

UNE APPROCHE BIOMIMETIQUE POUR LA SEGMENTATION D'IMAGES

DJEROU LEILA ¹ ET BATOUCHE MOHAMED ²

¹ Département d'Informatique Université de Biskra, B.P.145 R.P. 07000 Biskra, Algérie
ldjerou@yahoo.fr

² Computer Science Department, CCIS-King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia
batouche@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Dans ce papier, nous proposons un système à base d'agents réactifs capable de segmenter des images en niveau de gris. Dans cette approche nous avons combiné le mécanisme de stigmergie qualitative observé chez les insectes sociaux avec un autre type de comportement d'essaim qui est l'Optimisation par l'Essaim de Particules (OEP). Les agents se déplacent sur l'image en construisant des régions homogènes ; par le regroupement des pixels connexes présentant une certaine similarité, sous une même marque. La formation d'une région commence à partir d'un pixel appelé pixel germe, puis sa croissance suit un processus itératif de regroupement des pixels voisins et connexes vérifiant un critère d'homogénéité. Le choix du pixel germe et l'estimation locale de l'homogénéité de la région sont traités par l'OEP, cependant, le contrôle du processus de construction de la région est réalisé par le mécanisme stigmergique. Les expérimentations ont été menées sur des images variées, pour montrer les caractéristiques de cette approche et présenter les résultats obtenus.

MOTS CLES : Agents réactif, Intelligence en essaim, OEP, Segmentation d'images, Stigmergie qualitative.

1 INTRODUCTION

La segmentation d'images est une étape importante dans la plupart des systèmes de vision. Elle est définie ainsi [9]: la segmentation est un traitement de bas niveau qui consiste à créer une partition de l'image A en sous-ensembles R_i appelés régions tel qu'aucune région ne sera vide, l'intersection entre deux régions soit vide et l'ensemble de régions recouvre toute l'image. Une région est un ensemble de pixels connexes ayant des propriétés communes qui les différencient des pixels des régions voisines. Les techniques de segmentation existantes sont nombreuses, une bonne revue de ces méthodes peut être trouvée dans [20].

Les techniques de croissance de régions sont apparues très tôt en vision par ordinateur. L'idée de base de ce type d'approches, consiste à définir un ensemble de démarrage qu'on appelle "point germe". A chaque niveau de croissance, on ajoute les pixels voisins qui ont des propriétés similaires à ceux de l'ensemble germe (niveau de gris, texture, couleur...). Ces approches sont faciles à implémenter, mais elles souffrent de quelques problèmes tels que [23] :

- Elles nécessitent le réglage de plusieurs seuils qui sont difficiles à fixer en l'absence de connaissance a priori ; par exemple, le choix du seuil de similarité : un seuil trop faible crée une sur-segmentation et s'il est trop fort conduit à une sous-segmentation.
- Il est encore difficile de cerner l'homogénéité au

sein de l'image, par exemple, en définissant globalement un simple seuil d'homogénéité, du fait que cette homogénéité peut être à des degrés variables pour différentes parties de l'image.

- Leurs résultats sont fortement dépendants du choix des germes de départ et de l'ordre de parcours des pixels agrégés.

Un cadre naturel permettant de résoudre ces problèmes d'une manière flexible et adaptative est celui offert par les méthodes qui reposent sur les mécanismes biologiques. Ces méthodes nous permettent d'accéder à un espace plus large de solutions, et nous offrent un éventail de caractéristiques telles que : l'adaptation, la tolérance aux bruit et aux panes, le calcul distribué et la généralisation [16].

L'Intelligence en Essaim est un domaine de recherche interdisciplinaire, relativement récent, il a connu une popularité croissante dans ces jours. Elle est définie comme: "N'importe quelle tentative de concevoir des algorithmes ou des dispositifs de résolution de problèmes distribués inspirés du comportement collectif de colonies d'insectes sociaux et d'autres sociétés animales" [3].

L'intelligence en essaim fournit une base avec laquelle il est possible d'explorer la résolution du problème, d'une manière distribuée, sans contrôle centralisé, et ni présentation globale de la tâche à accomplir [8, 18]. Dans le traitement d'image, peu de travaux ont été menés en utilisant des concepts de l'intelligence en essaim. Dans ce contexte on peut citer les travaux suivants : [15] est inspiré des automates cellulaires, pour étiqueter les régions homogènes dans une image à niveaux de gris. [21] utilise

des colonies de fourmis artificielles et la morphologie mathématique pour extraire des particularités d'images. [22] adopte un certain nombre de mécanismes immunitaires pour le développement de systèmes de multi-agent auto-réglés, pour la détection de particularités d'image. [5] est inspiré du modèle des araignées sociales pour la détection de régions dans les images à niveaux de gris. [19] présente un algorithme "AntClust" utilisant les principes d'exploration stochastique et distribuée d'une population de fourmis artificielles pour fournir une classification non supervisée des images. [12] propose un système à base d'agents réactifs pour la résolution du problème de la segmentation d'image en niveau de gris, en utilisant des phéromones artificielles pour guider les agents à réagir et adapter leurs comportements aux données traitées. Dans [17], une approche à base d'essaim a été proposée pour la détection et la reconnaissance de l'objet dans une image en niveau de gris, en adoptant quelques techniques computationnelles comme les ensembles flous, et réseaux neuraux. [10] propose une approche à base de croissance de régions en utilisant une variante de l'OEP pour adapter le critère d'homogénéité selon les caractéristiques de la région qui va être formée. [25] présente une étude sur le traitement d'image avec l'intelligence en essaim, un algorithme basé sur le système de fourmis a été proposé, pour la détection des contours dans une image en niveau de gris. [24] présente un algorithme à base d'essaim, en utilisant deux types d'agents pour segmenter des images couleurs, le résultat de la segmentation émerge de comportements d'essaim.

Dans ce papier, nous proposons une approche biomimétique pour traiter les problèmes liés aux techniques de croissance de régions mentionnés ci-dessus. Nous faisons une hybridation de deux techniques de l'intelligence en essaim à savoir, l'Optimisation par Essaim de Particules (OEP) [14] et la stigmergie qualitative [2]. Nous adaptons le paradigme de système multi-agents réactifs. Les agents se déplacent sur l'image en construisant des régions homogènes ; par le regroupement des pixels connexes présentant une certaine similarité, sous une même marque.

L'OEP est une méthode d'optimisation développée par James Kennedy et Russel Eberhart en 1995, c'est un modèle simplifié de relations sociales comme le vol d'oiseaux. Il s'agit d'une méthode faisant appel à une population d'agents appelés particules. Chaque particule est caractérisée par sa position et un vecteur de changement de position (appelée vitesse). En se déplaçant les particules sont influencées par leurs comportements passés et par les comportements de leurs voisins. Un bon résumé sur le L'OEP se trouve dans [11]. L'OEP sera utilisée pour optimiser la recherche de pixels germes et aussi d'estimer de façon locale les valeurs de seuils d'homogénéités aux différentes parties de l'image.

La stigmergie [7, 13] est un mécanisme de communication indirecte se servant de l'environnement comme médium. Deux formes générales de stigmergie sont identifiées [4]; la stigmergie *qualitative* et la stigmergie *quantitative*. La stigmergie *qualitative* correspond à une succession de stimuli-réponses qualitativement différents, en impliquant un changement des caractéristiques physiques de

l'environnement. La construction collective de nids de termites est un exemple de stigmergie qualitative [2]. Dans la stigmergie *quantitative*, la répétition de stimuli-réponses diffère quantitativement. Il s'agit d'un mécanisme de feedback positif ou amplificateur. La détection collective du plus court chemin, entre le nid et une source de nourriture, est un exemple de stigmergie *quantitative* [6]. Le recours au mécanisme de la stigmergie qualitative, nous permet de traiter le problème lié au parcours des pixels agrégés, par émergence; dans ce cas, la croissance des régions marquées qui se base sur l'agrégation des pixels voisins, n'est pas calculée explicitement par le système mais émerge des interactions stigmergiques.

Ce papier s'articule autour de cinq sections qui nous permettront de présenter les différents aspects de notre travail. Dans la deuxième et la troisième, nous présentons le noyau de notre approche : la spécification de l'approche et les comportements des agents. La section 4 est consacrée à la présentation de quelques résultats obtenus. Nous achevons ce papier par une conclusion, en essayant de montrer l'originalité de l'approche proposée (section 5).

2 SPECIFICATION DE NOTRE APPROCHE

Notre approche se matérialise par la définition de deux populations d'agents, nous distinguons la population d'agents *Détecteurs*, liés au marquage de régions homogènes, à la population d'*agents système* permettant la gestion de l'environnement.

Les agents *Détecteurs* sont des entités autonomes, mobiles qui possèdent des mémoires simples, des capacités de calcul limitées et des perceptions locales de leur environnement, ils mettent en œuvre des comportements simples comme *Exploration, Agrégation, Fusion et Reproduction*, en fonction des contraintes de l'environnement, ils peuvent communiquer directement ou bien indirectement via l'environnement partagé. Les agents *Détecteurs* se déplacent sur l'image et marquent leurs emplacements.

Au début, les agents *Détecteurs* commencent à explorer l'image sans marquer leurs emplacements, en optimisant la recherche de pixels germes et aussi d'estimer, de façon locale, les valeurs de départ de seuils d'homogénéité aux différentes parties de l'image, en adoptant une variante de l'OEP [15]. Le pixel germe est le premier pixel détecté et marqué d'une région homogène «région marquée», il est considéré comme une ébauche de construction de la région marquée, qui est en cours de construction.

Après l'apparition de quelques régions marquées (les ébauches de construction) dans l'image, les déplacements des agents *Détecteurs* deviennent coordonnés; les agents seront guidés par leur travail qui est les régions marquées (interaction stigmergique) ; Chaque région marquée produit un champ de phéromone qui se propage dans un environnement local (région de propagation) correspondant aux pixels qui l'entourent et les plus adéquats à la région marquée, l'adéquation E_g d'un pixel à une région

(équation(1)) est déterminée par une somme pondérée des deux évaluations : E_1 , E_2 . L'évaluation E_1 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. L'évaluation E_2 a pour effet de favoriser une croissance compacte de la région marquée, en mesurant le nombre de voisins (8-connexes) du pixel appartenant déjà à la région marquée. Les pondérations sont fixées en fonction de l'importance que l'on attribue à chaque évaluation. Les évaluations fournissent des valeurs comprises entre 0 et 1. Donc, il apparaît dans l'environnement (image) plusieurs régions de propagation de phéromones autant du nombre de régions marquées.

$$E_g(p) = \alpha E_1(p) + \beta E_2(p) \quad (1)$$

Les valeurs de l'évaluation finale des pixels voisins (4-connexes) de la région marquée, qui sont au-dessus du seuil δ_l (seuil d'homogénéité concernant la région R_m qui est en cours de construction), sont codées sous forme phéromonale.

La dynamique de phéromones suit le principe de l'incrémentalité [1], cette dynamique est caractérisée par les opérations: de propagation, d'évaporation, de concentration et construction de champs du gradient, et elle est gérée par les agents *système*.

La région de propagation de la phéromone R_p dans l'environnement est donc, l'ensemble de pixels situés aux voisinages(4-connexité) de la région marquée R_m et dont leurs évaluations globales E_g est au-dessus du δ_l .

La réduction et l'augmentation de la taille de la région de propagation d'une phéromone, dans le temps, représentent la dynamique de cette phéromone qui est exprimé à la fois par les opérations de propagation et d'évaporation qui correspondent respectivement aux opérations de l'augmentation et de la réduction de la taille de la région de propagation d'une phéromone.

La valeur de la concentration $s(p_i)$ de phéromone dans un pixel p_i est donc le rapport entre sa valeur d'évaluation globale $E_g(p)$ et la somme m et n ; le nombre des pixels respectivement dans la région marquée R_m et dans la région de propagation de phéromones R_p .

$$S(p_i) = \frac{E_g(p_i)}{m+n} \quad (2)$$

3 COMPORTEMENTS DES AGENTS

Dans notre modèle, les agents *Détecteurs* sont initialisés dans des emplacements aléatoires sur l'image à segmenter. Chaque agent possède sa propre couleur de marquage, un numéro de génération indiquant la génération à laquelle il appartient, une mémoire pour garder sa meilleure estimation locale δ_l et son emplacement correspondant à cette valeur d'estimation. Tous les agents sont initialisés avec un numéro de génération égal à zéro.

Les agents ont une perception limitée de leur environnement; l'agent ne peut percevoir que les pixels voisins (8-connexes) de son emplacement courant, correspondant à son environnement local (région de perception). Ils agissent sur la base de leur perception. Selon l'état de son environnement local qui peut être : *PasDePhéromone*, *TrouverPhéromone*, *PhéromonesSuperposées* et *SituationDeBlocage*, l'agent peut suivre, respectivement un des comportements suivants : *Exploration*, *Agrégation*, *Fusion* et *Reproduction*.

3.1 Comportement Exploration

L'agent suit le comportement d'exploration, en général, après son initialisation et aussi, quand l'état de son environnement local est "*PasDePhéromone*", c'est-à-dire, si tous les pixels, de sa région locale, ne sont couverts par aucun champ de phéromones. Dans ce cas l'agent commence à explorer l'image en cherchant un germe (un pixel de départ). Un germe cherché est un pixel $p(i,j)$ qui n'appartient à aucune région marquée (en cours de croissance) et ayant une valeur de gradient $G(i,j)$ la plus minimale. Un germe est l'ébauche de construction d'une région homogène marquée R_m , dont le seuil d'homogénéité local est δ_l , cette valeur peut être changée dynamiquement pendant la croissance de région marquée R_m , la valeur initiale de δ_l est donnée comme suit :

$$\delta_l = \frac{G(i,j)}{255} \dots \text{et } \delta_l \in [0,1] \quad (3)$$

Pour optimiser la recherche des pixels germes, et ajuster les seuils d'homogénéité locaux, par la population des agents *Détecteurs*, on adopte une variante de l'OEP. Dans ce contexte, pour chaque nouvel emplacement, l'agent prend une estimation sur son emplacement actuel en calculant le seuil d'homogénéité δ_l . Il se souvient de la meilleure estimation (la valeur de seuil d'homogénéité et son emplacement correspondant) par lequel il est passé au cours de ses déplacements. Lorsqu'il rencontre un agent voisin (c'est-à-dire ces deux agents partagent au moins un pixel voisin (8-connexes) de leurs emplacements), ils s'engagent dans des interactions de confrontation. Dans ces interactions, les agents échangent et modifient ensuite leurs estimations, pour garder la meilleure. Après un certain nombre de changements N_c de sa valeur δ_l , l'agent peut revenir à l'emplacement correspondant à la meilleure valeur d'estimation local δ_l , et commence à marquer son emplacement

3.2 Comportement Agrégation

L'agent peut suivre le comportement *Agrégation*, (l'agent exploite le travail effectué par lui-même et par les autres agents), si un des pixels, de son environnement local, est couvert par un des champs de phéromones (l'état de son environnement local est "*TrouverPhéromone*"). Dans ce

cas, l'agent sélectionne son emplacement suivant d'une manière probabiliste, en fonction de l'attraction relative f_i , puis la marque par sa propre couleur.

$$f_i = \frac{s_i}{\sum_{p_j \in v_A(p)} s_j} \quad (4)$$

Avec: f_i : est l'attraction relative du pixel p_i , s_i : la concentration de phéromone dans le pixel p_i et $v_A(p)$: l'environnement local de l'agent.

3.3 Comportement Fusion

L'agent peut suivre le comportement *Fusion*, si un des pixels de son environnement local est couvert, au moins, par deux champs de phéromones (l'état de son environnement local est *PhéromonesSuperposées*). Dans ce cas l'agent adapte sa couleur de marquage à la couleur de la région marquée produisant le champ de phéromone qui l'attire puis il fait un tour en arrière en suivant la trace de son ancien marquage, et il marque son emplacement par la nouvelle couleur de marquage. Dans ce contexte, le marquage d'une région homogène se fait par une coopération d'agents.

3.4 Comportement Reproduction

L'agent suit le comportement *Reproduction*, si tous les pixels de son environnement local sont marqués et ne sont pas couverts par aucun champ de phéromones (l'état l'environnement local est *SituationDeBlocage*). Dans ce cas, l'agent crée un agent fils qui hérite la même couleur de marquage de son père et un numéro de génération incrémenté de "1" puis il meurt. Si le numéro de génération de l'agent est supérieur à la valeur *Maxgénération*, l'agent ne peut pas reproduire un descendant.

4 RESULTATS ET DISCUSSION

Afin de valider l'approche proposée, et de présenter ses caractéristiques, nous l'avons testée sur quelques images de synthèse et médicales.

4.1 Robustesse par rapport aux données à segmente

La méthode proposée s'adapte facilement au type de l'image traitée, car toutes les régions d'une image à niveau de gris sont détectées (marquées), cela revient aux valeurs de seuil de similarité qui peuvent être ajustée, par l'OEP, en fonction des données à traiter.

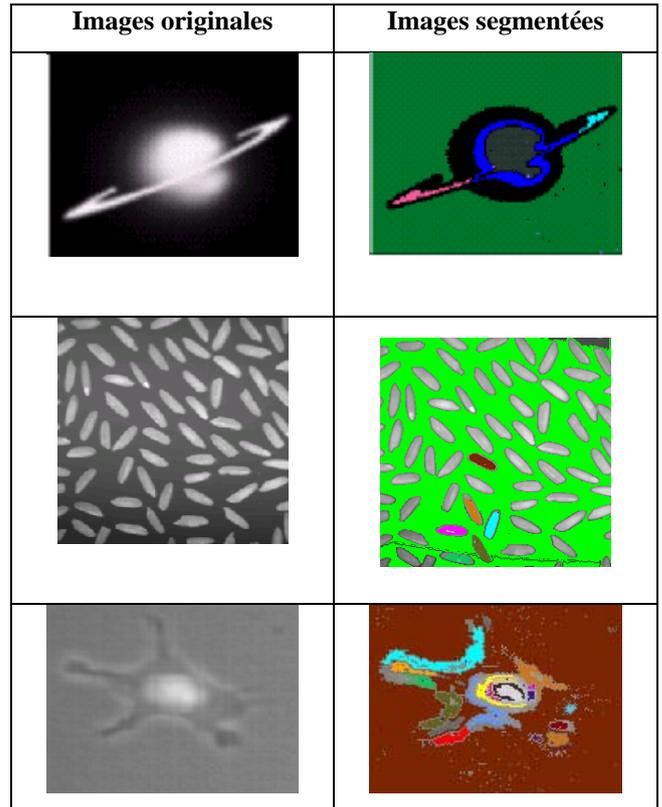


Figure 1 : Robustesse par rapport aux données à traiter.

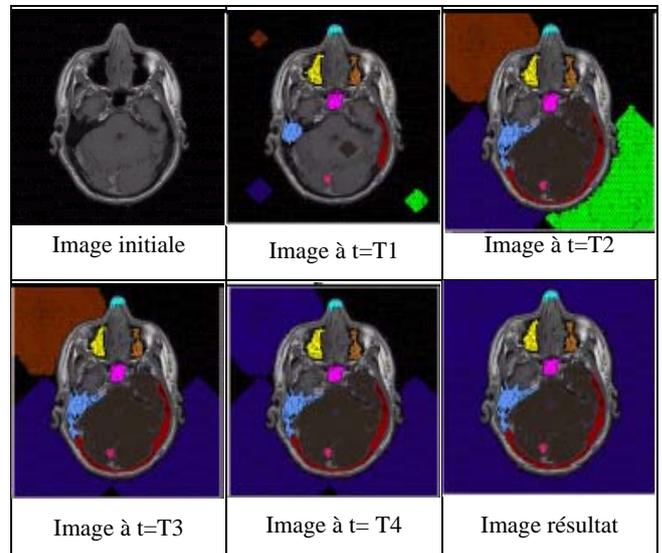


Figure 2 : Evolution du processus du marquage des pixels dans le temps (t); l'apparition de quelques régions marquées dans l'image (Image à t= T1), les tailles et le nombre de régions marquées augmentent avec le temps (Image à t= T2), Les régions homogènes et connexes sont fusionnées en une seule région marquée par une des couleurs de régions concernées (Images à t= T3 et t=T4).

4.2 La convergence du processus de construction

La construction des régions homogènes, dans l'image, est progressive et visuelle. Elle est traitée par émergence ; la croissance d'une région et aussi la fusion de deux régions homogènes voisines sont des résultats d'une intelligence collective.

4.3 Autorégulation du processus de construction

Dans cette expérience, notre test a été mené sur une image synthétique (Figure 2), afin d'exposer l'effet des phénomènes de rétroaction positive et rétroaction négative sur l'autorégulation du processus de croissance de régions homogènes dans l'image.

La construction des régions connexes et homogènes (régions marquées), dans l'image, se fait par une coopération d'agents qui se déplacent sur l'image et regroupent des pixels connexes présentant une certaine similarité, sous une même marque. La formation d'une région commence à partir d'un pixel, et sa croissance est guidée par un processus stigmergique dont le principe est illustré par la figure 3.

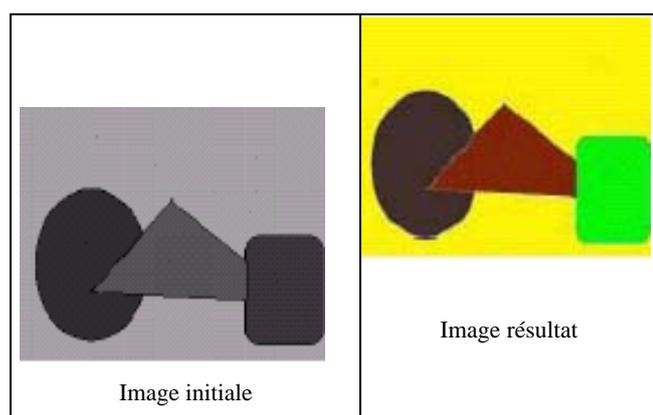


Figure 3 : Segmentation d'une image de synthèse

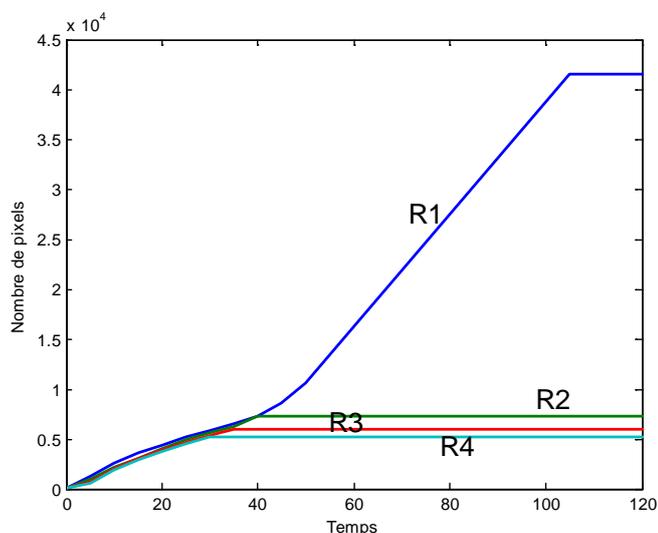


Figure 4 : Ces courbes représentent la croissance de la taille des régions marquées dans le temps.

Dans la figure.3, il y'a quatre courbes R1, R2, R3 et R4, chacune représente la taille d'une région, pendant le processus de construction. Nous remarquons dans l'intervalle de temps [5, 40] une croissance de toutes les courbes, c'est-à-dire les régions R1, R2, R3 et R4 sont en cours de construction. Mais dans l'intervalle de temps [40, 105], la croissance des courbes représentant les tailles des régions R2, R3, R4 s'est stabilisée, car la construction de ces régions est terminée, cependant on observe une croissance remarquable de la courbe R1 car la taille de la région R1 est triplée dans cette intervalle. Il s'agit de phénomène de rétroaction qui s'exprime de la manière suivante : lorsque la croissance d'une région s'est stabilisée, (est terminée) comme dans le cas des régions R2, R3 et R4, les phéromones produites par ces régions se sont évaporées, donc, tous les agents orientent leurs mouvements vers la région de propagation de la phéromone qui est produite par la région (R1) ; on parle ainsi de rétroaction négative. Au fur et à mesure que le nombre d'agents réagissant au gradient de la phéromone (produite par la région R1) augmente, la taille de la région marquée (région R1) augmente aussi. On assiste, ainsi, à la mise en place d'une boucle de rétroaction positive.

5 CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons proposé une nouvelle méthode de segmentation d'images, en combinant deux techniques de l'intelligence en essaim, à savoir, l'OEP et la stigmergie qualitative. L'originalité de notre approche se résume dans :

- l'optimisation de la recherche de l'ébauche de construction de chaque région homogène et l'estimation de son seuil d'homogénéité, par l'introduction de la technique de l'OEP.
- La construction des régions homogènes et connexes, dans l'image, qui n'est pas calculée explicitement par les agents mais elle émerge des interactions stigmergiques.
- L'introduction, pour la première fois, dans l'application de traitement d'image, du mécanisme de la stigmergie qualitative dans l'autorégulation du processus de construction des régions homogènes et connexes, dans l'image.
- La construction de la solution étant progressive et visuelle, Les résultats obtenus sont encourageants dans la mesure où sur toutes les images essayées, on a établi des segmentations complètes. il reste à les évaluer par des comparaisons avec d'autres méthodes de segmentations qui sera l'un des objectifs de nos futures travaux en tenant compte aussi de l'extension de ce modèle pour segmenter d'autres types d'images ; telle que l'image couleur.

BIBLIOGRAPHIES

- [1] **F. Bellet**, Une approche incrémentale, coopérative et adaptative pour la segmentation des images en niveau de gris", *Institut National Polytechnique de Grenoble, France, Thèse de doctorat, Juin Paris, 1998.*
- [2] **E. Bonabeau, G. Théraulaz**, 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] **C. Bourjot V. Chevrier, A. Bernard, B. Krafft**, Coordination par le biais de l'environnement : une approche biologique, *In, actes des 7èmes JFIADSM, St Gilles les Bains, pp 237-250 Hermes, 1999.*
- [5] **C. Bourjot, V. Chevrier, and V. Thomas**, A new swarm mechanism based on social spiders colonies: from web weaving to region detection. *Web Intelligence and Agent Systems, 1(1): 47-64, IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, 2003.*
- [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] **O.H. Bruinsma**, An analysis of building behaviour of the termite *Macrotermes subhyalinus* (Rambur). *Thesis, Landbouwhogeschool, Wageningen, 1979.*
- [8] **O. Buffet, A. Dutech et F. Charpillet**, Etude de différentes combinaisons de comportements adaptatives. *Revue d'Intelligence Artificielle, RIA, volume 20(2-3), 2006.*
- [9] **J.P. Cocquerez, S. Philip**, *Analyse d'images: Filtrage et segmentation*, Masson Paris, 1995.
- [10] **L. Djerou, N. Khelil, M. Batouche**, Une approche adaptative pour la segmentation d'image, *PP-211- 216 TAIMA2007, Hammamet, Tunisie.. ISBN: 978-9973-61-802-3.*
- [11] **L. Djerou, N. Khelil, M. Batouche, A. Zerarka**, Vers les meilleurs points d'interpolation en utilisant l'approche PSO. *Meta'06, Hammamet, Tunisie. Novembre 2006.*
- [12] **L. Djerou, M. Batouche**, Résolution collective du problème de la segmentation, *Courrier du Savoir- N°04, JUIN 2003, PP-89-94, ISSN-1112-3338.*
- [13] **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.
- [14] **J. Kennedy, R.C. Eberhart, Y. Shi**, *Swarm Intelligence*, San Francisco, *Morgan Kaufmann, 2001.*
- [15] **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, pp 544-551, 1999.
- [16] **J.P. Mano, C. Bourjot, G. Leopardo, P. Glize**, Bioinspired mechanisms for artificial self-organised systems. *Informatica, Ljubljana, Slovenia. In press, 2005.*
- [17] **T.Mirzayans, N.Parimi, P.Pilarski, C.Backhouse, L.W.Scott, P.Musilek**, *A swarm-based system for object recognition*, ICS AS CR, pp243-254, 2005.
- [18] **J.P. Müller**, Emergence of Collective Behaviour and Problem Solving. *Engineering Societies in the Agents World - 4th International Workshop (ESAW 2003).*
- [19] **S.Ouadfel, M.Batouche**, *An Efficient Ant Algorithm for Swarm-Based Image Clustering*, *Journal of Computer Science 3 (3): pp 162-167, 2007.*
- [20] **N.R. Pal, S.K. Pal**, *A review on image segmentation techniques*, *Pattern Recognition 9(26):pp 1277-1294, 1993.*
- [21] **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.*
- [22] **V. Rodin, A. Benzinou, A. Guillaud, P. Ballet, F. Harrouet, J. Tisseau, J. Le Bihan**. *An immune oriented multi-agent system for biological image processing* *Pattern Recognition, 37 (2004) 631 - 645.*
- [23] **R.H Turi**, *Clusterion-Based color Image Segmentation, PhD Thesis. Monash University, Australia, 2001.*
- [24] **C.White, G.Tagliarini, S.Narayan**, "An algorithm for swarm-based color image segmentation", in *Proc. IEEE Southeast Conf, Greensboro, North Carolina, USA, IEEE Press, pp. 84-89, March 26-28 2004.*
- [25] **X. Zhuang, N. E. Mastorakis**, "Image processing with the artificial swarm intelligence", in *WSEAS Transactions on Computers, Issue 4, Vol.4, PP. 333-341, ISSN 1109-2750, April 2005.*