 181)	(0.01, 0.98, 0.01)	$D_d$	0.8409
Exemple 7.3(b)					
1	(145, 0, 94)	(145, 0, 94)	(0.24, 0.73, 0.03)	$D_d$	0.99
2	(132, 0, 114)	(132, 0, 114)	(0.27, 0.68, 0.05)	$D_d$	0.99
Exemple 7.3(c)					
1	(5, 211, 149)	(255, 12, 0)	(0.80, 0.10, 0.10)	$D_d$	0.80
2	(145, 11, 149)	(255, 12, 0)	(0.80, 0.10, 0.10)	$D_o$	0.80
3	(255, 204, 0)	(255, 255, 0)	(0.01, 0.98, 0.01)	$D_d$	0.75
4	(255, 255, 0)	(255, 204, 0)	(0.01, 0.98, 0.01)	$D_d$	0.75
5	(255, 153, 0)	(255, 204, 0)	(0.01, 0.98, 0.01)	$D_o$	0.75
6	(255, 51, 0)	(255, 255, 0)	(0.01, 0.98, 0.01)	$D_d$	1.00
Exemple 7.3(d)					
1	(14, 108, 15)	(210, 193, 253)	(0.18, 0.40, 0.42)	$D_d$	0.67
2	(210, 193, 253)	(14, 108, 15)	(0.08, 0.01, 0.91)	$D_d$	0.81

**Tableau 7.1.** Paramètres des fourmis pour les peintures de la figure 7.3

En écartant momentanément l'aspect esthétique des résultats obtenus, on remarque que la construction collective et dynamique des peintures montre bien la compétition qui s'opère entre les couleurs déposées par les fourmis. Chaque fourmi tente de remplacer la couleur, déposée par une de ses rivales, par sa propre couleur. Nous pouvons

observer l'influence des valeurs des paramètres sur l'efficacité des fourmis dans ce combat. Prenons, par exemple, le cas de la peinture 7.3d, élaborée avec deux fourmis. On constate que la fourmi de couleur foncée a couvert une surface beaucoup plus faible (pour le même nombre d'itérations). En effet, dans les paramètres respectifs de ces deux fourmis (tableau 7.1), on constate que la fourmi de couleur claire a une stratégie plus agressive, avec une probabilité très forte de suivre l'autre couleur, si elle se présente à elle.



**Figure 7.3.** *Peintures obtenues avec différents jeux de paramètres*

Enfin, l'aspect dynamique de la construction est intéressant d'un point de vue visuel, mais ne peut pas être retranscrit dans ce chapitre !

### 7.3. Evolution interactive des peintures de fourmis

Comme nous l'avons présenté, une peinture de fourmis nécessite de nombreux paramètres. Nous présentons, dans cette section, un moyen d'impliquer l'utilisateur, sans lui demander de maîtriser, dans le détail, des réglages de la méthode.

## 7.6. Bibliographie

- [BEN 01] BENTLEY P., CORNE D., *Creative Evolutionary Systems*, Morgan Kaufmann, 2001.
- [BIL 94] BILES J. A., « GenJam : A genetic algorithm for generating jazz solos », *International Computer Music Conference (ICMC'94)*, The Computer Music Association, 1994.
- [BLA 04] BLACKWELL T., YOUNG M., « Swarm granulator », *2nd European Workshop on Evolutionary Music and Art (EvoMUSART2004)*, Coimbra, Portugal, Springer, 2004.
- [BON 99] BONABEAU E., DORIGO M., THERAULAZ G., *Swarm Intelligence : From Natural to Artificial Systems*, Oxford University Press, 1999.
- [CLA 08] CLAIR R., MONMARCHÉ N., SLIMANE M., « Interactions between an artificial colony of musical ants and an impaired human composer : towards accessible generative arts », *XI Generative Art Conference*, Milan, Italie, 16-18 décembre 2008.
- [COL 92] COLLINS R., JEFFERSON D., « AntFarm : Towards Simulated Evolution », C. Langton, C. Taylor, J. Farmer, S. Rasmussen (dir.), *Proceedings of the workshop on Artificial Life II*, vol. 10, p. 579–601, Addison-Wesley, 1992.
- [DAW 86] DAWKINS R., *The Blind Watchmaker*, Longman, Harlow, 1986.
- [DOR 96] DORIGO M., MANIEZZO V., COLONI A., « The Ant System : Optimization by a colony of cooperating agents », *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Part B : Cybernetics*, vol. 26, n° 1, p. 29–41, 1996.
- [GRE 05] GREENFIELD G., « Evolutionary Methods for Ant Colony Paintings », F. Rothlauf, J. Branke, S. Cagnoni, D. Corne, R. Drechsler, Y. Jin, P. Machado, E. Marchiori, J. Romero, G. Smith, G. Squillero (dir.), *Applications on Evolutionary Computing : EvoWorkshops 2005 : EvoBIO, EvoCOMNET, EvoHOT, EvoIASP, EvoMUSART, and EvoSTOC*, vol. 3449 de *Lecture Notes in Computer Science*, p. 478–487, Lausanne, Suisse, 30 mars-1 avril 2005.
- [HEM 99] VAN HEMERT J., EIBEN A., « Mondriaan Art by Evolution », E. Postma, M. Gysens (dir.), *Proceedings of the Eleventh Belgium/Netherlands Conference on Artificial Intelligence (BNAIC'99)*, p. 291–292, Kasteel Vaeshartelt, Maastricht, Pays-Bas, 3-4 novembre 1999.
- [HOL 75] HOLLAND J., *Adaptation in natural and artificial systems*, University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [MCC 96] McCORMACK J., « Grammar Based Music Composition in Complex Systems 96 : From Local Interactions to Global Phenomena », *Complex Systems*, p. 320–336, ISO Press, Amsterdam, 1996.
- [MIC 96] MICHALEWICZ Z., *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Springer-Verlag, 1996.
- [MIR 07] MIRANDA E. R., BILES J. A., *Evolutionary Computer Music*, Springer-Verlag, 2007.
- [MON 07] MONMARCHÉ N., MAHNICH I., SLIMANE M., « Artificial Art made by Artificial Ants », J. Romero, P. Machado (dir.), *The Art of Artificial Evolution : A Handbook on Evolutionary Art and Music*, Natural Computing Series, p. 227–247, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.

- [MOU 04] MOURA L., GARCIA PEREIRA H., *Man + Robots : Symbiotic Art*, Institut d'art contemporain, Villeurbanne, 2004.
- [ROM 07] ROMERO J., MACHADO P., *The Art of Artificial Evolution : A Handbook on Evolutionary Art and Music*, Natural Computing Series, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2007.
- [RON 99] RONALD E., SIPPER M., CAPCARRÈRE M., « Testing for Emergence in Artificial Life », D. Floreano, J. Nicoud, F. Mondana (dir.), *Proceedings of the Fifth European Conference on Artificial Life (ECAL)*, p. 13–20, Springer-Verlag, Heidelberg, 1999.
- [ROO 01] ROOT-BERNSTEIN R., « Music, Creativity and Scientific Thinking », *Leonardo*, vol. 34, n° 1, p. 63–68, 2001.
- [TAK 01] TAKAGI H., « Interactive evolutionary computation : fusion of the capabilities of EC optimization and human evaluation », *Proceedings of the IEEE*, vol. 89, p. 1275–1296, septembre 2001.
- [TZA 00] TZAFESTAS E. S., « Integrating drawing tools with behavioral modeling in digital painting », *Proceedings of the 1st International Workshop « Bridging the gap : Bringing together new media artists and multimedia technologists »*, Los Angeles, CA, novembre 2000.
- [URB 05] URBANO P., « Playing in the Pheromone Playground : Experiences in Swarm Painting », F. Rothlauf, J. Branke, S. Cagnoni, D. Corne, R. Drechsler, Y. Jin, P. Machado, E. Marchiori, J. Romero, G. Smith, G. Squillero (dir.), *Applications on Evolutionary Computing : EvoWorkshops 2005 : EvoBIO, EvoCOMNET, EvoHOT, EvoIASP, EvoMUSART, and EvoSTOC*, vol. 3449 de *Lecture Notes in Computer Science*, p. 527–532, Lausanne, Suisse, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 30 mars-1 avril 2005.
- [XEN 81] XENAKIS I., *Musiques formelles : nouveaux principes formels de composition musicale*, Stock, Paris, 1981.