

ANALYSE DE SENSIBILITÉ D'UN MODÈLE DE PISTES CHEZ LES FOURMIS LASIUS NIGER

Présenté par : SBAI Chaker

**Sous la Direction de : P. DEGOND, C. JOST et G. DIMARCO
Institut de Mathématiques de Toulouse et Centre de Recherches sur la
Cognition Animale**

SFBT : 12 juin 2012

Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Présentation du modèle de pistes
- 3 Analyse de sensibilité du modèle
 - Modèle de piste avec angle de perception
 - Influence de l'angle de perception sur les pistes
 - Influence du taux de dépôt de phéromones sur les pistes
 - Influence du taux d'évaporation de phéromones sur les pistes
 - Influence de la diffusion de phéromones sur les pistes
- 4 Conclusion

Introduction

En suivant une piste chimique déposée par leurs congénères, les fourmis sont capables de se déplacer en un chemin coordonné en tant que groupe. Le marqueur chimique, appelé phéromone, est une substance volatile déposée sur le chemin des déplacements des fourmis. Comme une substance diffusée dans l'air, cela crée un couloir d'odeur auquel les autres fourmis répondent et s'orientent. L'utilité principale de pistes peut être chercher la nourriture et la ramener au nid ou migrer à un autre endroit.



Introduction

Dans cette communication, nous explorons comment des réseaux de pistes peuvent émerger à partir de comportements individuels simples et comment cette émergence dépend de certaines paramètres. Ces comportements individuels sont les taux de dépôt, la capacité de suivre une piste en fonction de la concentration de phéromone et l'attraction des pistes envers d'autres individus (recrutement des fourmis par une piste).



Introduction

On part d'un modèle publié dans la littérature (Boissard et coll., 2011). La dynamique des fourmis est discrète en temps et est succession de parcours libres dans un intervalle de temps Δt et de sauts de vitesse dans un espace 2D continue. On considère deux sortes de sauts de vitesse :

- les sauts purement aléatoires qui traduisent la capacité des fourmis à explorer un nouvel environnement,
- les sauts de recrutement par des phéromones.

Dans le cadre de notre modèle les phéromones sont orientées. Il a déjà été démontré que ces mécanismes suffisent pour créer un réseau de pistes (Boissard et coll., 2011).

Introduction

Dans ce travail, on regarde :

- L'influence des taux de dépôt sur l'apparition des pistes.
- L'influence des taux d'évaporation sur l'apparition des pistes.
- L'influence de l'angle de perception sur l'apparition des pistes.
- L'influence de la diffusion des phéromones sur l'apparition des pistes.



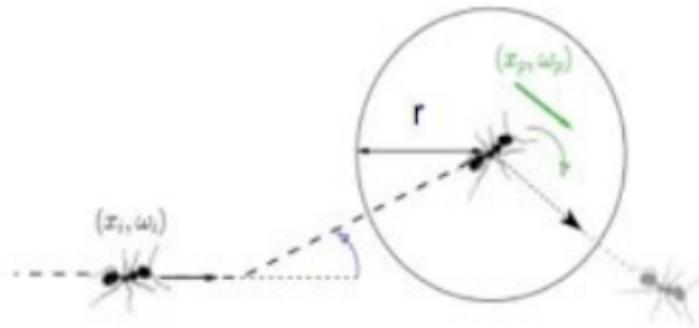


Figure: modèle de pistes : Les fourmis suivent un processus de marche aléatoire. Chaque fourmi se déplace sur une ligne droite jusqu'à ce qu'elle subisse un saut aléatoire de vitesse (gauche) ou un saut de recrutement de piste (droite). une fourmi de vitesse cw choisie w' parmi les directions de phéromones ou leur opposé d'une telle façon que l'angle $\widehat{(w, w')}$ est aigu, c'est-à-dire comme ceci $w \cdot w' > 0$.

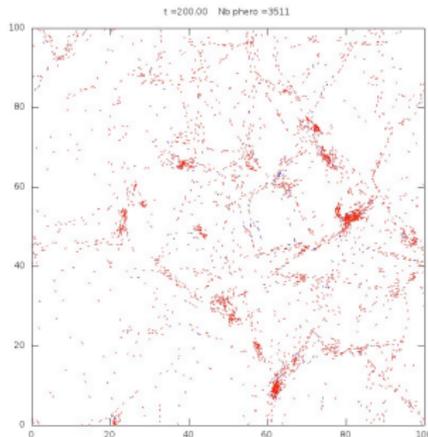


Figure: Apparitions des pistes de fourmis (bleu = fourmis; rouge = phéromones) au cours du temps de simulation ($t=146$ s).

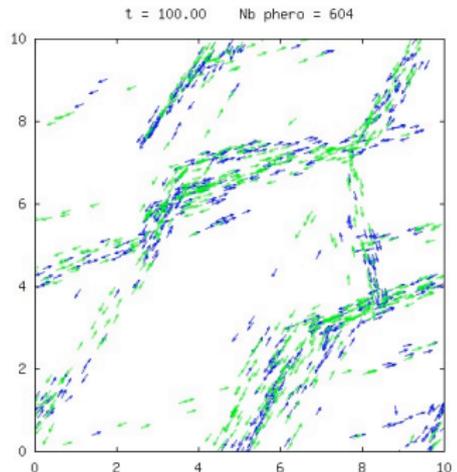


Figure: Apparitions des pistes de fourmis (bleu = fourmis; vert = phéromones) au cours du temps de simulation ($t=100$ s).

Un modèle cinétique est proposé par Boissard et coll., (2011).

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \partial_t F + c\omega \nabla_x F = Q_R(F) + Q_A(F), \\
 \partial_t G(X, \omega, t) = \gamma_d F(X, \omega, t) - \gamma_e G(X, \omega, t), \\
 Q_R(F)(X, \omega, t) = \gamma_R \nu(T_r(X, t)) \int_{\mathbb{S}^1} \phi_R(\omega, \omega') [h_R(\omega) F(X, \omega', t) - h_R(\omega') F(X, \omega, t)] d\omega', \\
 Q_A(F)(X, \omega, t) = \gamma_A \int \phi_A(\omega, \omega') [F(X, \omega', t) - F(X, \omega, t)] d\omega', \\
 h_R(\omega) = (g_r^{(sym)})^{[k]}(\omega), \quad g_r^{(sym)}(X, \omega, t) = \frac{S_r(X, \omega, t) + S_r(X, -\omega, t)}{2T_r(X, t)}, \\
 S_r(X, \omega, t) = \frac{1}{\pi r^2} \int_{|X-Y| < r} G(Y, \omega, t) dY, \quad T_r(X, t) = \int_{\mathbb{S}^1} S_r(X, \omega, t)
 \end{array} \right.$$

Les paramètres du modèle sont estimés à partir des expériences trouvés dans la littérature (R. Beckers et coll., 1992, A. Bernadou et coll., 2008, E. Casellas et coll., 2011).

	Paramètre	Valeur
L	longueur du carré de simulation	100 cm
N	nombre de fourmis	200
C	vitesse de fourmis	2 cm.s^{-1}
r	rayon de perception de phéromones	1 cm
γ_A	taux de changement aléatoire de direction	2 s^{-1}
γ_R	taux de recrutement de phéromones	2 s^{-1}
γ_d	taux de dépôt de phéromones	0.2 s^{-1}
γ_e	taux d'évaporation de phéromones	0.01 s^{-1}
T	temps de simulation	100 s
Δt	intervalle de discrétisation	0.1 s

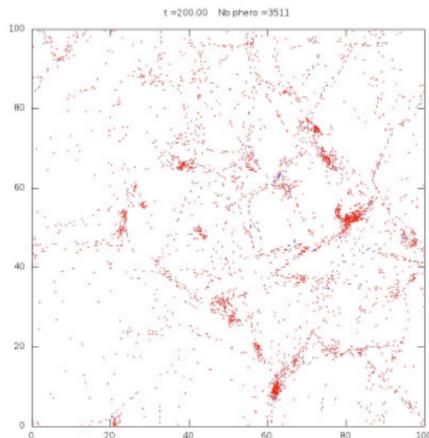


Figure: Apparitions des pistes de fourmis (bleu = fourmis; rouge = phéromones) au cours du temps de simulation ($t=146$ s).

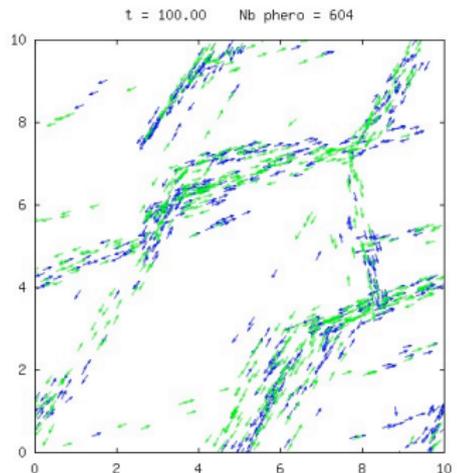


Figure: Apparitions des pistes de fourmis (bleu = fourmis; vert = phéromones) au cours du temps de simulation ($t=100$ s).

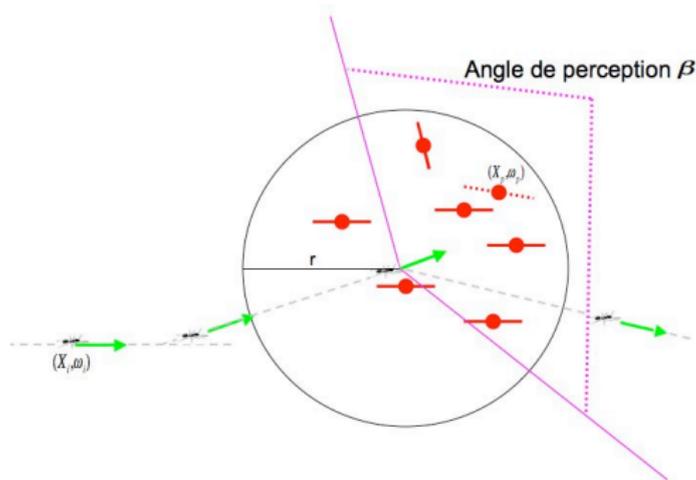


Figure: modèle de pistes avec angle de perception : chaque fourmi renouvelle sa direction en choisissant au hasard la direction (ou l'inverse de la direction) d'une des phéromones autour d'elle : le disque de rayon r et l'angle de perception déterminent quelles sont les phéromones prises en compte pour évaluer cette direction.

modèle de piste avec angle de perception

Les fourmis ne réagissent qu'avec les phéromones qui sont situées dans un cône de demi angle β par rapport à leur propre orientation. Dans le modèle cinétique ce qui change c'est l'expression de S_r , elle est donnée par l'expression suivante :

$$S_r(X, \omega, t) = \frac{1}{\pi r^2} \int_{|X-Y| < r; |\aleph| < \frac{\beta}{2}} G(Y, \omega, t) dY,$$

avec $\aleph = (\omega, \widehat{Y - X})$ l'angle entre ω et le vecteur $Y - X$.

Influence de l'angle de perception sur les pistes

Dans cette partie on analyse l'influence de l'angle de perception des fourmis sur la formation des pistes.

Pour tester la vitesse d'apparition des pistes, à chaque pas du temps t^n , pour chaque fourmi X_i on détermine la fourmi ou la phéromone la plus proche Z_j et on calcule le module du produit scalaire de vitesses de X_i et Z_j , ensuite on regarde l'évolution de la moyenne des modules des produits scalaires au cours du temps.

$$\left\{ \begin{array}{l} |X_i - Z_j| = \min \left\{ |X_i - \alpha|, \alpha \in \{X_k, Y_l; k \in \{1, 2, \dots, N\} \setminus \{i\}, \right. \\ \left. l \in \{1, 2, \dots, N_p^n\} \right\} \right\}, \\ M = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\omega_i \cdot \beta_j|, \end{array} \right.$$

avec N le nombre de fourmis, ω_i la vitesse de la fourmi X_i , β_j la direction de la fourmi ou la phéromone la plus proche Z_j et N_p^n le nombre de phéromones à l'instant t^n . Plus cette moyenne s'approche de 1 plus on a de fourmis alignées c'est à dire "apparition des pistes".

L'évolution de cette moyenne en fonction du temps et en fonction de l'angle de perception, montre que cette moyenne est croissante en fonction du temps. Comme la moyenne de la fonction $|\cos(\alpha)|$ définie par

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} |\cos(\alpha)| d\alpha = \frac{2}{\pi} = 0.636,$$

cela explique que la moyenne des produits scalaires commence à l'instant $t = 0$ s par $M(0) \simeq 0.64$, car à l'état initial les fourmis sont uniformément distribuées.

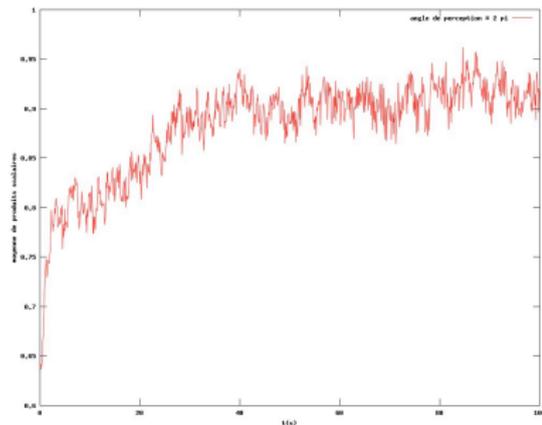
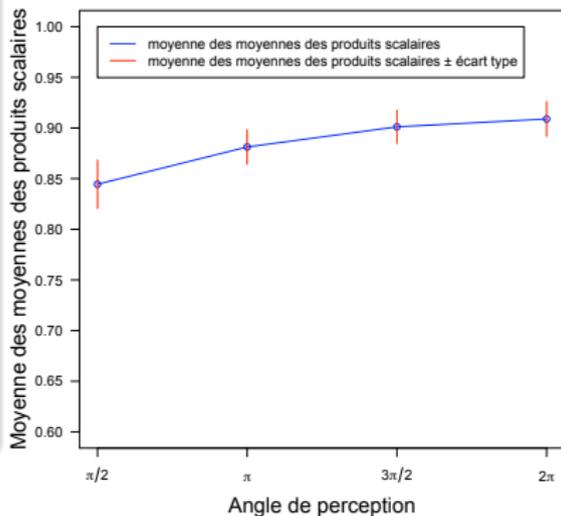


Figure: Évolution de la moyenne des produits scalaires au cours du temps : angle de perception = 2π .

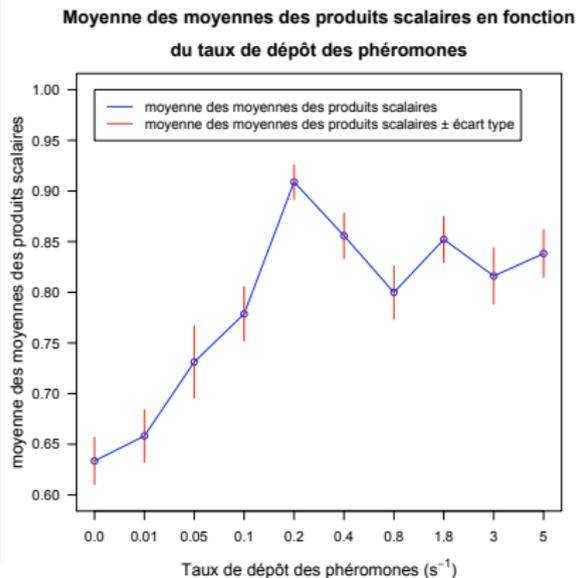
Les fourmis ont une tendance à s'aligner au cours du temps en formant des pistes. La vitesse d'apparition des pistes dépend de l'angle de perception, plus l'angle de perception est grand plus la moyenne des produits scalaires s'approche de 1.

La vitesse d'apparition des pistes est proportionnelle à l'angle de perception.

Moyenne des moyennes des produits scalaires en fonction de l'angle de perception

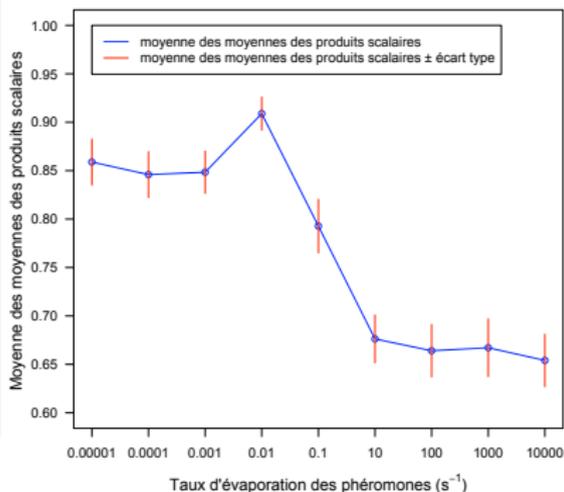


Pour les différentes valeurs de γ_d on a calculé la moyenne des moyennes des produits scalaires sur la partie stationnaire (entre 40 s et 100 s) puis on a tracé cette moyenne en fonction des taux de dépôt de phéromones. Cette dernière est croissante jusqu'à la valeur expérimentale ($\gamma_d = 0.02 \text{ s}^{-1}$), puis elle commence à converger. Cette moyenne est proportionnelle au taux de dépôt de phéromones



Pour les différentes valeurs de γ_e on a calculé la moyenne des moyennes des produits scalaires sur la partie stationnaire, puis on a tracé cette moyenne en fonction des taux d'évaporation de phéromones γ_e . Cette moyenne est inversement proportionnelle au taux d'évaporation de phéromones.

Moyenne des moyennes des produits scalaires en fonction du taux d'évaporation des phéromones



Influence de la diffusion de phéromones sur les pistes

Dans cette partie on cherche à analyser l'influence de la diffusion de phéromones sur la formation des pistes (on distingue la diffusion seulement spatiale et seulement angulaire et spatiale et angulaire en même temps), en effet les phéromones peuvent diffuser avant de s'évaporer.

La seule différence par rapport au modèle de pistes c'est que les phéromones ne sont pas stables mais elles peuvent diffuser.

Dans le modèle cinétique, On ajoute l'équation de diffusion des phéromones :

$$\partial_t G(X, \omega, t) = D \Delta G(X, \omega, t),$$

où D est le coefficient de diffusion des phéromones.

Dans la littérature $D = 10^{-2} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ (W. H. Bossert et E. O. Wilson, 1963).

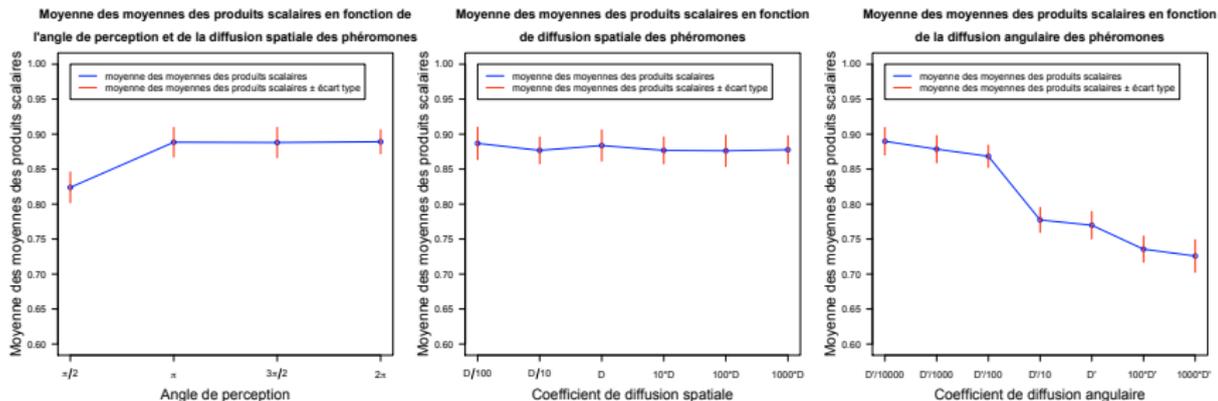


Figure: Moyenne des moyennes des produits scalaires en fonction de l'angle de perception et de la diffusion des phéromones : les figures de gauche à droite représentent les moyennes calculées à partir du modèle de pistes avec diffusion spatiale ($D = 10^{-2} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$), puis avec diffusion spatiale ($\beta = \pi$), enfin avec diffusion angulaire ($\beta = \pi$).

Influence de la diffusion de phéromones sur les pistes

Dans le cas de diffusion spatiale de phéromones, l'évolution de cette moyenne en fonction du temps et en fonction de l'angle de perception, montre que cette moyenne est proportionnelle à l'angle de perception.

Le coefficient de diffusion spatiale n'a pas d'influence remarquable sur la vitesse d'apparition des pistes. L'évolution de la moyenne des moyennes des produits scalaires en fonction de coefficient de diffusion angulaire montre que la vitesse d'apparition de pistes est inversement proportionnelle au coefficient de diffusion angulaire des phéromones.

Conclusion

- La vitesse d'apparition de pistes est proportionnelle à l'angle de perception de phéromones.
- La vitesse d'apparition de pistes est proportionnelle au taux de dépôt de phéromones.
- La vitesse d'apparition de pistes est inversement proportionnelle au taux d'évaporation de phéromones.
- La vitesse d'apparition de pistes est inversement proportionnelle à la diffusion angulaire des phéromones.

Merci à tous ceux qui ont participé à ce travail :
Pierre DEGOND, Christian JOST et Giacomo DIMARCO



MERCI POUR VOTRE ATTENTION