

## **E-LEARNING ADAPTATIF**

**OU**

### **COMMENT DONNER DE LA PERSONNALITE A UNE FOURMI ?**

---

**Pierre Crescenzo**

Maître de conférences en Informatique - Projet I3S/OCL  
[Pierre.Crescenzo@unice.fr](mailto:Pierre.Crescenzo@unice.fr)  
+ 33 (0)4 92 94 27 42

**Catherine Escazut**

Maître de conférences en Informatique - Projet I3S/TEA  
[Cathy.Escazut@unice.fr](mailto:Cathy.Escazut@unice.fr)  
+ 33 (0)4 92 94 27 74

**Michel Gautero**

Maître de conférences en Informatique - Projet I3S/Langages  
[Michel.Gautero@unice.fr](mailto:Michel.Gautero@unice.fr)  
+33 (0)4 92 94 27 63

**Adresse professionnelle :**

Laboratoire I3S (CNRS/UNS)  
2000 route des Lucioles  
Les Algorithmes, Bâtiment Euclide  
BP 121  
F-06903 Sophia-Antipolis cedex  
France

**Résumé :** L'e-learning actuel repose sur un modèle de modules statiques diffusés via le Web. Le parcours suivi par les enseignés est figé une fois pour toute par l'enseignant lors de la phase de création du module et, cela, sans tenir compte des préférences et résultats obtenus. Nous souhaitons permettre, durant les phases où l'enseignant n'intervient pas, une adaptation automatique du module. Cela passe par la prise en compte de certaines caractéristiques des enseignés telles que leurs préférences pour la pratique ou la théorie, le texte ou le graphisme, leur niveau de départ, leurs résultats mais aussi leur navigation au sein du site. Pour ce faire, notre projet met en œuvre un algorithme d'optimisation par « colonies de fourmis ». Cette technique nous permet d'ajuster le déroulement du module d'enseignement à tout moment et à tout public sans aucune intervention humaine. Ainsi, les sites d'e-learning ne modélisent non plus un et un seul enseignant mais un ensemble d'enseignants qui sont, certes, virtuels mais disponibles à tout moment, attentifs aux moindres comportements des enseignés, quel que soit leur nombre, et capables de s'adapter automatiquement à la nature de ces derniers. Cette nature se construit tout au long de l'enseignement par l'observation de différents comportements.

**Mots-clés :** E-learning, Optimisation par colonies de fourmis, Adaptation

**E-learning adaptatif**

ou

## Comment donner de la personnalité à une fourmi ?

### PREAMBULE

Ce court rapport présente les prémices d'un projet de collaboration, sur un thème commun, de travaux de trois équipes du Laboratoire I3S : *Langages*, *TEA* (Techniques pour l'Évolution Artificielle) et *OCL* (Objets et Composants Logiciels).

Chaque intervenant apportera, dans la suite du projet, les compétences et connaissances de son domaine : les langages pour Michel Gautero (*Langages*), les algorithmes adaptatifs pour Catherine Escazut (*TEA*) et le génie logiciel pour Pierre Crescenzo (*OCL*).

### 1 – INTRODUCTION

L'enseignement à distance par Internet (*e-learning* en anglais)<sup>1</sup> constitue une avancée pédagogique importante. Il permet, comme les autres formes d'enseignement à distance, de suivre un cours sans nécessité de se déplacer et sans contrainte d'emploi du temps. Il apporte en plus une capacité de diffusion instantanée et globalisée : le cours est immédiatement et simultanément accessible à un ensemble potentiellement considérable de personnes utilisant Internet.

L'e-learning utilise principalement le Web comme support de diffusion et il peut assez facilement profiter de ses capacités multimédias (textes, images, films, sons...) et de sa structure hypertexte. Il conserve cependant, dans la plupart des cas, des défauts inhérents à toute forme d'enseignement à distance : *i*) l'enseignant n'est pas présent en permanence : la réactivité est donc faible voire inexistante et *ii*) l'enseignant n'est pas directement confronté à l'enseigné :

l'enseignement présente donc une structure fixe et n'est pas adapté au profil personnel et aux réactions immédiates de l'enseigné.

Une solution qui vient immédiatement à l'esprit est de mettre en permanence ou très souvent un enseignant, devant un écran et un clavier, à la disposition des enseignés. Cela est bien évidemment difficilement applicable pour ne pas dire impossible : cela reviendrait forcément très cher, il faudrait limiter de façon draconienne le nombre d'enseignés simultanés (ce qui réduit grandement l'intérêt de l'e-learning) et, si cela améliore notablement le point *i*, c'est beaucoup plus discutable pour le point *ii*.

Notre démarche, dans ce rapport, consiste à faire une proposition pour compenser les deux défauts que nous soulevons ci-dessus, en dehors de la présence d'un enseignant. Comme vous le verrez, le rôle de ce dernier reste essentiel et considérable, mais il se place alors plus aux moments de la rédaction, de la modélisation et de l'amélioration de l'enseignement qu'à celui du transfert de connaissances proprement dit. Précisons également que nous utilisons sciemment le mot *compenser* : nous sommes en effet convaincus que rien ne peut complètement remplacer un enseignant en présentiel.

Dans le chapitre 2, nous présentons un travail tiré de l'état de l'art qui repose sur l'utilisation d'un algorithme de colonie de fourmis pour rendre l'e-learning plus adaptatif. L'idée en est fort simple et astucieuse. Des fourmis, modélisant les enseignés, parcourent le cours. Celles qui réussissent le mieux marquent leur chemin de manière à *attirer* à leur suite les enseignés suivants. Ainsi, se dessinent automatiquement des parcours efficaces, parce que déduits des faits. Bien évidemment, dans

---

<sup>1</sup>Nous utilisons ce terme dans la suite de cet article.

la pratique, les choses sont, comme nous le verrons, légèrement plus complexes.

Dans le chapitre 3, nous proposons une amélioration de cette technique. La colonie de fourmis nous permet d'adapter l'enseignement automatiquement en fonction des réactions, réussites et échecs des enseignés. Mais cette adaptation est universelle : elle est identique pour tous les enseignés. Nous proposons de singulariser les enseignés (d'où notre image de donner de la personnalité à une fourmi) en fonction de quelques critères simples (autrement dit : de *typer* les fourmis), puis de tenir compte de ces critères, de ce type, pour offrir une adaptation mieux ciblée de l'enseignement. Ainsi, chaque enseigné apporte, par son comportement, des informations au système et celles-ci sont plus prises en considération pour les enseignés suivants qui lui ressemblent que pour les autres.

Dans le chapitre 4, nous présentons un cours, fictif, sur lequel notre idée est actuellement testée. Nous en profitons pour signaler les problèmes pratiques et techniques qui se font jour lors de cette application. Nous donnons également des solutions ou des pistes de solution à ces problèmes.

Enfin, dans le chapitre 5, nous concluons cet article et proposons des perspectives de poursuite de ce travail de recherche.

## 2 – L'OPTIMISATION PAR COLONIES DE FOURMIS

Les algorithmes de colonies de fourmis forment une classe des métaheuristiques récemment proposée pour des problèmes d'optimisation difficile. Ces algorithmes s'inspirent des comportements collectifs de dépôt et de suivi de piste observés dans les colonies de fourmis. Une colonies d'agents simples (les *fourmis*) communiquent indirectement via des modifications dynamiques de leur environnement (les *pistes de phéromones*) et construisent ainsi une

solution à un problème en s'appuyant sur leur expérience collective.

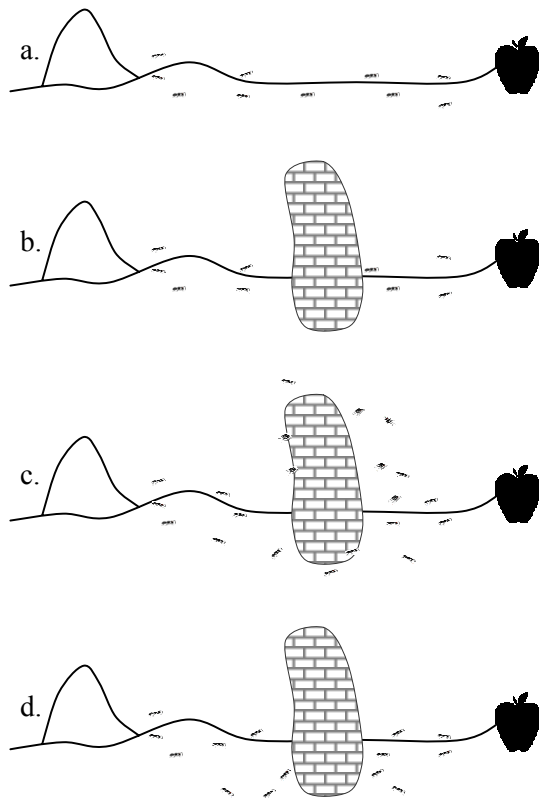
Cette partie insiste dans un premier temps sur l'aspect biologique constituant les fondements de ces algorithmes. La section suivante décrit en détail l'algorithme de colonies de fourmis tel qu'il a été proposé initialement [Colomi *et al.*, 1992]. Enfin, nous présenterons les modifications que nous avons dû apporter à l'algorithme afin de l'utiliser dans le cadre qui nous intéresse : un site de e-learning adaptatif.

### 2.1 – Des fourmis réelles ...

La nature nous permet de rapprocher modélisation et réalité sans toutefois obtenir un résultat parfait. Elle nous inspire souvent les idées qui permettent de mieux résoudre certains problèmes. Nous allons dans cette partie nous intéresser plus particulièrement aux fourmis qui arrivent à résoudre collectivement des problèmes trop complexes pour un seul individu, notamment les problèmes de choix lors de l'exploitation de sources de nourriture.

Ces petits insectes existent sur la Terre depuis au moins 100 millions d'années et seraient entre 120 et 130 milliards. On en connaît près de 12000 espèces, il en existerait en fait plus de 20000 ! Elles vivent en société et leur particularité est que tous les êtres d'une colonie sont apparentés et solidaires : de leurs comportements individuels émerge un comportement collectif. Cela est dû au fait qu'elles emploient pour communiquer des substances volatiles appelées *phéromones*. Les fourmis sont très sensibles à ces substances, qu'elles perçoivent grâce à des récepteurs situés dans leurs antennes. Elles déposent des phéromones au sol, grâce à une glande située sous leur abdomen, et forment ainsi des pistes odorantes qui pourront être suivies par leurs congénères. Les fourmis utilisent ces pistes pour marquer leur trajet, par exemple entre le nid et une source de nourriture. Une colonie est ainsi capable de choisir (sous certaines conditions) le plus court chemin vers une source à exploiter [Goss *et al.*, 1989][Beckers *et al.*, 1992], sans que les individus aient une vision globale du trajet à suivre [Hölldobler et Wilson, 1990].

De plus, elles peuvent également s'adapter aux changements pouvant survenir dans leur environnement. En effet, elles arrivent à trouver un nouveau chemin plus court vers la nourriture alors que l'ancien n'est plus praticable suite à l'apparition d'un obstacle.



**Figure 1. Comportement des fourmis face à un obstacle**

Les fourmis se déplacent suivant une ligne droite reliant leur nid à une source de nourriture (cf. **Figure 1.a**). Durant leur progression, les insectes libèrent une certaine quantité de phéromones ; cette trace attire les autres fourmis, qui choisissent ainsi les chemins les plus riches en phéromones. Ce comportement élémentaire permet d'expliquer comment les fourmis peuvent trouver le chemin le plus court qui permet de connecter à nouveau un trajet interrompu par l'apparition soudaine d'un obstacle inattendu (cf. **Figure 1.b**). En fait, les fourmis qui se trouvent juste devant l'obstacle ne peuvent continuer à suivre

la piste de phéromone ; elles doivent donc choisir d'aller soit à droite soit à gauche. Dans cette situation, nous pouvons penser que globalement, une moitié des fourmis contournera l'obstacle par la droite tandis que l'autre moitié passera par la gauche (cf. **Figure 1.c**). Le chemin le plus court étant aussi le plus rapide, la quantité de phéromones déposées augmentera plus vite. Une piste présentant une plus grande concentration en phéromones est plus attirante pour les fourmis, elle a donc une *probabilité* plus grande d'être empruntée. La piste courte va alors être plus renforcée que la longue, et, à terme, sera choisie par la grande majorité des fourmis qui se rendront de leur nid à la source de nourriture (cf. **Figure 1.d**).

À ce mécanisme déjà très efficace, s'ajoutent deux autres phénomènes que l'on ne peut négliger :

- Certaines fourmis peuvent s'éloigner de la piste de phéromones. Si par chance, une fourmi égarée trouve un nouveau chemin plus court, la trace de phéromones qu'elle laissera derrière elle permettra aux autres membres de la colonie de suivre le même raccourci.
- Les phéromones ne sont pas éternelles : elles s'évaporent avec le temps. Ainsi un chemin qui est peu ou pas emprunté par les fourmis verra sa concentration en phéromones diminuer.

L'action conjuguée de ces trois processus fait que les chemins établis ne sont pas statiques et évoluent en fonction de l'environnement. En effet, les fourmis ne communiquent pas directement entre elles. Les échanges d'informations passent par une modification de l'environnement (en l'occurrence les concentrations locales de phéromones). Ce mode de communication indirect a été baptisé *stigmergie* [Grassé, 1959].

## 2.2 – ... aux fourmis artificielles

C'est en s'inspirant de ces constatations réalisées sur les fourmis que l'approche « d'optimisation par colonies de fourmis »

(« Ant Colony Optimization » en anglais)<sup>2</sup> a été proposée [Dorigo *et al*, 1996] et appliquée à des problèmes classiques d'optimisation NP-difficiles ainsi qu'à des problèmes dynamiques. On peut retenir des performances particulièrement intéressantes dans le cas du problème du voyageur de commerce [Dorigo et Gambardella, 97a, 97b], de l'affectation quadratique [Stützle et Hoos, 00], de problèmes de planification [Merkle *et al*, 00], de l'ordonnement séquentiel [Gambardella *et al*, 99b] ou du routage sur réseau [DiCaro et Dorigo, 98].

Le problème du voyageur de commerce (« Travelling Salesman Problem », TSP) a fait l'objet de la première implémentation d'un algorithme de colonies de fourmis : le « Ant System » (AS)

### 2.3 – Pistes pour l'application au e-learning

La modélisation d'un cours sous forme d'un graphe orienté permet d'appliquer cet algorithme au e-learning. Chaque nœud du graphe représente une leçon, chaque arc orienté, la possibilité de passer de cette leçon à une autre. L'enseigné peut alors être assimilé à la fourmi qui recherche le meilleur chemin pour parvenir au but, réussir les tests liés à la dernière leçon de ce cours. Grâce aux phéromones laissées par l'enseigné au fil de son apprentissage, de ses échecs et de ses succès, le chemin à suivre se dessine peu à peu.

## 3 – L'INDIVIDUALISME CHEZ LA FOURMI

L'algorithme ACO nous permet donc de déterminer le meilleur parcours pédagogique possible pour l'ensemble de la communauté. Tel quel, il sacrifie donc l'intérêt particulier à l'intérêt général, et n'autorise pas la prise en compte des individualités.

Il faut donc introduire dans l'algorithme une dose d'individualisme. L'objectif n'est plus d'obtenir un et seul parcours commun à toutes les fourmis mais un ensemble de parcours, chacun adapté à une catégorie d'individus.

Il a été proposé de prendre en compte comme premier facteur individuel, un facteur d'oubli, les connaissances apprises disparaissant au fil du temps.

Nous étendons cette proposition en suggérant un premier ensemble de facteurs et en montrant comment les composer. La formule de calcul du *fitness* devient donc :

$$F(e, l) = P(e, l)(\omega_S W + \omega_S S - \omega_F F)$$

Soit

$$F(e, l) = (\beta_1 P_1 + \dots + \beta_n P_n) * (\omega_S W + \omega_S S - \omega_F F)$$

Les coefficients  $\beta_1$  à  $\beta_n$  permettent de pondérer l'importance des différents facteurs d'individualité, ici  $P_1$  à  $P_n$ . Le premier que nous avons introduit est la préférence d'un individu pour le texte, les images ou les animations. Il est en effet de coutume de dire qu'une bonne image vaut mieux qu'un grand discours mais c'est là un avis général. Certains vont au contraire préférer les explications sous forme de texte, et pourquoi ne pas les satisfaire quand cela est possible ? De même, certains vont préférer passer de la théorie à la pratique tandis que d'autres vont préférer comprendre la théorie à travers de multiples exemples. Si l'on reprend l'analogie avec le présentiel, certains vont préférer les travaux dirigés tandis que d'autres vont préférer les cours.

À côté de ces paramètres dépendant directement de la manière qu'a l'enseigné d'appréhender la connaissance, il existe d'autres informations que l'on peut retirer de l'observation de l'enseigné pendant l'enseignement. Le temps est l'une de ces informations : on peut en effet estimer que le temps mis pour résoudre un exercice ou le temps mis pour lire et comprendre un cours est une indication quant à la compréhension de

---

<sup>2</sup> Nous utiliserons le sigle ACO dans la suite de cet article pour désigner l'approche d'optimisation par colonies de fourmis.

l'enseigné : plus le temps est important, plus la compréhension est difficile. De même, si lors de la lecture d'un cours, l'enseigné demande l'information sur un sujet vu précédent (via un lien hypertexte par exemple), c'est que ce sujet n'a pas été entièrement assimilé.

#### 4 – MISE EN PRATIQUE

Pour tester nos idées, nous avons en tout premier lieu décidé des critères d'individualisme que nous allons prendre en compte. Nous avons opté pour le critère simple, car fixé lors de la construction d'une page, de la représentation : l'enseigné préfère un cours textuel, un cours illustré ou un cours multimédia. Nous avons ensuite décidé d'utiliser ce critère sur un pseudo-cours d'algorithmique. Pseudo-cours, car nous ne voulions pas, dans un premier temps, monter un véritable cours spécifique pour le E-learning, tâche très consommatrice de temps, mais uniquement avoir un support de test.

Notre cours se compose donc d'une suite de pages dont le contenu est sans importance. Ce qu'il convient par contre de noter, c'est que nous disposons pour, chaque étape du parcours, trois pages sont disponibles, représentant l'aspect textuel, l'aspect graphique ou l'aspect multimédia du cours.

Le premier besoin est donc de pouvoir identifier le type de chaque page. Pour ceci, nous introduisons une nouvelle balise. Ses attributs nous permettent de véhiculer toutes les informations voulues. Celles-ci sont extraites lors de l'initialisation du site des pages<sup>3</sup> et rangées dans une base de données. L'accès ultérieur aux diverses caractéristiques des pages est ainsi accéléré.

---

<sup>3</sup> Actuellement les informations concernant les pages sont entrées manuellement dans la base de données.

Dans la phase actuelle de développement, l'édition des pages de cours doit se faire « à la main ». Il est certain qu'un logiciel dédié devra être développé afin de faciliter l'utilisation de ces nouvelles balises. Ce logiciel devra de la même manière conduire les gens dans l'utilisation des évaluateurs que nous fournissons. Nous appelons *évaluateurs* de petits morceaux de code que l'enseignant utilise pour la mise en place dans ses cours d'actions telles que la détection de l'impression d'un document, le temps passé pour résoudre un exercice ou l'enregistrement des liens d'aide suivis.

Il nous fallait ensuite tester le comportement de notre algorithme. L'algorithme ACO, comme tous les algorithmes évolutionnistes, nécessite une population et un nombre d'itérations, ici de parcours, importants. Ce nombre ne peut être obtenu de manière naturelle. Nous avons repris existante et développé des robots pour représenter les étudiants. Un robot est un petit programme dont nous pouvons fixer les caractères d'individualité, soit de manière aléatoire, soit manuellement. Nous avons ainsi, dans un premier temps, un nombre potentiellement très grand d'enseignés. Ceux-ci ne remplacent évidemment pas entièrement l'expérimentation mais nous permettent de tester le processus d'individualisation et d'initialiser différents parcours pédagogiques, pour différentes catégories d'enseignés.

#### 5 – CONCLUSION

Dans ce rapport, nous avons présenté des pistes pour trouver un moyen de compenser l'absence de l'enseignant sur les sites Web d'e-learning. Ce travail repose sur l'utilisation d'un algorithme de colonie de fourmis que nous adaptons pour offrir une personnalisation plus importante de l'enseignement à l'enseigné. Notre démarche s'appuie sur le fait de caractériser, de profiler les enseignés pour leur faire profiter des expériences déjà acquises par autres enseignés au même profil.

Ce travail en est au tout début et de nombreuses perspectives d'évolution intéressantes se présentent à nous. Parmi les plus importantes se place le souhait de poursuivre le développement d'un site d'e-learning mettant en œuvre nos idées dans un contexte réel. Citons également d'autres aspects pratiques comme l'amélioration des robots étudiants qui permettent un apprentissage rapide et efficace pour l'algorithme choisi qui peut lui-même être développé. Enfin, nous étudions aussi la possibilité de remplacer l'algorithme de colonie de fourmis par d'autres pour pouvoir comparer leurs mérites respectifs, voire proposer des solutions mixtes.

## BIBLIOGRAPHIE

- Beckers, R., Deneubourg, J.-L., et Goss, S. (1992), « Trails and U-Turns in the Selection of the Shortest Path by the Ant *Lasius Niger* », *Journal of Theoretical Biology*, Tome 159, pages 397-415.
- Colomi, A., Dorigo, M., et Maniezzo, V. (1992), « Distributed Optimization by Ant Colonies », *Proceedings of ECAL '91 – First European Conference on Artificial Life*, édité par F. Varela, et al., pages 134-142. Elsevier Publishing, Paris, France.
- DiCaro, G., et Dorigo, M., (1998), « AntNet : Distributed Stigmergic Control for Communication Networks », *Journal of Artificial Intelligence Research*, Tome 9, pages 317-365.
- Dorigo, M., Maniezzo, V., et Colomi, A., (1996), « The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents », *IEEE Transaction on Systems and Cybernetics*, Tome B, n° 26, pages 29-41.
- Dorigo, M., et Gambardella, L., (1997a), « Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem », *Biosystems*, Tome 43, pages 73-81.
- Dorigo, M., et Gambardella, L., (1997b), « Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem », *IEEE Transaction on Evolutionary Computing*, Tome 1, pages 53-66.
- Goss, S., Aron, S., Deneubourg, J.-L., et Pasteels J.-M. (1989), « Self-Organized Shortcuts in Argentine Ant », *Naturwissenschaften*, Tome 76, pages 579-581.
- Gambardella, L., Taillard, E., et Agazzi, G., (1999), « MACS-VPTW : A Multiple Ant Colony System for Vehicle Routing Problems with Time Windows », *New Ideas in Optimization*, pages 63-67, McGraw Hill, London, UK.
- Grassé, P.P. (1959), « La reconstruction du nid et les coordinations inter-individuelles chez les *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. La théorie de la stigmergie : Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs », *Insectes sociaux*, Vol.6, pages 41-80.
- Hölldobler, B., et Wilson, E. (1990), *The Ants*, Springer Verlag.
- Merkle, D., Middendorf, M., et Schmek, H., (2000) « Ant Colony Optimization for Resource-Constrained Project Scheduling », *Proceedings of GECCO-2000 – Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pages 839-900, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA.
- Stützle, T., et Hoos, H., (2000), « MAX-MIN Ant System », *Future Generation Computer System*, Tome 16, pages 889-914.