

# Quand la complexité se trouve dans la graphique : Un outil pédagogique pour la vie artificielle

Elpida TZAFESTAS\*

*Intelligent Robotics and Automation Laboratory  
Electrical and Computer Engineering Department  
National Technical University of Athens  
Zographou Campus, Athens 15773, GREECE.  
brensham@softlab.ece.ntua.gr  
<http://www.softlab.ece.ntua.gr/~brensham>*

**Résumé.** Cet article présente un outil pédagogique pour la vie artificielle, et plus particulièrement spécialisé dans les principes de régulation. L'outil, surnommé PainterAnts, a deux aspects complémentaires : premièrement, il est destiné aux artistes et, deuxièmement, il introduit une problématique selon laquelle la complexité se trouve dans la graphique, c'est-à-dire la complexité est une propriété de l'image qui en résulte. Cet arrangement nous permet, d'une part d'observer la complexité directement sur l'image et non pas par l'intermédiaire d'un outil de visualisation d'une variable qui exprime la complexité, et d'autre part, de mettre en valeur l'expérience visuelle ainsi que la motivation des utilisateurs/sujets du système, qui sont des artistes. Le problème de régulation traité est une transcription directe d'un problème de régulation de fourmis artificielles selon notre problématique de complexité graphique. Comme nous avons pu l'observer, les artistes montrent un intérêt et un goût d'expérimentation élevé, qui est partiellement dû au fait qu'ils regardent souvent le système comme un outil simple d'art abstrait, pouvant produire des formes intéressantes. À un deuxième niveau d'observation nous constatons qu'un utilisateur peut créer un modèle fonctionnel de la complexité et l'utiliser, sans vraiment la comprendre.

---

\* Également avec: Digital Art Laboratory, Athens School of Fine Arts, Peiraios 256, 18233 Agios Ioannis Rentis, GREECE. tzafesta@asfa.gr, <http://www.asfa.gr/~tzafesta>

## 1. Introduction

Dans le cadre d'un programme d'enseignement de troisième cycle d'art et science, nous avons créé un ensemble d'outils pédagogiques pour la vie artificielle et les sciences de la complexité. Ces outils informatiques constituent un laboratoire pédagogique utilisé comme supplément des cours théoriques et contiennent entre autres une implémentation des biomorphes (Dawkins 1987) et une implémentation des véhicules (Braitenberg 1984). Nous présentons ensuite l'outil surnommé "PainterAnts" qui utilise un modèle de fourmis artificielle (Tzafestas 1998) comme modèle de base d'une fourmis-peintre.

Avec cet outil nous introduisons une problématique selon laquelle la complexité se trouve dans la graphique, puisque les effets émergeant des actions des agents-peintres se voient sur le résultat de la peinture, c'est-à-dire sur l'image qui en résulte. Cet arrangement nous permet d'observer la complexité directement sur l'image et non pas par l'intermédiaire d'un outil de visualisation d'une variable qui exprime la complexité. D'autre part, nous mettons ainsi en valeur à la fois l'expérience visuelle des utilisateurs/sujets du système, qui sont des artistes, et leur motivation d'expérimenter avec des formes graphiques complexes.

Une autre caractéristique de notre problématique est que la complexité se présente sur l'image non seulement grâce à l'émergence de formes temporaires, mais également grâce à toute l'histoire de l'interaction de l'utilisateur avec le système. C'est précisément cette caractéristique qui incite les utilisateurs-artistes à utiliser le système comme un vrai outil d'expression artistique. Cependant le but du système reste d'enseigner les principes de la vie artificielle à travers des formes graphiques, plutôt que d'exploiter la complexité pour produire des formes artistiques.

Dans un cadre plus général, l'enseignement de la vie artificielle à l'aide d'outils graphiques nous permet de mettre l'utilisateur à la place d'un modélisateur externe qui essaye de comprendre l'opération d'un système en élaborant un modèle de lui. Dans ce sens, notre travail vise à plus long terme à étudier la relation entre une réalité artificielle et les modèles que les êtres humains en déduisent.

## 2. Un modèle de régulation

Le modèle d'agent-peintre est directement inspiré d'un modèle d'agent-fourmis qui ramasse des échantillons de nourriture et les ramène à une base. Étant donné qu'il existe généralement plusieurs sources assez larges de nourriture, la solution au problème de ramassage de nourriture est de permettre aux agents-fourmis de déposer et ramasser des morceaux d'une autre substance (des "miettes") qui sert à la communication entre agents (Steels 1990) et qui ressemble aux phéromones utilisées par les vraies fourmis.

Dans (Tzafestas 1998) nous avons étudié le modèle de (Ferber & Drogoul 1992) et nous avons démontré que la solution naïve souffre d'une limitation physique qui peut être dépassée si l'on introduit un mécanisme d'autorégulation de la quantité des miettes. À un deuxième niveau, l'autorégulation des paramètres de régulation donne des meilleures performances que celles que l'on obtient avec des paramètres fixes. Ce modèle a été transcrit en remplaçant la variable "miettes" par une variable "couleur", de façon qu'un agent-peintre dépose ou ramasse une quantité de couleur tout en cherchant à ramener de nourriture à sa base. Nous supposons que chaque position du monde a une couleur qui peut être modifiée au cours de l'exécution. Nous décrivons ensuite ce modèle en détail.

### *Données et image de l'agent-peintre*

- L'agent possède une variable interne du type "couleur" (composantes R,V,B)
- L'agent a une image fixe d'une des sept couleurs saturées (rouge, vert, bleu, jaune, violet, bleu ciel et blanc). Les agents sont initialisés avec la même couleur que leur image, mais la couleur peut changer au cours de l'exécution, tandis que l'image ne change pas.
- L'agent peut transporter un morceau de nourriture au maximum.
- L'agent "connaît" sa base, avec laquelle il a la même couleur initialement, et peut s'orienter vers elle. Il existe autant de bases que de couleurs d'images (rouge, vert, bleu, jaune, violet, bleu ciel et blanc).
- L'agent peut percevoir sa nourriture d'une distance de trois pas et peut s'orienter vers elle.

### *Modèle comportemental de base (modèle de mouvement et d'action)*

```
SI (l'agent transporte un morceau de nourriture)
{
```

```

SI (l'agent se situe sur sa base (*)), il se
    décharge (le morceau disparaît du monde)
SINON il s'oriente vers sa base
L'agent dépose de couleur
    (*) La base avec la même couleur que l'image de
        l'agent
}
SINON
{
    SI (l'agent se situe sur un morceau de nourriture)
        l'agent se charge (il prend un morceau)
    SINON l'agent suit le stimulus de la nourriture
        s'il en existe un, sinon il se déplace au
        hasard
    L'agent ramasse de couleur
}

```

### ***Modèle cognitif et adaptatif (modèle de traitement de couleur)***

Il constitue le coeur du système et la partie transcrite du modèle de (Tzafestas 1998). Il existe trois variations de ce modèle.

- Modèle sans contrainte

<b><i>Action</i></b>	<b><i>Implémentation</i></b>
Déposer de couleur	Ajouter à la couleur de sa position une quantité fixe de couleur, jusqu'à la saturation de la couleur de cette position (saturation d'une des composantes R,V,B)
Ramasser de couleur	Soustraire à la couleur de sa position une quantité fixe de couleur, jusqu'à la disparition de la couleur de cette position (mise d'une des composantes R,V,B à 0)

- Modèle avec des limites

<b><i>Action</i></b>	<b><i>Implémentation</i></b>
Déposer de couleur	Ajouter à la couleur de sa position une quantité fixe de couleur, jusqu'à la saturation de la couleur de cette position (saturation d'une des composantes R,V,B) <b>ou jusqu'à la disparition de sa propre couleur (mise d'une des composantes R,V,B à 0)</b>
Ramasser de couleur	Soustraire à la couleur de sa position une quantité fixe de

	couleur, jusqu'à la disparition de la couleur de cette position (mise d'une des composantes R,V,B à 0) ou jusqu'à la saturation de sa propre couleur (saturation d'une des composantes R,V,B à 0)
--	---

- **Modèle auto-régulé**

<i>Action</i>	<i>Implémentation</i>
Déposer de couleur	Ajouter à la couleur de sa position une <b>proportion fixe</b> de sa couleur, jusqu'à la saturation de la couleur de cette position (saturation d'une des composantes R,V,B) ou jusqu'à la disparition de sa propre couleur (mise d'une des composantes R,V,B à 0)
Ramasser de couleur	Soustraire à la couleur de sa position une <b>proportion fixe</b> de la couleur qu'il peut recevoir, jusqu'à la disparition de la couleur de cette position (mise d'une des composantes R,V,B à 0) ou jusqu'à la saturation de sa propre couleur (saturation d'une des composantes R,V,B à 0)

***Modèle de la logique d'adaptation***

Il se réfère au modèle adaptatif et veut modéliser des agents ayant un comportement défectif ou trompeur. Il existe trois variations de ce modèle.

- **Modèle rationnel** Dépose et ramasse de couleur
- **Modèle irrationnel 1** Ramasse de couleur, mais n'en dépose pas
- **Modèle irrationnel 2** Dépose de couleur, mais n'en ramasse pas

***Modèle "social" (filtrage de l'information du monde)***

Il se réfère à la relation d'un agent avec son environnement social (les autres agents), qui se fait par l'intermédiaire de la couleur. Il existe deux variations de ce modèle.

- **Modèle égoïste** Dépose et ramasse seulement la couleur de son image (l'agent bleu dépose et ramasse seulement du bleu, l'agent vert dépose et ramasse seulement du vert etc.)

- Modèle coopératif Dépose et ramasse toute couleur (c'est-à-dire toutes les trois composantes, rouge, vert, bleu)

### 3. Le logiciel

Le logiciel a été développé en Java à base du logiciel RAGS (Recursive Agents Simulator), qui est un outil de simulation et d'expérimentation en vie artificielle, dont le précurseur a été présenté dans (Tzafestas 1995). Ce logiciel permet la définition de classes d'agents composés eux-mêmes d'autres agents et la simulation de systèmes d'agents ainsi récursifs. Le système permet également la définition de mondes avec des propriétés spatiales différentes et la définition d'observateurs de nature statistique (par exemple, des courbes de résultats). Outre ces fonctionnalités, le système comprend un ensemble d'interfaces qui peuvent être évoquées automatiquement et dynamiquement lors de l'opération et qui permettent l'exécution de la simulation, l'édition et/ou traitement de toutes les composantes de la simulation (agents, monde, observateurs etc.), ainsi qu'un ensemble limité de fonctions de programmation graphique.

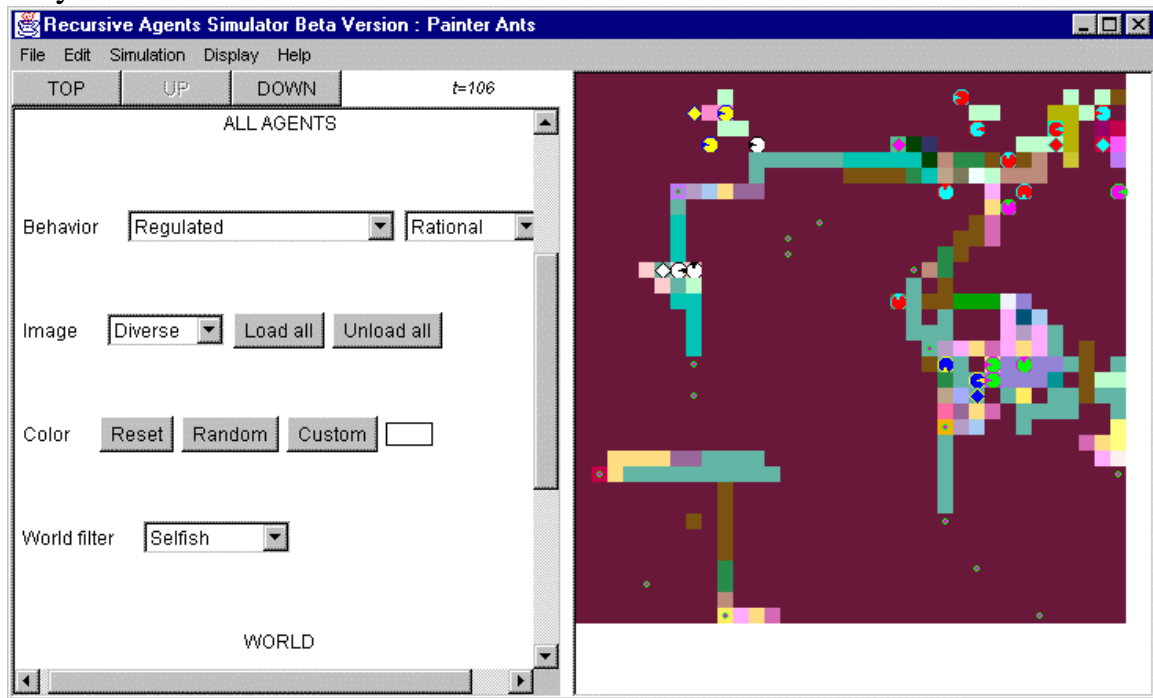
L'interface centrale du système est visualisée dans la figure 1 et comprend deux parties : une partie de visualisation de la simulation ou la *vue de système* (partie de droite) et une partie d'édition et de traitement ou le *tableau de contrôle* (partie de gauche).

L'utilisateur peut modifier les paramètres des agents depuis le tableau de contrôle ou depuis des dialogues spécialisés qui apparaissent avec le double-click sur un agent. Dans les deux cas, l'utilisateur peut modifier la couleur interne de l'agent, soit en la remettant à la couleur qui correspond à son image (commande "reset"), soit en définissant les valeurs des trois composantes R, V, B, soit enfin en choisissant une couleur au hasard.

Le tableau de contrôle permet également la modification des autres paramètres de simulation et du monde dans lequel les agents se déplacent :

- Visibilité ou transparence des agents et/ou des divers objets du monde (bases, nourriture, obstacles)
- Visibilité ou transparence des trois composantes de couleur (R, V, B)
- Introduction ou suppression de nourriture
- Modification de la couleur de fond
  - Soit définition d'une couleur unique de fond pour toutes les positions
  - Soit remplacement ou superposition de couleur

Enfin, le menu de la vue de système permet, outre les actions de base qui sont décrites dans l'aide du système, l'introduction d'un obstacle ou la modification de la couleur de la position courante et la sauvegarde de la vue de système.



*Figure 1. Interface centrale de "Painter Ants"*

#### **4. La démarche pédagogique**

La question posée aux étudiants-artistes a été formulée comme suit :

*Étudiez et comparez les différents modèles d'agents dans des conditions environnementales diverses, avec ou sans diversité au niveau du modèle.*

*Les observations qualitatives doivent être accompagnées d'un ensemble d'images sélectionnées prises avec différentes valeurs des paramètres et dans des configurations spatiales différentes. Maintenez un fichier d'actions et de modifications pour chaque image.*

**Suggestion.** *Étudiez comparativement les modèles dans un monde de couleur initiale saturée ou aléatoire.*

Le but du travail des étudiants était de comprendre l'opération du système multi-agents et les effets individuels de chacune des variantes du modèle de régulation. Autour de ce but central lié au contenu du cours en vie artificielle, nous avons vu émerger trois buts satellites méthodologiques :

- ***Apprendre à expérimenter.*** Les artistes ayant pratiquement aucune formation scientifique de base, ils avaient tendance à jouer partout dans le système sans aucune notion d'organisation d'observation et d'expérimentation. Dans un premier temps, il a été alors nécessaire de leur faire suivre certains protocoles prédéfinis d'expérimentation. Dans un deuxième temps, la version suivante du même outil comportera un ensemble d'expériences prédéfinies et de protocoles assortis. Ce besoin ayant été identifié, il deviendra ensuite nécessaire de définir clairement dans un langage informatique la notion et la structure de l'expérience.
- ***Apprendre à observer.*** Une fois le problème d'expérimentation résolu, il a été constaté qu'il est encore plus difficile aux étudiants de se concentrer à l'examen détaillé des résultats visuels d'une expérience, par exemple pour la comparaison de deux images, et la déduction de résultats qualitatifs raisonnables. Le maintien de fichiers de modifications ainsi qu'une possibilité très limitée d'enregistrement des opérations de l'utilisateur ont permis aux étudiants de compléter quelques observations qualitatives. Notre but à moyen terme est d'introduire dans le système une composante de définition de la méthode d'observation par l'utilisateur, par exemple comparer les résultats après mille pas d'exécution. Cette composante doit être une composante de programmation graphique reposant sur le même langage de description mentionné auparavant.
- ***Apprendre à apprendre.*** Finalement, même après avoir complété de longues séries d'expériences et après avoir observé les similarités et les différences entre elles, une grande partie des utilisateurs restaient indifférents à la relation entre un modèle et un résultat. Ce qui manque à une telle démarche est précisément la participation de l'utilisateur qui doit avoir une motivation élevée d'apprentissage. Dans une perspective future, nous considérons introduire dans le système des critères d'opération spécialisées, de façon que les utilisateurs de différentes catégories auront de motivations différentes mais également élevées pour l'utiliser et apprendre les principes de la vie artificielle, par exemple demander aux artistes des questions du type "Que peut-on faire sur une forme cubiste ?".

Malgré ces problèmes méthodologiques, nous avons constaté que les artistes sont finalement arrivés à établir avec ce système une relation stable d'utilisateur, même sans avoir bien compris ou évalué les mécanismes de régulation sous-jacents :

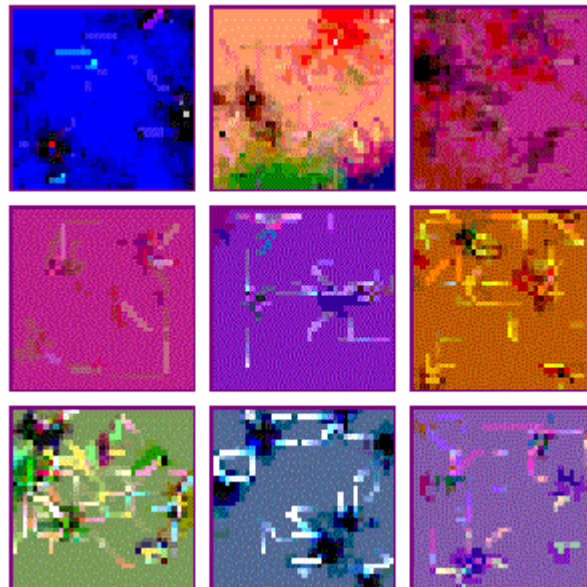
- ***Apprendre à utiliser.*** Les artistes adoptent une position d'utilisateur-explorateur qui commence à faire manipuler et évoluer une forme (en



manipulant les paramètres du système) un peu au hasard, ensuite il se stabilisent autour de quelques formes créées et sélectionnées selon des critères idiosyncratiques et sont prêts à tout moment à abandonner la forme en question et reprendre dès le début si la forme ne les satisfait pas. Au lieu d'apprendre à expérimenter avec le système et l'observer, les artistes apprennent donc à l'utiliser comme un outil de manipulation de forme artistique, sans pouvoir le contrôler et encore sans chercher à le contrôler.

- ***Vouloir modifier le système.*** Après avoir acquis de l'expérience avec le système, les artistes commencent à vouloir créer des formes similaires à celles déjà créées et se mettent à chercher aveuglément le paramétrage nécessaire pour ce faire. C'est à ce point-là que nous sommes intervenus pour poser la question "Comment êtes-vous sûr que cette forme à laquelle vous pensez existe et peut être créée avec le système?". C'est alors à ce point-là, que les artistes commencent à vouloir vraiment apprendre ce que le système fait, c'est-à-dire à caractériser et comprendre l'éventail des formes auxquelles le système peut donner naissance. Comme conséquence directe de ce fait, les artistes arrivent finalement à vouloir modifier le système selon leurs goûts, même si la relation de la forme résultante et du modèle correspondant n'est toujours pas appréciée.

## 5. Résultats visuels



**Figure 2.** Quelques images prises avec "Painter Ants"  
(<http://www.softlab.ece.ntua.gr/~brensham/PainterAnts/>)

Nous présentons dans ce paragraphe quelques images prises avec le système dans de diverses configurations initiales des paramètres (fig. 2). Les agents, les bases et les autres objets sont transparents.

	Colonne 1	Colonne 2	Colonne 3
<b>Ligne 1</b>	Modèle sans contrainte dans un monde de couleur initiale saturée (bleu)	Modèle sans contrainte dans un monde de couleur initiale aléatoire	
<b>Ligne 2</b>	Modèle avec des limites dans un monde de couleur initiale aléatoire	Modèle auto-régulé dans un monde de couleur initiale aléatoire	
<b>Ligne 3</b>	Interaction de modèles	Modèle auto-régulé dans un monde de couleur initiale aléatoire	

Nous présentons également quelques observations qualitatives sur les résultats, qui appartiennent à la leçon de régulation que nous voulons enseigner :

- Le modèle sans contrainte conduit à *l'épuisement* des couleurs du monde, c'est-à-dire à un monde tout noir (puisque les agents ramassent de couleur beaucoup plus fréquemment qu'ils en déposent). Les traces colorées qui apparaissent autour des bases sont les seuls témoins de complexité et se dissipent petit à petit.
- Le modèle avec des limites donne des traces uniformes en couleur, mais il conduit lui aussi à *l'épuisement* des couleurs du monde comme le modèle précédent.
- Le modèle auto-régulé donne des traces continues qui montrent des effets de gradation dûs à la présence des facteurs proportionnels à la dynamique de la couleur et conduit à un *équilibre dynamique* de la couleur tel que la quantité totale de couleur (monde et agents) demeure constante.
- Notons que dans les trois cas une couleur initiale aléatoire donne des résultats beaucoup plus intéressants qu'une couleur initiale saturée (une des sept couleurs de base), ce qui peut être expliqué comme un effet de la différence entre agents et monde : plus cette différence est grande, plus le tableau devient complexe et alors intéressant.
- Notons également que ces effets sont légèrement amplifiés dans le cas du modèle coopératif au lieu du modèle égoïste par défaut : par exemple, le monde se noircit très rapidement pour le modèle sans ou avec contrainte et pour une couleur initiale saturée du monde.

- Nous avons donc intérêt à adopter un modèle auto-régulé si nous voulons rester dans une condition d'équilibre dynamique, et ceci avec un modèle égoïste plutôt qu'un modèle coopératif, afin de retarder les effets évolutifs du système et le stabiliser. Les deux autres modèles, le modèle sans contrainte et le modèle avec des limites, donnent des résultats qui convergent vers une situation stable et uniforme (toute l'image devient noire).
- Les variations paramétriques ainsi que la diversité au niveau du modèle induisent encore plus de complexité sur l'image du système par rapport au cas d'un système d'agents uniformes ou initialement identiques.

## 6. Conclusion

Nous avons présenté un outil pédagogique pour la vie artificielle destiné aux artistes, qui introduit une problématique selon laquelle la complexité se voit directement sur l'image du système comme une dynamique de couleurs qui induit de la variation. L'outil, surnommé PainterAnts, est basé sur un modèle de régulation de fourmis. Notre expérience avec ce système montre que les artistes apprennent à l'utiliser comme un outil artistique sans vraiment comprendre sa fonctionnalité. D'autre part, notre expérience révèle les points méthodologiques qui doivent être abordés avant d'essayer de généraliser le système.

## 7. Références

- Braitenberg, V. (1984) *Vehicles – Experiments in Synthetic Psychology*, Bradford/MIT Press.
- Dawkins, R. (1987) The evolution of evolvability, *Artificial Life, Proceedings of an Interdisciplinary Workshop on the Synthesis and Simulation of Living Systems*, Los Alamos, September 1987, Addison-Wesley Publishing, pp. 201-220.
- Drogoul, A. & Ferber, J. (1992) From Tom Thumb to the Dockers : Some experiments with foraging robots. *Proceedings Simulation of Adaptive Behavior 1992*, pp. 451-459.
- Steels, L. (1990) Towards a theory of emergent functionality. *Proceedings Simulation of Adaptive Behavior 1990*, 451-461.

- Tzafestas, E. (1995) *Vers une systématique des agents autonomes : Des cellules, des motivations et des perturbations*, Thèse de Doctorat, LAFORIA-IBP, Univ. Pierre et Marie Curie, Paris, LAFORIA TH96/05.
- Tzafestas, E. (1998) Tom Thumb robots revisited : Self-regulation as the basis of behavior, *Proceedings International Conference on Artificial Life VI*, San Diego, CA, June.