

# Recherche de chemin par dépôt de phéromones

Merwan Achibet – Université du Havre

## Introduction

On se propose d'étudier l'implémentation NetLogo de José M. Vidal inspirée de *Synthetic Pheromone Mechanisms for Coordination of Unmanned Vehicles* de Parunak, Brueckner et Sauter. Dans un premier temps, on étudie le modèle original puis on analyse l'implémentation fournie.

## 1 Modèle

### 1.1 Analogie avec le vivant

Les fourmis sont des insectes reconnus pour leur caractère social. Seules, elles restent vulnérables à l'environnement immense les entourant. Pourtant, la coopération entre individus de la même colonie caractérisant cette espèce leur permet de compter parmi les êtres vivants les plus présents sur le globe terrestre.

Les fourmis communiquent par le biais de signaux chimiques que l'on peut assimiler à des odeurs, les phéromones [Pai]. Elles peuvent dialoguer d'individu à individu en utilisant leurs antennes mais, dans le contexte de la croissance de la fourmilière, il est plus efficace de déposer dans leur environnement des messages généraux adressés à tous. C'est notamment le cas lorsqu'une nouvelle source de nourriture est trouvée puisque la fourmi à l'origine de l'heureuse découverte déposera derrière elle des phéromones de piste afin que ses congénères puissent y être guidées. Plusieurs autres types de phéromones existent : certaines préviennent d'un danger tandis que d'autres délimitent un territoire ou bien, chez d'autres insectes, attirent les individus de sexe opposé en période de reproduction.

Les phéromones étant des signaux chimiques éphémères, un phénomène d'évaporation se produit naturellement et efface progressivement les pistes. Pour qu'une piste perdure, elle doit être entretenue par accumulation des phéromones des autres fourmis l'arpentant. Ainsi seules les meilleures pistes sont conservées tandis que les autres (source de nourriture épuisée ou moins importantes) disparaissent par érosion. Un aspect important des phéromones est qu'elles sont soumises à une diffusion dans l'environnement et que les insectes disposent d'un odorat assez fin pour en retrouver la source. Ainsi, un individu peut détecter et être attiré par une odeur en passant à proximité de la piste originelle mais sans nécessairement la croiser.

Ce type de comportement est une source d'inspiration pour la conception de méthodes de résolution destinée à des systèmes multi-agents puisqu'il rassemble des qualités notables [PBS02] :

**Diversité** Une phéromone peut aussi bien indiquer une piste à suivre qu'un danger. Le concepteur d'un modèle est libre d'associer tout type de sémantique à une phéromone.

**Distribution** Les signaux chimiques guidant les insectes sont répartis sur tout l'environnement.

**Décentralisation** Si une fourmi est mangée par un oiseau, cela n'impactera pas l'avenir de la fourmilière car l'individu manquant n'est qu'un rouage d'un mécanisme plus complexe et les signaux qu'il a déposés perdureront jusqu'à évaporation.

**Dynamacité** Les tracés se renforçant et s'évaporant continuellement, les insectes s'adaptent à tout changement impromptu de l'environnement.

Parunak *et al.* partent de ce constat, et s'inspirent des modèles existants [BDT99], pour proposer une méthode de guidage destinée aux véhicules non habités dans le cadre d'opérations militaires.

## 1.2 Les agents et leur monde

Ici, la fourmi est remplacée par un véhicule, un drone aérien dans l'exemple. Sa mission est de partir d'une base et d'atteindre un bâtiment ennemi cible tout en évitant certaines infrastructures pouvant l'impacter négativement (radars, batteries anti-aérienne).

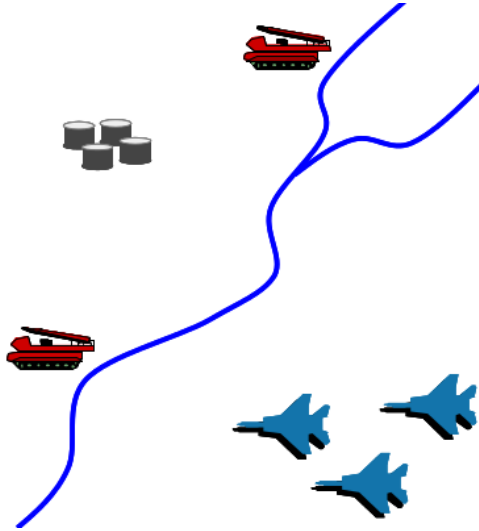


FIGURE 1 – Une configuration à résoudre. En bleu les drones ; en gris, la cible ; en rouge les menaces [PBS02].

Dans la simulation, un véhicule peut déposer deux types de phéromones :

**GNest** Libérée par un agent venant de quitter la base. Elle guide les autres agents vers la base.

**GTarget** Libérée par un agent venant de rencontrer une cible ennemi et rentrant à sa base. Elle guide les autres agents vers la cible.

Dans ce modèle, les bâtiments ennemis sont eux aussi agents et émetteurs des phéromones :

**RTarget** Libérée par les bâtiments cibles. Elle attire les drones.

**RThreat** Libérée par les bâtiments de contre-mesure. Elle repousse les drones.

Chacune de ces phéromones véhicule une information différente, mais au delà de leur sens, elles diffèrent aussi de par leur taux de diffusion dans l'environnement. Pour les bâtiments ennemis, ce taux de diffusion dépend de l'aire d'effet du bâtiment associé, et correspond concrètement à son rayon d'action : le rayon de détection pour un radar, la portée pour une batterie anti-aérienne. Le taux de diffusion des phéromones libérées par les drones doit quant à lui être finement mesuré pour que les pistes soient remarquées par les véhicules passant à proximité sans pour autant définir une route trop large (et donc plus encline à empiéter sur les aires d'effet des bâtiments ennemis).

L'environnement est divisé en zones (*places*) dont les dimensions dépendent de la simulation envisagée. Dans l'exemple *SEADy Storm* proposé dans le papier étudié, une zone correspond à un hexagone de 50 kilomètres de diamètre. C'est sur ces zones que les quantités des différentes phéromones déposées sont stockées et aussi que le phénomène de diffusion se produit entre zones voisines.

Le fonctionnement intrinsèque de ce modèle commence à s'esquisser. Les phéromones émises par les différents acteurs de la simulation vont tisser un canevas de signaux chimiques marquant l'environnement. Typiquement, les drones auront pour but de suivre une piste menant à un bâtiment cible tout en évitant les aires d'effet des bâtiments menaçants, puis à revenir jusqu'à une base.

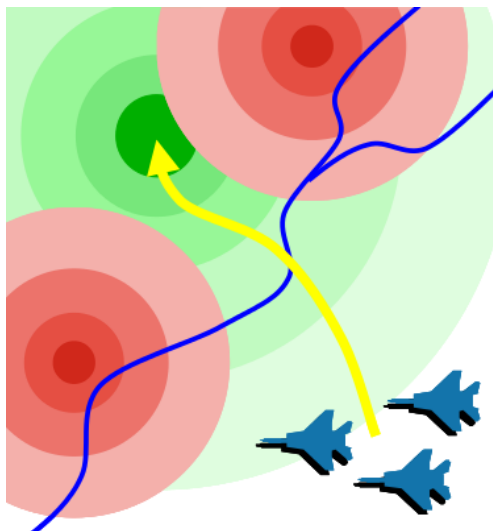


FIGURE 2 – Le même environnement marqué par les phéromones des bâtiments ennemis [PBS02].

### 1.3 Guidage

Les phéromones décrites sont bien sûr spécifiques au modèle présenté et on peut aisément imaginer, selon la simulation, que l'on en introduise de nouveaux types. Dans un souci de généralisme et de simplicité, on ne souhaite pas qu'un agent ait à envisager des considérations complexes prenant en compte chaque phéromone séparément et on préfère associer aux zones

une fonction  $g$  calculant une valeur d'attractivité nette afin de guider le déplacement des drones. Dans l'exemple proposé, cette fonction est la suivante, avec  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  et  $\theta$  des facteurs de réglage et  $\text{Dist}$  une approximation de la distance séparant le drone de sa cible :

$$g = \frac{\theta \text{RTarget} + \gamma \text{GTarget} + \beta}{\alpha \text{RThreat} + \delta \text{Dist} + \beta} \quad (1)$$

Lorsqu'un véhicule se trouve dans une zone, il a accès aux quantités de phéromones présentes dans les zones voisines et un tirage aléatoire de type roue de la fortune biaisée permet de simuler un choix quant à la route à emprunter. Globalement, si le drone suit déjà une piste, les zones les plus attrayantes se trouvent devant et derrière lui. Afin d'éviter qu'il ne change intempestivement de direction et prenne la piste à l'envers, son élan est pris en compte et la zone directement dans la direction de son déplacement bénéficie d'un bonus lors du tirage aléatoire.

Pour l'instant, seuls les agents mobiles de type drone ont été présentés. Il en existe pourtant une seconde catégorie, que nous appelons les fantômes. Un fantôme est un drone virtuel éphémère, créé par le véritable drone, et donc la principale caractéristique est de disposer d'une vitesse d'exploration plus importante. Les fantômes sont régulièrement instanciés par le drone et déposent des phéromones de la même façon que leur parent ; ils font ainsi office d'éclaireurs et améliorent ses choix de déplacement.

Le concept des fantômes est une différence majeure entre la méthode proposée et un algorithme de colonies de fourmis classique. Il est bien sûr plus adapté au cadre opérationnel décrit, car l'action d'un drone doit être rapide et efficace. En effet, on imagine mal libérer dans un espace aérien une flotte de drones devant explorer tout l'environnement avant de pouvoir choisir une action à effectuer. L'utilisation d'agents virtuels est donc justifiée.

## 2 Implémentation

### 2.1 Étude

José M. Vidal a implémenté le modèle décrit précédemment sur la plateforme de simulation NetLogo.

Son implémentation est basée sur une grille torique de *patches* alors que l'implémentation originale utilisait des hexagones. Cette différence est

négligeable au niveau des résultats que fournit cette simulation car Parunak *et al.* précisent que la configuration du terrain et des blocs le formant, ainsi que leurs dimensions, peuvent varier librement.

Chaque *patch* contient une valeur réelle représentant le volume de chacune des phéromones qu'il contient. La diffusion de ces signaux chimiques se fait par la fonction NetLogo `diffuse` qui partage une fraction de la phéromone entre les huit zones adjacentes. L'évaporation est faite manuellement et la valeur de chaque phéromone est réduite d'un pourcentage réglable à chaque itération de la simulation. Un exemple de configuration est visible sur la figure 3.

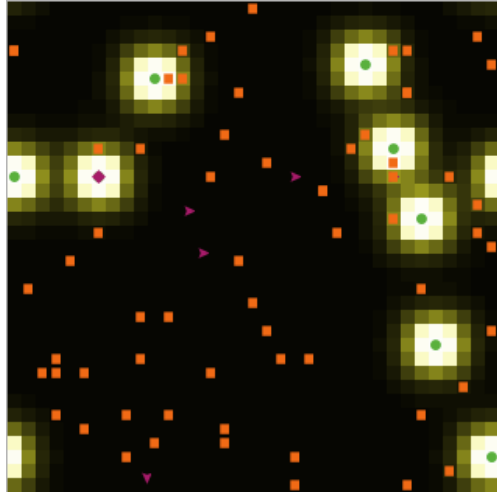
La simulation comprend un unique drone physique et se termine lorsque ce dernier atteint une des cibles. Ce véhicule ayant ici pour unique but d'atteindre un objectif, il ne fait que se déplacer de *patch* en *patch* en utilisant comme heuristique la quantité de phéromone GTarget (menant à une cible) des cases voisines, via la fonction NetLogo `uphill`. L'équation 1 n'est donc pas utilisée. En conséquence, le drone se dirige vers les cibles sans prêter attention aux menaces ennemies, l'intérêt de la simulation en est donc relativement réduit puisque l'évitement des menaces est un des principaux intérêts du modèle. On remarque que le drone physique ne dépose aucune phéromone ; ce travail est ici réservé aux fantômes. Un aspect important du modèle original provient de la vitesse élevée des fantômes et il est ici respecté. Dans cette simulation, une unité de temps correspond à un déplacement de fantôme et le drone physique se déplace tous les  $n$  pas de fantômes ( $n$  est réglable par l'utilisateur).

Les fantômes, ces drones virtuels, sont régulièrement générés par les drones physiques. Ils oscillent entre deux modes :

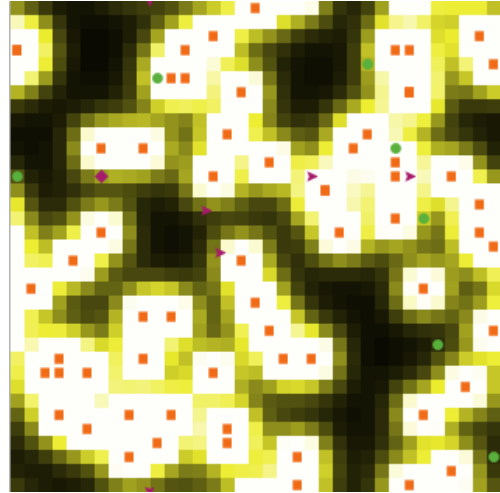
**to-target** Dans ce mode, ils se dirigent vers une cible en suivant les phéromones de type RTarget (libérées par les cibles) et lâchent des phéromones de type GNest (menant à la base). Les déplacements se font de la même façon que pour les drones physiques, via `uphill`. La formule 1 n'est pas non plus utilisée ici. On passe au second état quand une cible est atteinte.

**to-home** Dans ce mode, ils reviennent à la base en suivant les phéromones de type GNest déposés dans le mode précédent et libèrent des phéromones de type GTarget menant à la dernière cible visitée.

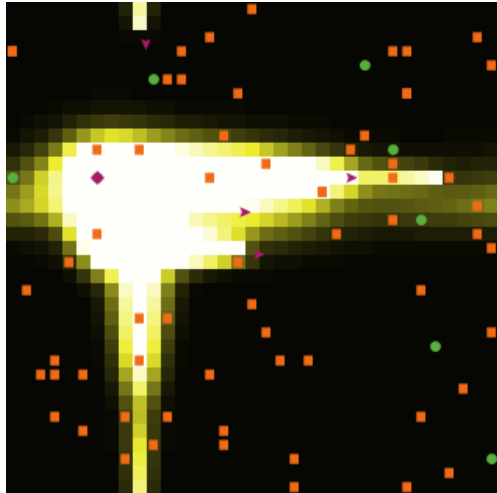
On remarque que **to-target** est le mode initial d'un fantôme. La phéromone déposée pendant cet état guide donc en fait vers leur position de naissance et



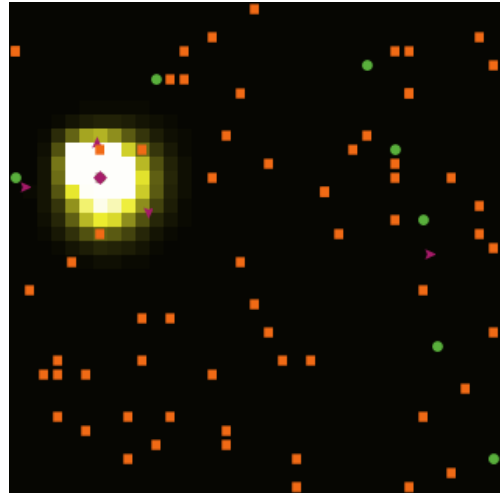
(b) RTarget



(c) RThreat



(e) GTarget



(f) GNest

FIGURE 3 – Les quatre types de phéromone pour une configuration donnée. En violet, les drones ; en vert les cibles ; en orange, les menaces ; en jaune, la phéromone.

non vers une véritable base physique (zone d’atterrissage par exemple). Position de naissance correspondant en fait à la position de leur drone parent puisque les fantômes sont plus rapides et il est donc possible qu’ils atteignent une cible puis repassent par la position du drone parent avant même que ce dernier ne se soit déplacé. Ce choix peut être justifié par le fait que dans une situation réelle, les fantômes pourraient correspondre à de minuscules appareils utilisant leur drone parent, un véhicule plus imposant, comme base mobile.

## 2.2 Analyse

Les facteurs que l’utilisateur peut contrôler sont :

- Le nombre de cibles
- Le nombre de menaces
- Le taux de diffusion des phéromones
- Le taux d’évaporation des phéromones
- Le nombre de fantômes
- La durée de vie d’un fantôme
- La vitesse du drone

On remarque que le taux de diffusion ainsi que le taux d’évaporation est commun à toutes les phéromones, contrairement au modèle original qui supporte les phéromones disposant de dynamiques différentes.

### 2.2.1 Incidence du taux de diffusion

### 2.2.2 Incidence du taux d’évaporation

### 2.2.3 Incidence du nombre de fantômes

### 2.2.4 Incidence de la vitesse du drone

## 2.3 Nouvelle version

Comme montré précédemment, le défaut principal de cette implémentation est dû au fait que `uphill GTarget` est utilisé pour suivre les dépôts de phéromone et s’approcher d’une cible. En conséquence, le chemin est forcément le plus court (une ligne droite) mais il passe indifféremment sur des zones protégées ou non. De la même façon, il ignore totalement ????. On choisit de modifier cette implémentation afin d’obtenir des résultats plus fidèles à ceux du papier original.



Concrètement, pour chaque drone et à chaque itération on calcule les valeurs d'attractivité de chaque zone de l'environnement (voir formule 1). On détermine ensuite la zone vers laquelle on se déplace en effectuant un IMAGES

## Références

- [BDT99] Eric Bonabeau, Marco Dorigo, and Guy Theraulaz. *Swarm Intelligence : from Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, 1999.
- [Pai] Janine Pain. Les phéromones d'insectes, 30 ans de recherche. *Insectes*, (69).
- [PBS02] H. Van Dyke Parunak, Sven Brueckner, and John Sauter. Synthetic pheromone mechanisms for coordination of unmanned vehicles. In *Proceedings of the First International Conference on Autonomous Agents and Multi-Agents Systems*, 2002.