

RESOLUTION COLLECTIVE DU PROBLEME DE SEGMENTATION

DJEROU LEILA⁽¹⁾, BATOCHE MOHAMED⁽²⁾

⁽¹⁾Université de Biskra
ldjerou@yahoo.fr

⁽²⁾Université de Constantine
Batouche@yahoo.fr

RESUME

L'un des buts de l'intelligence collective est la conception de systèmes artificiels adaptatifs, décentralisés, flexibles et robustes inspirés des phénomènes collectifs en biologie et qui soient capables de résoudre des problèmes. Plusieurs modèles inspirés des insectes sociaux ont été élaborés et utilisés pour effectuer la résolution de problème. Chez les insectes sociaux, le comportement collectif qui émerge des comportements simples des individus est nommé intelligence en essaim.

Dans ce papier nous proposons une approche pour segmenter une image, en suivant le principe de l'incrémentalité ; les régions sont construites à partir du modèle incrémental de croissance de région, mais selon une direction de vie artificielle, en cherchant à mettre en œuvre une flexibilité plus grande. Nous allons adapter une des technologies clés de la vie artificielle qui est basée sur les techniques d'intelligence en essaim, et employer une grande population d'agents simples de faible granularité qui coordonnent leurs activités avec des interactions stigmergiques. En utilisant la phéromone artificielle, les agents s'organisent dynamiquement autour des régions homogènes. L'approche a été appliquée sur quelques images les résultats sont encourageants.

MOTS CLES : Segmentation d'image, Vie artificielle, Emergence, Intelligence en essaim, Stigmergie, Phéromone, Agents réactifs.

1 INTRODUCTION

La segmentation d'images est une étape importante dans la plus part des systèmes de vision, elle peut être définie comme un traitement de bas niveau qui consiste à créer une partition de l'image en sous-ensembles, appelés régions. Une région est un ensemble connexe de points image (pixels) ayant des propriétés communes (intensité, texture, ...) qui les différencient des pixels des régions voisines [9]. Plusieurs courants de pensée existent dans ce domaine [4], la vie artificielle est un de ces courant

La recherche dans la vie artificielle lie la biologie et le domaine informatique. Mais, elle s'inspire aussi de la physique, la chimie, l'économie et la philosophie. Chris Langton qui est un de ses partisans principaux, définit la recherche dans la vie artificielle comme étant un domaine d'étude destiné à abstraire les principes sous-jacents à l'organisation du vivant et de les implanter dans un ordinateur afin de pouvoir les étudier et les tester [11].

Donc, on conclut que cette recherche a deux objectifs principaux. D'abord, elle cherche à comprendre le résumé de fonctionnement et particulièrement l'origine de vie sur la terre, et le second, elle essaye de produire des modèles informatiques pour l'utilisation scientifique. Le développement de ces modèles s'appuie sur les concepts d'autonomie, de comportement individuel répondant à des stimuli de l'environnement, de viabilité, d'adaptation et de reproduction. Il n'y a pas de processus de réflexion comme en intelligence artificielle par la manipulation de symboles.

Les agents n'ont pas des intelligences évoluées mais des règles de comportement simples. Cependant, il est possible d'obtenir un comportement collectif complexe par l'interaction de plusieurs agents relativement simples.

La vie artificielle est un domaine récent pour la segmentation d'image, malgré qu'il existe quelques travaux qui combinent ces deux domaines, ils sont considérés comme des investigations initiales ou des preuves de concept [8], mais ils offrent une indication prometteuse de découvrir de nouvelles techniques, plus efficace. Parmi les travaux dans ce domaine hybride, on peut citer : Le travail de *Garden* [8] qui est basé sur les comportements de meutes de Reynolds, pour la détection de contour de région dans une image. Le travail de *Liu* [12] qui est inspiré des automates cellulaires et les différentes catégories d'agents pour segmenter une image. Le travail de *Bourjot* [5] qui est inspiré de modèle des araignées sociales pour la détection de régions dans les images à niveaux de gris. Le travail de *Ramos* [13] qui est inspiré des modèles des sociétés de fourmis, pour détecter des contours.

L'intelligence en essaim est une des technologies clés de la Vie Artificielles, a connu une popularité croissante, ces dernières années. Elle est largement définie comme : " N'importe quelle tentative de concevoir des algorithmes ou des dispositifs de résolution de problèmes distribués inspirés par le comportement collectif de colonies d'insecte sociales et d'autres sociétés animales" [3].

L'approche de conception de l'intelligence en essaim adapte les mécanismes de coordination (robuste, qui s'auto-organisent) observés dans des systèmes naturels distribués (par exemple, des colonies d'insectes sociales) aux systèmes d'ingénierie [6], [7]. Un des mécanismes de coordination globaux le plus puissant dans des systèmes distribués biologiques est la stigmergie, qui est d'origine de deux mots grecs stigma qui est " signe " et ergos qui est " travail ", et dans le principe, l'agent ne dirige pas son travail, il est guidé par lui [10].

Dans ce papier nous proposons une approche pour segmenter une image, en suivant le principe de l'incrémentalité [1] ; les régions sont construites à partir du modèle incrémental de croissance de région, qui consiste à disposer à tout instant d'un ensemble de pixels potentiellement agrégables à la région, pour ensuite pouvoir les évaluer et choisir le meilleur, mais selon une direction de vie artificielle. Dans cette approche, nous nous sommes intéressés à l'exploitation du phénomène d'émergence dans la construction des régions connexes et homogènes dans une image en niveau de gris, pour ce faire nous adoptons une modélisation multi-agents réactifs pour ce problème. Les agents se déplacent sur l'image et marquent leurs emplacements par leurs propres couleurs, ils coordonnent leurs activités et communiquent leurs résultats par des interactions stigmergiques, L'apparition des structures (que l'on peut envisager comme une solution au problème posé au système) est conditionnée par l'ébauche d'un marquage par un agent dans l'environnement, celle-ci

déclenchant et orientant le comportement des autres agents. L'image est donc, vue comme un environnement permettant aux agents de structurer et de s'auto-organiser.

Après cette introduction dans laquelle nous avons donné un aperçu général sur la voie que nous allons privilégier dans notre approche, La suite de ce papier est consacrée à la description de l'approche proposée qui sera accompagnée par une illustration graphique, et la présentation de quelques images segmentées.

2 LA METHODE PROPOSEE

Après initialisation dans un emplacement aléatoire sur l'image, les agents suivent un comportement aléatoire ; chaque agent se déplace au hasard, à une case voisine (8-connexités) et la marque (voir Figure.1:(b),(c)).

Le marquage d'un pixel est associé au déplacement de l'agent à ce pixel et peut disparaître (s'évaporer); l'ancien emplacement de l'agent (pixel) garde son marquage (voir Figure 1c, cas de marquage : vert foncé, bleu foncé, orange foncé), si son niveau de gris est proche du niveau de gris du pixel de l'emplacement courant de l'agent (c'est-à-dire la différence entre ces deux niveaux de gris est au-dessous d'un seuil), mais il perd son marquage dans le cas contraire (voir Figure 1c, cas de marquage : jaune foncé et rouge foncé). Cette opération peut être interprétée comme une opération d'évaporation.

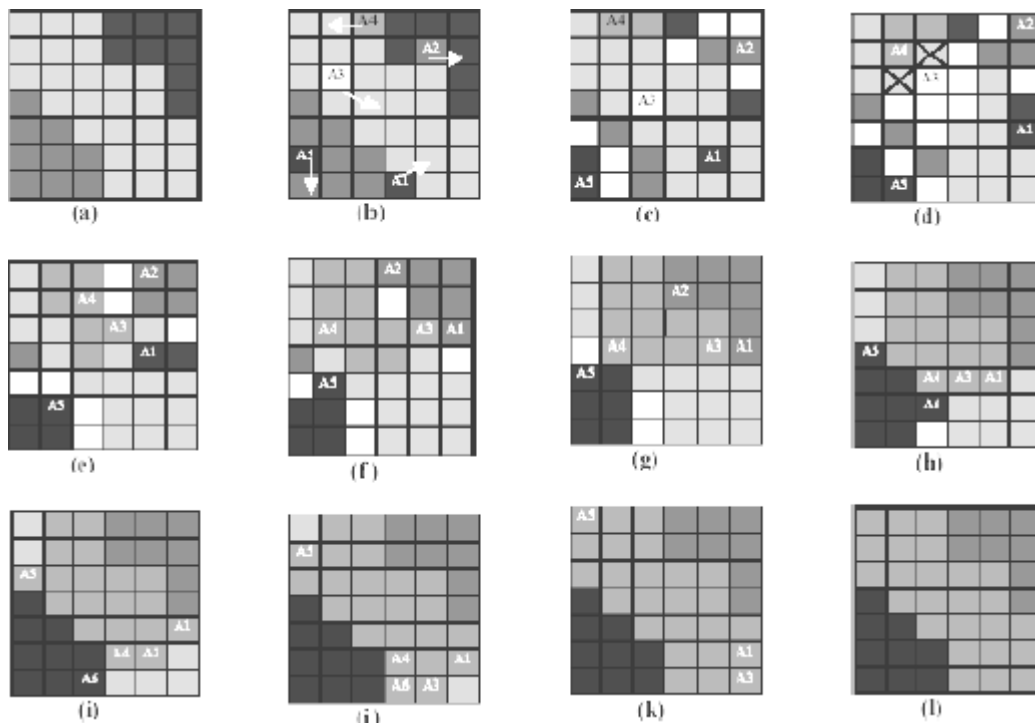


Figure 1 : illustration

(a): image initiale à segmenter. (b): initialisation de cinq agents : A1,A2,A3 A4 et A5. (c) : apparition de trois régions attracteurs. (d): rencontre de deux champs de phéromones. (e) : fusion des régions. (f): changement de la couleur du marquage de l'agent. (g) : situation de blocage ; l'agent est entouré par des régions marquées. (h) : la mort de l'agent A2 et l'initialisation de l'agent A6. (i): les mouvements des agents sont coordonnés. (j): situation de blocage. (k): la mort des agents A4,A6. (l) : image résultat.

Après cette phase de déplacement aléatoire, qu'on peut l'appeler phase d'incoordination (car les déplacements des agents sont incoordonnés), quelques régions marquées apparaissent dans l'image, ces régions deviennent comme des attracteurs qui attirent les agents (dont les déplacements aléatoires) vers les pixels qui les entourent. Chaque région produit un champ de phéromone qui se propage dans un environnement local (région de propagation) correspondant aux pixels entourant la région marquée (voir Figure 1(c), les régions marquées : verte foncée, bleu foncée et orange foncée produisent des champs de phéromones couvrant respectivement les régions : verte claire, bleu claire et orange claire). Il apparaît donc, dans l'environnement (l'image) plusieurs régions de propagation de phéromones autant du nombre de régions marquées. La phéromone se différencie d'une région à l'autre par son odeur. La valeur de la concentration de phéromone dans un pixel voisin de la région marquée, est une mesure reflétant l'adéquation de ce pixel par rapport à cette région marquée.

L'adéquation d'un pixel à une région marquée est mesurée par deux critères : critère d'homogénéité, critère de compacité. Le critère d'homogénéité a pour effet de favoriser une croissance homogène de la région marquée, en mesurant la différence entre le niveau de gris du pixel et le niveau de gris moyen de la région marquée. Tandis que le critère de compacité a pour effet de favoriser une croissance compacte de la région, en mesurant le nombre de voisins (8 connexes) du pixel appartenant déjà à la région marquée. La somme pondérée de ces critères (la pondération de ces critères sont fixées en fonction de l'importance que l'on attribut à chacun).

DEFINITION 1 : LES MESURES D'ADEQUATION

Soient :

$R(p)=(p_1,p_2,\dots,p_m)$; la région marquée (région d'attracteur);

$V(p)=(p_1,p_2,\dots,p_n)$; la région de pixels voisins (4-connexe) de la région $R(p)$;

$I(x,y)$: l'intensité de $p(x,y)$;

Le niveau de gris moyen de la région marquée $R(p)$ est calculé :

$$\bar{I}_{R(p)} = \frac{I}{m} \sum_{i=1}^m I_{R(p)}(x_i, y_i) \quad (1)$$

L'évaluation de l'homogénéité d'un pixel $p(x,y)$ de l'intensité $I(x,y)$ de la région $V(p)$ par rapport à la région $R(p)$, fournira une valeur $E_1(p)$:

$$E_1(p) = 1 - \min \left(1, \frac{|I(x,y) - \bar{I}_R|}{k} \right) \quad (2)$$

k : une constante permettant de normaliser l'expression dans l'intervalle $[0,1]$.

On définit les relations de voisinage (8- connexité) comme :

$N_8(p(x_1,y_1), p(x_2,y_2))=1$ si et seulement si

$$\text{Max}(|x_2 - x_1|, |y_2 - y_1|) = 1 \quad (3)$$

L'évaluation de compacité d'un pixel $p(x,y)$ de la région $V(p)$ par rapport à la région $R(p)$ est donnée par :

$$E_2(p) = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 N_8(p(x_i, y_i), p(x, y)) \quad (4)$$

L'évaluation globale d'un pixel $p(x,y)$ de la région $V(p)$ par rapport à la région $R(p)$ est donnée par :

$$E_g(p) = \alpha E_1(p) + \beta E_2(p), \alpha + \beta = 1 \text{ et } \alpha, \beta \in [0,1] \quad (5)$$

La région de propagation de phéromone est l'ensemble de pixels situés au voisinage (4-connexité) de la région marquée (région d'attracteur) et dont les mesures d'adéquation sont au-dessus d'un seuil $seuil_f$.

DEFINITION 2 : REGION DE PROPAGATION DE PHEROMONE

Soient :

$R(p)=(p_1,p_2,\dots,p_m)$; la région marquée contenant m pixels : p_1,p_2,\dots,p_m ;

$V(p)=(p_1,p_2,\dots,p_l)$; la région de pixels voisins (4-connexe) de la région $R(p)$;

$E_g(p_i)$; mesure d'adéquation du pixel p_i à la région $R(p)$;

$seuil_g$; seuil d'adéquation d'un pixel de $V(p)$ à la région $R(p)$;

La région de phéromone $C(p)=(p_1,p_2,\dots,p_n)$ est définie :

$$C(p) \subseteq V(p) \text{ et } \forall p_1 \in C(p) \ E_g(p_1) \geq \text{seuil}_f \quad (6)$$

La concentration de phéromone dans chaque point (pixel) de la région de propagation est définie comme le rapport entre la mesure d'adéquation E_g de ce pixel à la région marquée et la somme de nombre de pixels dans la région marquée (qui produit cette phéromone) et la région de propagation de phéromone.

DEFINITION.3: CONCENTRATION DE PHEROMONE

Soient :

$R(p)=(p_1,p_2,\dots,p_m)$; la région marquée contenant m pixels : p_1,p_2,\dots,p_m ;

$C(p)=(p_1,p_2,\dots,p_n)$; la région de propagation contenant n pixels : p_1,p_2,\dots,p_n ;

$E_g(p_i)$; mesure d'adéquation du pixel p_i (appartenant à la région $C(p)$) à la région $R(p)$;

La concentration de la phéromone dans un pixel p_i de la région $C(p)$ est $s(p_i)$

telle que :

$$s(p_i) = \frac{E_g(p_i)}{m+n} \quad (7)$$

L'émergence des régions marquées dans l'environnement (l'image) ont des effets sur les comportements des agents. L'agent dont le déplacement est aléatoire orientera donc son mouvement vers une des régions marquées que d'autres agents les ont désignées comme des modèles potentiels. En même temps les agents seront repoussés par les grandes densités d'agents (par exemple, dans la Figure.1f, l'agent A1 s'oriente vers la région verte). Donc l'apparition de ces régions marquées que l'on peut envisager comme une solution au problème posé au système) est conditionnée par l'ébauche d'un marquage par un agent dans l'environnement, celle-ci déclenchant et orientant les autres agents.

Pour se déplacer l'agent sélectionne de manière probabiliste une des case voisine (8-connexes) de son emplacement qui est couverte par un champs de phéromone. La probabilité de sélection se fait en deux étapes. D'abord, l'agent détermine la concentration de la phéromone dans chacune des cases voisines, la concentration de phéromone dans une case est égale à zéro, si la case voisine n'appartient à aucune région de propagation de phéromone, mais si la case appartient à plusieurs régions de propagation de phéromone, elle a plusieurs valeurs de concentration de phéromone, on prend la concentration maximale (voir figure.1d, chacune des deux cases oranges claires barrés, contient deux concentrations de phéromone ; une concentration de la phéromone produite par la région jaune foncée et l'autre de la phéromone produite par la région orange foncée). Dans la deuxième étape, l'agent détermine l'attraction relative d'une case comme sa concentration locale de phéromone normalisée par la concentration de toutes les cases voisines de son emplacement.

DEFINITION.4 : PROBABILITE DE SELECTION

Soient

$p(x_A, y_A)$: l'emplacement de l'agent A ;

$v_A(p)$: l'ensemble de voisinage (8-connexité) du pixel $p(x_A, y_A)$,

Donc selon (3), $\forall p_i \in v_A(p), \text{Max} (|x_A - x_i|, |y_A - y_i|) = 1$;

s_i : la concentration de phéromone dans le pixel p_i ,

L'attraction relative du pixel p_i de $v_A(p)$ est f_i :

$$f_i = \frac{s_i}{\sum_{p_j \in v_A(p)} s_j} \quad (8)$$

La probabilité de choisir un pixel p_i de $v_A(p)$ est $prob_i$:

$$prob_i = \text{Max}_{p_j \in v_A(p)} (f_i) / 8 \quad (9)$$

Lorsque l'agent se déplace a une case couverte par un champ de phéromone, il adapte sa couleur de marquage à la couleur de la région qui produit cette phéromone (la couleur

de marquage de l'agent A1 était rouge foncée dans la Figure.1e, mais il marque son emplacement dans la Figure.1f par la couleur verte foncée qui est la couleur de la région produisant le champ de phéromone qu'il l'attire).

Le déplacement de l'agent à une case appartient à plusieurs régions de propagation de phéromones (dans la Figure.1d, les deux cases oranges claires et barrées appartiennent aux deux régions de propagation de phéromone : la région jaune claire et la région orange claire) provoque la fusion de ces régions ainsi que les régions marquées produisant ces phéromones (dans la Figure.1e, les deux régions marquées : orange foncée et jaune foncée sont fusionnées en une seule région marquée par la couleur orange foncée, ainsi que les deux régions de propagation jaune claire et orange claire sont fusionnées en une seule région de propagation marquée par la couleur orange claire).

Un agent meurt si les cases voisines de son emplacement courant sont toutes marquées et elles ne sont couvertes par aucun champ de phéromone (dans la Figure.1g, l'agent A2 se trouve dans une situation de blocage, toutes les case voisines de son emplacement sont maquées). La mort d'un agent provoque une initialisation d'un autre agent à un emplacement aléatoire d'une région de propagation de phéromone où la densité d'agents est minimale (dans la Figure.1h, l'agent A2 est disparu, et l'agent A6 est apparu dans un emplacement de la région de propagation bleu claire où la densité d'agent est plus faible).

Lorsque l'agent se déplace à une case de la région de propagation de phéromone (qui a été choisi de façon probabiliste), il la marque; cette case est donc supprimée de la région de propagation de phéromone et elle est ajouté à la région marquée et en conséquence, la propagation de la phéromone s'étendra à un certain nombre de cases voisines (4-connexité) de l'emplacement courant de l'agent et dont les valeurs de la mesure d'adéquation sont au-dessus d'un seuil $seuil_f$, qui conduira ainsi à l'augmentation de la taille de la région de propagation de phéromone. La réduction et l'augmentation de la taille de la région de propagation de phéromone, dans le temps, s'interprètent comme étant des opérations d'évaporation et de propagation de phéromone. Nous définissons le facteur de propagation de phéromone par le nombre de pixels ajoutés à la région marquée, un facteur égal à zéro empêche toute propagation, et le facteur d'évaporation par le nombre de pixels réduits de la région de propagation de phéromone.

Au fur et à mesure que le nombre d'agents réagissant au gradient d'odeur de la phéromone augmente, la taille de la région marquée augmente aussi. Mais la croissance de la région marquée se stabilise après certain temps lorsque la région de propagation de la phéromone produite par cette région deviendra vide. On parle de stabilité locale du système, lorsqu'il y'a une stabilité de croissance d'une région marquée, et de stabilité globale du système lorsque toutes les régions marquées s'arrêtent de croître.

3 RESULTATS

A fin de valider notre approche, nous avons testé sur une image cellulaire ($seuil_f = 0.88$) et une image cérébrale

($seuil_f = 0.80$) voici quelques résultats obtenus dans le temps. Les régions homogènes sont marquées par une même couleur.

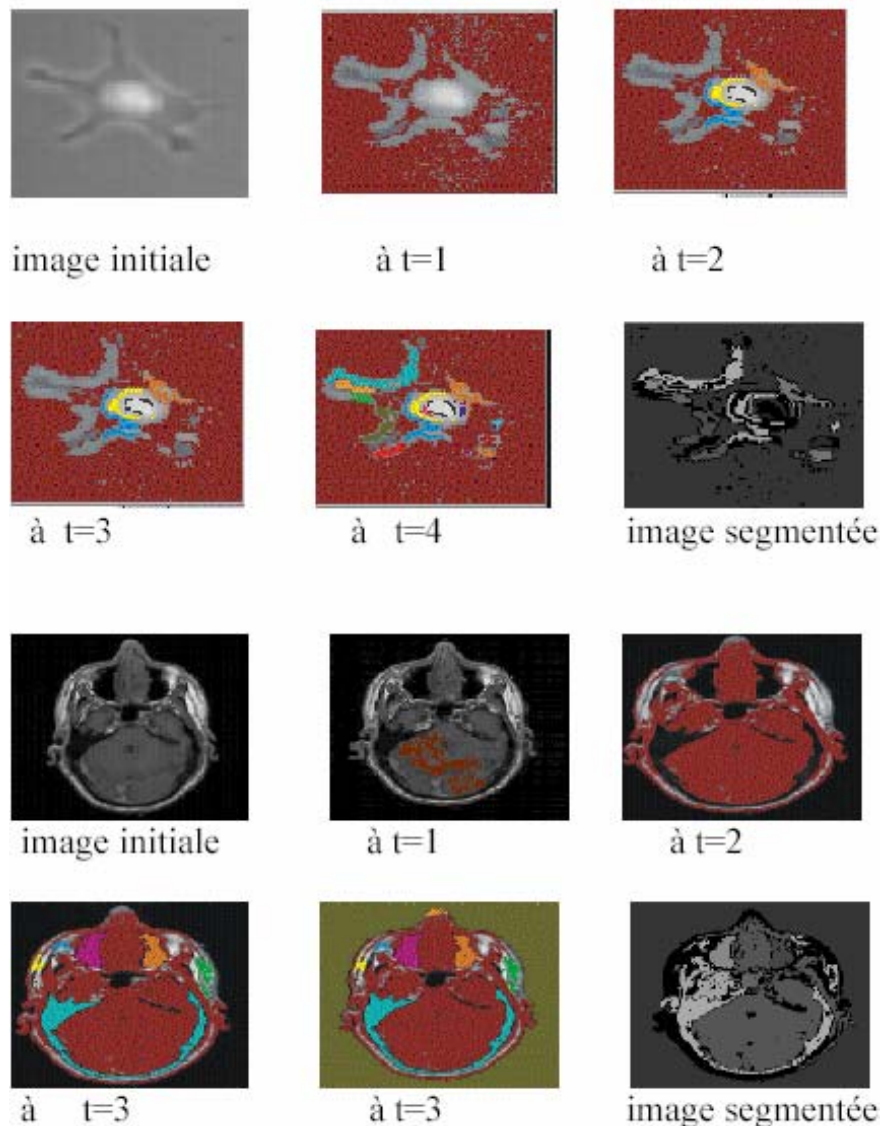


Figure 2 (résultats): Les étapes du marquage des régions homogènes dans le temps.

CONCLUSION

Dans ce papier nous avons présenté une nouvelle méthode pour la segmentation d'images basée sur les techniques d'intelligence en essaim. Nous avons montré comment les interactions stigmergiques font aboutir le système à une configuration stable qu'on peut la considérer comme une solution au problème. Nous avons appliqué notre méthode sur quelques images, les résultats sont satisfaisants.

RÉFÉRENCES

1. **F. Bellet**, Une approche incrémentale, coopérative et adaptative pour la segmentation des images en niveau de gris. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Grenoble, France, juin 1998.
2. **E. Bonabeau, G. Theraulaz**, Intelligence collective, Hermès, Paris, 1994.
3. **E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Theraulaz**, Swarm Intelligence : From Natural to Artificial Systems, NEW York, Oxford University Press, 1999.
4. **A. Boucher**, Une approche décentralisée et adaptative de la gestion d'informations en vision; Application à l'interprétation d'images de cellules en mouvement, Thèse de doctorat TIMC-IMAG, janvier 1999.
5. **C. Bourjot, V. Chevrier**, De la simulation de construction collective à la détection de régions dans les images à niveaux de gris: l'inspiration des araignées sociales, JFIADSMA, 2001.

6. **S-A. Brueckner**, Return from the Ant: Synthetic Ecosystems for Manufacturing Control. Ph.D. Thesis at Humboldt University Berlin, Department of Computer Science, 2000.
7. **S-A. Brueckner, H-V-D. Parunak**, Swarming agents for distributed pattern detection and classification, Submitted to the First International Conference on AAMS, 2002.
8. **T. Carden**, Image Processing with Artificial Life, 2002.
9. **J-P. Cocquerez, S. Philip**, Analyse d'images : Filtrage et segmentation, Masson Paris 1995.
10. **P-P. Grassé**, La construction du nid et les coordinations interindividuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. La théorie de la stigmergie : essais d'interprétation du comportement des termites constructeurs, *Ins. Soc.* , 6 : 41-84(1959).
11. **C. Langton**. Preface. In C. Langton et al., editor, *Artificial Life II*, volume X of *SFI Studies in the Sciences of Complexity*, pages xiii-xviii. Addison-Wesley, New York., 1992.
12. **J. Liu, Y-Y. Tang**, Adaptive image segmentation with distributed behavior based agents, in: *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 21, No. 6, June 1999, pp 544-551.
13. **V. Ramos, F. Almeida**, Artificial Ant Colonies in Digital Image Habitats - A Mass Behavior Effect Study on Pattern Recognition, Second International Workshop on Ants Algorithms, Ants2000, Bruxelles, 2000.