

# Fourmis Virtuelles

Valvassori Moïse

matricule :149397up8

13 mars 2001

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Dans la nature</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Description de l'interface</b>	<b>2</b>
3.1	Fenêtre principale . . . . .	3
3.2	Fenêtre d'options . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Description de la simulation</b>	<b>3</b>
4.1	Comportement des fourmis . . . . .	4
4.2	Algorithme de diffusion des phéromones . . . . .	6
4.2.1	Simulation du vent . . . . .	6
4.3	Description d'un cycle de collecte . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Exploration</b>	<b>7</b>
5.1	Efficacité des phéromones . . . . .	7
5.2	Le hasard génère l'ordre . . . . .	8
<b>6</b>	<b>Conclusion</b>	<b>9</b>

*«-Dis, elles meurent jamais tes fourmis ?  
- Non, ce sont pas des vraies»  
entendu au bocal*

## 1 Introduction

Pour ce projet, je présente une simulation de collecte de nourriture par une colonie de fourmis. On y voit des fourmis former des chemins entre la nourriture et le nid.

Dans un premier temps, j'évoquerai les travaux des éthologues. Puis je donnerai le mode d'emploi de la simulation. Ensuite il sera temps d'expliquer le fonctionnement interne de la simulation. Je terminerai en décrivant deux expériences réalisées avec ce simulateur répondant aux questions : "La stratégie des fourmis est-elle efficace ?" et "Comment être encore plus efficace ?"

## 2 Dans la nature

Le modèle présenté ici s'appuie sur le comportement de fourmis naturelles. D'après [?], les fourmis sont capables de choisir le chemin le plus court pour aller à une source de nourriture ainsi que de choisir la source la plus riche.

Pour cela, lorsque la fourmi trouve de la nourriture elle rentre au nid en posant sur le sol une phéromone de recrutement. Or les fourmis sont attirées par cette phéromone. Lorsqu'elles passent à un endroit où il y a une phéromone de recrutement, elles suivent la trace définie par celle-ci.

De plus, la quantité de phéromones est proportionnelle à la quantité de nourriture trouvée. Donc comme elles suivent la piste la plus concentrée, elles ont tendance à sélectionner la source abondante.

## 3 Description de l'interface

Le programme tourne sur un système GNU + Linux. L'interface de cette fourmilière est réalisée à l'aide de la bibliothèque graphique DTK. Cette bibliothèque a été réalisée par mes soins lors de mes dernières aventures en DEUG. L'interface est composée de deux : une fenêtre principale où évoluent les fourmis et une seconde fenêtre où l'on fixe les paramètres.

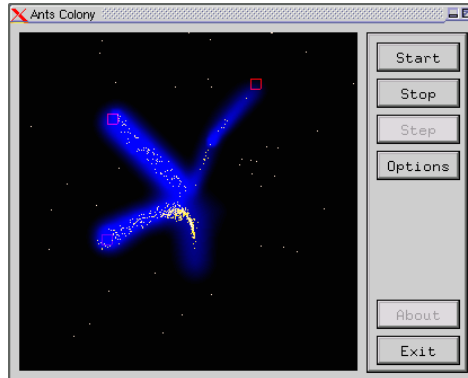


FIG. 1 – Un exemple de ce que l'on peut voir sur l'écran

### 3.1 Fenêtre principale

Cette fenêtre contient essentiellement la zone destinée à afficher la simulation. Néanmoins sur la côté droit de la fenêtre, il y a quelques boutons qui servent à démarrer ou arrêter la simulation, ouvrir la fenêtre d'options ou bien encore sortir du programme.

Si pendant une simulation, on passe sur la fenêtre avec le bouton gauche de la souris enfoncé, cela efface les phéromones sous celle ci.

### 3.2 Fenêtre d'options

On peut paramétrer trois catégories d'options :

- On peut choisir le nombre de fourmis impliquées dans la simulation. Une option permet de désactiver les phéromones (voir page 7). Une autre permet de rajouter du «bruit» au fourmis (voir page 11).
- On peut imposer le nombre de points de nourriture ainsi que leurs répartitions. On peut placer la nourriture :
  - soit sur un cercle centré sur le nid de rayon 100,
  - soit sur une spirale centré sur le nid de rayon minimal 40 et de rayon maximal 140,
  - ou bien finalement de façon totalement aléatoire.
- On peut aussi choisir la direction et la force du vent.

## 4 Description de la simulation

Cette simulation se rapproche d'un automate cellulaire. Je me suis directement inspiré de l'automate décrit dans [?]. Le monde étudié est composé d'une grille carré fermé. Les éléments de cette grille sont appelés «*cellule*».

On peut faire un analogie avec les cellules d'une ruche à miel. Dans cette simulation, les cellules sont carrés. Chacune d'elle est composée de quatre parties (voir figure 2) :

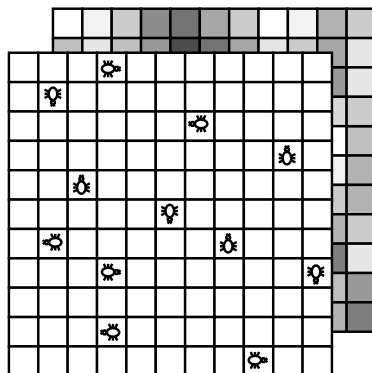


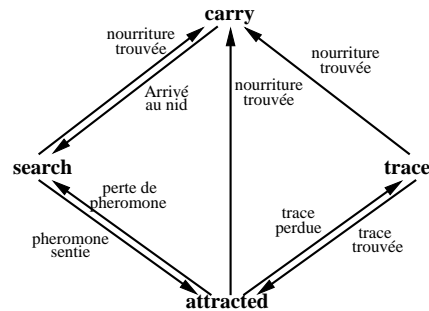
FIG. 2 – Le point de vue des fourmis : une couche où elles évoluent, une autre où sont déposés les phéromones

1. une couche qui contient les phéromones du nid. Ces phéromones sont plus concentrées autour du nid. Cela forme donc un gradient radial centré sur le nid. Elles servent aux fourmis à localiser le nid.
2. une couche qui supporte les phéromones de recrutement. Ces phéromones sont lâchées par les fourmis qui portent de la nourriture.
3. Une couche contient la nourriture. Chaque dépôt de nourriture contient une quantité fixée de nourriture.
4. Les fourmis se déplacent sur une couche virtuelle. Chaque fourmi connaît sa position sur la couche et son état (attiré, porte de la nourriture, cherche). La virtualité de cette couche vient du fait qu'une cellule peut contenir plusieurs fourmis. Comme dans cette simulation, le nombre de fourmis est fixé arbitrairement, on peut imaginer qu'une cellule contienne une infinité de fourmis. Ce dernier point fait que notre simulation ne peut pas être décrite avec un automate cellulaire car le nombre d'état d'une cellule doit être fini.

## 4.1 Comportement des fourmis

Les fourmis ont un comportement individuel très simple. Le premier point est qu'elles sont immortelles. Il peut être décrit grâce à l'automate de la figure 4.1.

Cet automate possède quatre états :



**search** : La fourmis cherche de la nourriture ou des phéromones. La fourmis se déplace aléatoirement. Si elle trouve de la nourriture, elle passe dans l'état *carry*, et si elle trouve une phéromone, elle passe dans l'état *attracted*.

**attracted** : Dans cet état la fourmi est attirée par les phéromones. Elle se dirige vers l'endroit où il y a le plus de phéromones. Si les phéromones sont suffisamment concentrées, la fourmi va dans l'état *trace*. Par contre si les phéromones ne sont pas assez concentré, elle revient dans l'état *search*. Si elle trouve de la nourriture, elle passe à l'état *carry*.

**trace** : Une fourmis est dans cet état si elle est soumise à une forte concentration de phéromones. La fourmi s'éloigne alors de la fourmilière en allant là où il y a le moins de phéromones de nid. Si la concentration en phéromones baissent trop, la fourmi repasse en mode *attracted*. Bien sûr, si elle trouve de la nourriture, elle va dans l'état *carry*.

**carry** : Une fourmi est dans cet état si elle transporte de la nourriture. Elle rentre au nid en suivant les phéromones de nid tout en posant des phéromones de recrutement. Un fois qu'elle est au nid, elle repasse en mode *search*. La concentration de la phéromones lâchées est fonction de la quantité de nourriture trouvé. Plus il y a de nourriture plus la fourmis pose de phéromone.

Les différents seuil de passage d'un état à l'autre sont fixé dans le programme. Ils ont été trouvé par essai-erreur. Si le seuil du mode *trace* est trop haut les fourmis restent bloquées dans l'état *attracted* et ne vont jamais chercher la nourriture. Si le seuil est trop bas, elles peuvent passer à côté de la nourriture sans la prendre (la trace est plus large que la nourriture).

Le modèle présenté ici marche plutôt bien. Mais on peut l'améliorer en rajoutant du bruit dans le comportement des fourmis. Le comportement est, dans ce cas, visuellement plus réaliste. J'en discute plus longuement dans la section 5.

## 4.2 Algorithme de diffusion des phéromones

Pour diffuser les phéromones, je réalise une convolution sur l'ensemble des phéromones.

**for all** cellules **do**

Mélanger les phéromones avec celles des cellules voisines

**end for**

L'opération peut être décrite par la formule suivante :

$$\Gamma_m = \frac{\sum_{\forall i \in V(m)} \alpha_i \Gamma_i + \alpha_m \Gamma_m}{\sum_{\forall i \in V(m)} \alpha_i + \alpha_m}$$

avec  $\alpha_i = 1 \ \forall i \in \text{voisinage de } m$ .

Cette méthode présente l'avantage d'être rapide et facile à mettre en oeuvre. Par contre, on peut difficilement la paramétrer.

Cet algorithme de diffusion est assez éloigné du modèle physique. Un algorithme basé sur le modèle physique pourrait être :

**for all** cellules **do**

Donner une peu de mes phéromones à mes voisines

(recevoir des phéromones de mes voisins)

Perdre un peu de phéromone dans la nature

**end for**

D'un point de vue plus mathématique, cela peut donner quelque chose comme ceci :

$$\Gamma_m = \Gamma_m - \sum_{\forall i \in V(\Gamma_m)} \alpha_{mi} \Gamma_m + \sum_{\forall i \in V(\Gamma_m)} \alpha_{im} \Gamma_i - \gamma_m \Gamma_m$$

avec

- $\Gamma_m$  : Concentration au point  $m$
- $V(x)$  : Voisinage du point  $x$
- $\alpha_{ij}$  : coefficient de propagation de la cellule  $i$  vers la cellule  $j$ .
- $\gamma_m$  : coefficient d'évaporation

### 4.2.1 Simulation du vent

J'ai rajouté dans cette simulation. On peut choisir la direction et la force de celui ci.

Le calcul des effets du vent s'effectue avec le même algorithme décrit précédemment. Seul les coefficients  $\alpha_i$  changent.

$$\alpha_i = C + F(\cos(\theta_i) \cos(\varphi) + \sin(\theta_i) \sin(\varphi))$$

avec :

- C : Constante sans le vent.
- F : Force du vent
- $\theta_i$  : Angle du point  $i$  par rapport aux point que l'on cherche à calculer.
- $\varphi$  : Angle du vent

Cette formule sert à faire «résonner» les coefficients. Plus les coefficients sont en phase avec le vent et plus ils sont forts.

### 4.3 Description d'un cycle de collecte

Au démarrage de la simulation, les fourmis sortent du nid et parcourent leur monde aléatoirement. Lorsque une fourmis trouve de la nourriture, elle revient au nid en posant des phéromones sur le sol. Une fois arrivé au nid, sous l'action des phéromones qu'elle vient de poser, elle cherche à revenir vers la nourriture. Pendant ce temps, toutes les fourmis qui se sont approchées de son sillage ont été attiré par les phéromones et cherche à aller vers la nourriture. Si une fourmi atteint la nourriture, elle revient au nid en renforçant la trace.

Lorsque la nourriture est épuisée, les fourmis sont toujours sous l'action des phéromones. Celle-ci continue à se diffuser. Cela provoque une concentration des fourmis à l'endroit où il y a le plus de phéromones. Lorsque il n'y en a plus, les fourmis se remettent en quête de nourriture.

## 5 Exploration

Dans cette partie, je vais décrire quelques expériences que j'ai fais «subir» à mes fourmis.

### 5.1 Efficacité des phéromones

Une des première question que je me suis posé a été de savoir si la méthode de recrutement utilisant des phéromones est efficace.

Un moyen de le vérifier est de supprimer les phéromones. J'ai réalisé une série de collecte avec puis sans les phéromones.

L'expérience se déroule de la manière suivante : je pose une unité de nourriture sur le sol à une distance de 100. Puis je lance la simulation avec un nombre donné de fourmi et je note l'instant où il n'y plus de nourriture. Les résultats de cette expérience sont reportés dans la figure 3.

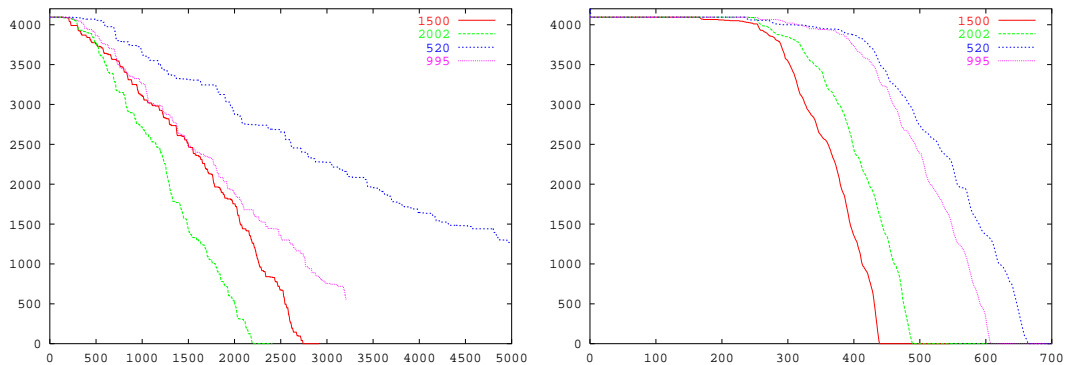


FIG. 3 – Évolution de la quantité de nourriture au cours du temps. À gauche, les fourmis ne laissent pas de phéromones de recrutement. À droite, elles utilisent les phéromones de recrutement. Sur chaque des figures, l'axe des abscisses représente le temps et l'axe des ordonnées la quantité de nourriture présente dans la monde

Lorsque les phéromones sont désactivées, les fourmis se déplacent aléatoirement. Puis lorsqu'elles trouvent la nourriture, elles rentrent au nid sans poser de phéromones. Une fois au nid, elle se redéplacent aléatoirement.

Sur la figure, on voit qu'une fois que les fourmis ont atteint la nourriture, elle collecte celle-ci de façon linéaire. Plus le nombre de fourmis est grand plus la pente est grande. Cela semble normal vu que la concentration est plus grande.

Lorsque les phéromones sont activées, une fois que les fourmis ont atteint la nourriture, on observe deux phases :

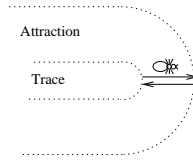
- les premières fourmis rentrent au nid en posant leurs phéromones. Elles attirent leurs semblables qui sont dans le voisinage. Pendant cette phase, la courbe décroît de plus en plus vite.
- dans un second temps, le nombre de fourmis se faisant recruter se stabilise. La courbe tend à devenir linéaire. Le coefficient directeur de cette droite est nettement plus élevé que sans les phéromones.

## 5.2 Le hasard génère l'ordre

Lors de mes premières expérimentations avec ce simulateur, j'ai remarqué qu'il se produisait un phénomène oscillatoire qui n'était pas prévu.

Lorsque une trace active se met en place, il arrive que les fourmis passent derrière la nourriture. Comme les fourmis sont en mode *trace*, elles cherchent à s'éloigner du nid. Ne trouvant de nourriture, elles arrivent en fin de trace. Les phéromones sont moins concentrées et les fourmis passent en mode *attrac-*





tion donc partent dans le sens opposé et repassent en mode *trace*. Pendant ce temps, comme aucune des fourmis ne prend de nourriture, la concentration en phéromones diminue jusqu'à ce qu'une des fourmis trouve la nourriture. Portant de la nourriture, cette fourmi refait monter la concentration, et le reste des fourmis continues d'osciller. On peut voir ces oscillations sur la figure 4. Sur cette figure, on voit très clairement les fourmis osciller entre l'état *trace* et l'état *attraction*. Ces oscillations ne seraient pas gênantes si elles n'entraînaient pas une chute du nombre de fourmis rentrant au nid.

Pour essayer de réduire ce phénomène, j'ai appliqué la recommandation de Resnick [?] : «L'aléatoire peut aider à créer l'ordre». J'ai donc rajouté un peu de bruit dans le comportement de mes fourmis :

- une fourmis dans la mode *attraction* passent dans le mode *search* 15% du temps
- une fourmis dans la mode *trace* passent dans le mode *search* 30% du temps

J'ai moi même choisi ces coefficients de façon pseudo aléatoire. Le taux apparemment élevé de 30% ne “casse” pas le système. Au contraire, comme en témoigne la figure 5. On y voit que les oscillations ont disparu et que le nombre de fourmis portant de la nourriture est continu. À un niveau individuel les oscillations n'ont pas disparu. Mais au niveau du système, il y a un nombre continu de fourmi dans chaque état.

Dans [?], ils explorent une méthode dites de «*desensibilisation*» qui consiste à mettre une fourmi dans l'état *search* quand les phénomènes sont trop concentrées. Je n'est pas implémentés cette méthode. Dans leur modèle cela permet d'éviter que toutes les fourmis se concentre sur une piste et de continuer l'exploration du monde. Mais je pense qu'elle pourrait aussi aider à éviter les oscillations.

## 6 Conclusion

«*Et quand elles ont plus de bouffe, elles se bouffent entre elles ?*»

entendu au bocal

Cette simulation donne d'assez bon résultat graphique. Les fourmis ont un comportement proche des fourmis naturelles.

Cette simulation peut bien entendu être améliorée. Notamment, je pourrais rajouter des obstacles.

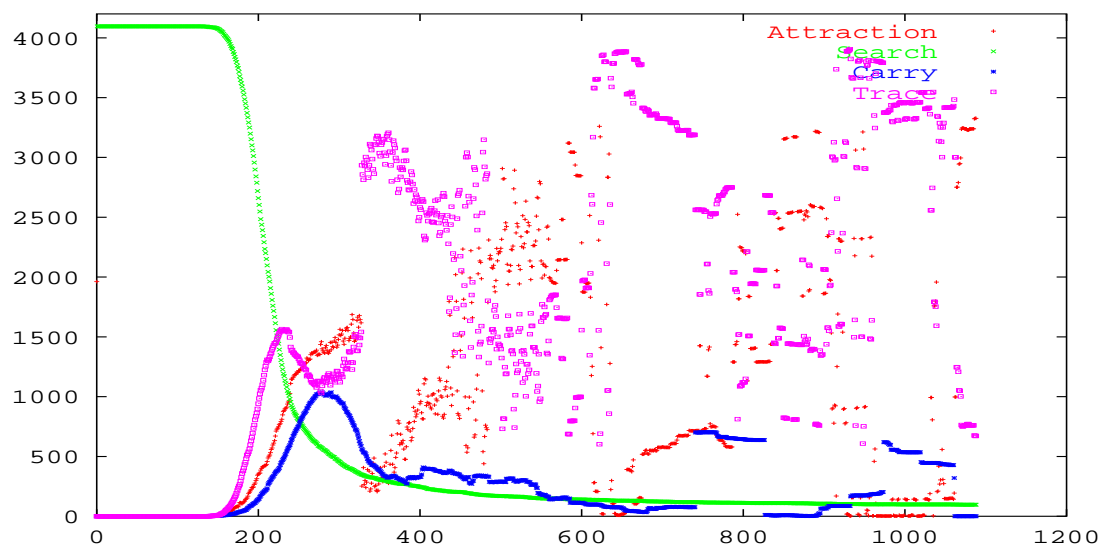


FIG. 4 – Répartition des fourmis dans les différents états de l'automate. 4096 fourmis partent à l'assaut de cinq points de nourriture disposés en cercle. Dans cet essai, les mouvements n'étaient pas bruités. (En abscisse, le temps. En ordonnée, le nombre de fourmi dans chacun des états)

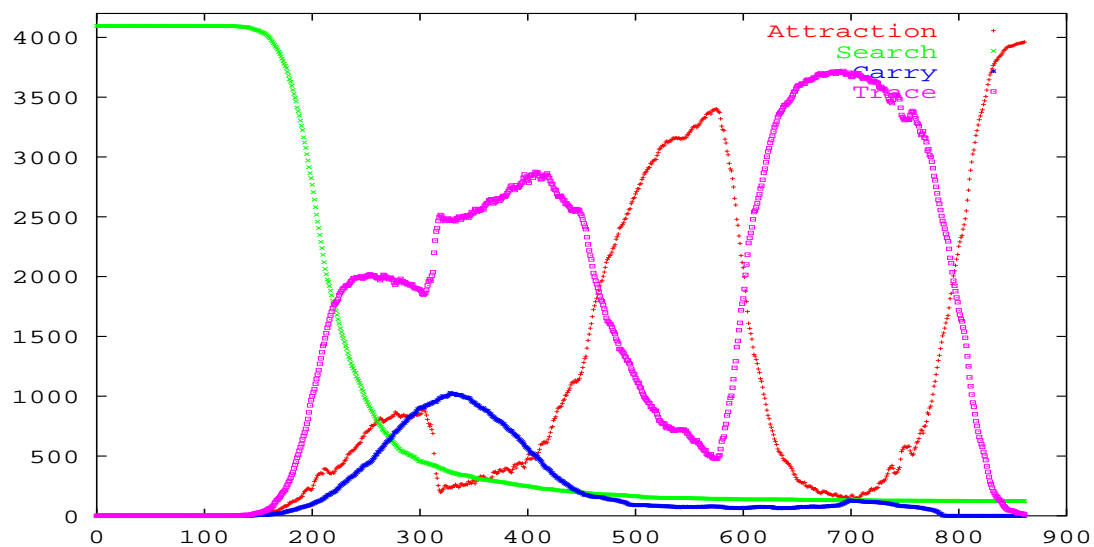


FIG. 5 – 4096 fourmis s'attaquent à cinq points de nourriture. Cette fois-ci leurs mouvements sont bruités.