Chapitre 3

Les colonies de fourmis

3.1 Introduction

Les algorithmes de colonies de fourmis [6,7] sont des algorithmes itératifs à population où tous les individus partagent un savoir commun qui leur permet d'orienter leurs futurs choix et d'indiquer aux autres individus des choix à suivre ou à éviter. Le principe de cette métaheuristique repose sur le comportement particulier des fourmis. Pour communiquer, elles utilisent une substance chimique volatile particulière appelée phéromone grâce à une glande située dans leur abdomen. En quittant leur nid pour explorer leur environnement à la recherche de la nourriture, les fourmis arrivent à élaborer des chemins qui s'avèrent fréquemment être les plus courts pour aller du nid vers une source de nourriture.

En simulant le comportement collectif des fourmis, des recherches dans le domaine d'optimisation ont aboutis à des algorithmes très efficaces pour la résolution de certains problèmes combinatoires difficiles. Plus particulièrement, celui du voyageur du commerce avec toutes ses variantes.

3.2 La communication chimique chez les fourmis

Pour bien comprendre le comportement collectif des fourmis, les chercheurs ont mené plusieurs expériences avec des configurations différentes. L'expérience la plus connue est celle du pont à double branches. Un pont à deux branches de longueurs différentes est installé entre le nid d'une colonie de fourmis et une source de nourriture et le comportement des fourmis est observé (Fig.3.1). Au départ, les fourmis s'intéressent aux environs immédiats du nid puis progressent vers la source de nourriture en empruntant les deux branches du pont d'une manière aléatoire (Fig.3.1.a).

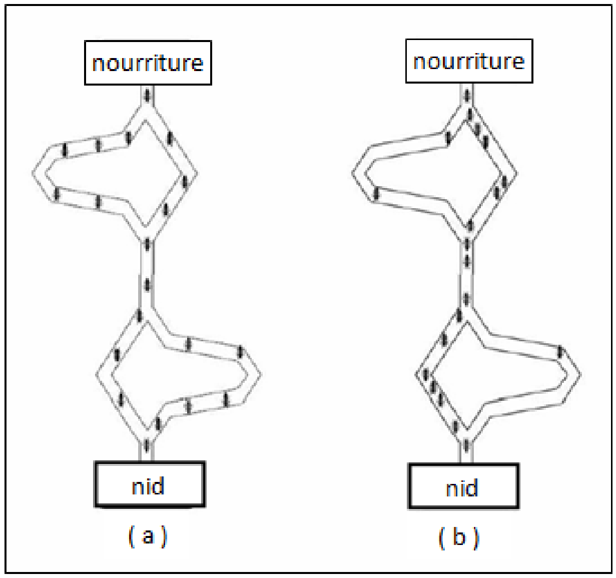

Figure 3.1: L'expérience du pont à double branche

Les fourmis empruntant la plus courte branche arrivent les premières à la source de nourriture, puis elles entament le chemin du retour. Elles retrouvent leur chemin grâce à la traînée de phéromone laissée à l'aller. En rebroussant chemin, elles renforcent la trace odorante existante. Ainsi, il y a une forte traînée de phéromone sur la plus courte branche. Les fourmis suivantes qui quittent le nid choisissent avec une plus grande probabilité le chemin le plus court. Après un certain temps, la colonie de fourmis entière prend le plus court chemin entre le nid et la source de nourriture trouvée (Fig.3.1.b).
C'est donc bien le mécanisme de communication indirecte par les phéromones entre les fourmis qui mène à un phénomène d'optimisation de route. Ce comportement collectif des fourmis a été adapté pour la résolution de problèmes d'optimisation combinatoires et des expériences de ce type ont permit l'élaboration d'un modèle comportemental mathématique de simulation [8].

3.3 Fourmis artificielles et optimisation combinatoire

Dans ce paragraphe, on décrit l'implémentation d'un algorithme de colonie de fourmis spécifique à la résolution du problème de voyageur de commerce. Ce problème consiste à trouver le plus court cycle hamiltonien dans un graphe. Par analogie au comportement des fourmis, on remarque que le déplacement des fourmis entre le nid et la nourriture, avec un retour au nid s'apparente à la construction d'un cycle dans un graphe. Si l'on ajoute la contrainte que le

cycle doit passer par tous les sommets du graphe une et une seule fois, le travail des fourmis s'apparente à la construction d'un cycle hamiltonien. Enfin, si l'on considère l'objectif d'optimiser la longueur totale de ce cycle, la construction d'un cycle hamiltonien de longueur minimale s'apparente à la résolution du problème posé.
La mise en œuvre d'un algorithme de simulation nécessite d'introduire un certain nombre d'arrangements soit pour des raisons algorithmiques, soit pour des raisons d'efficacité lors de la construction des solutions[7] :

— La mémorisation des sommets traversés. Chaque fourmi doit mémoriser le chemin partiel déjà parcouru pour ne pas revenir sur un sommet déjà exploré.

— Les phéromones sont déposées après la construction de la solution.

— Contrairement aux fourmis réelles qui déposent des phéromones indépendamment de la longueur du chemin qu'elles ont trouvé, la quantité des phéromones déposés est proportionnelle à la qualité de la solution construite.

— La vitesse de la fourmi n'est pas constante. Elle passe d'un sommet à l'autre en une unité de temps quelle que soit la longueur de l'arc. Ce point facilite la simulation du mouvement des fourmis.

— Les fourmis ne sont pas totalement aveugles et la notion de visibilité est introduite. Il s'agit de prendre en compte la distance entre les sommets pour le déplacement. Ainsi, en plus des phéromones, les choix de la fourmi sont alors influencés par la distance entre les sommets consécutifs.

Dans l'algorithme de simulation, les fourmis construisent des cycles dans le graphe de façon itérative et prennent leurs décisions en fonction des phéromones et de la visibilité. Notons τ_{ij} la quantité de phéromones associée à l'arc reliant deux sommets i et j et d_{ij} la distance qui les sépare. La probabilité pour qu'une fourmi k se déplace du sommet i au sommet j, qui appartient à un ensemble de sommets qui ne sont pas encore visités par la fourmi k noté S_i^k , est donnée par :

$$P_{ij}^k = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \eta_{ij}(t)^\beta}{\sum_{l \in N_i^k} \tau_{il}(t)^\alpha \eta_{il}(t)^\beta} \tag{3.1}$$

avec :

- η_{ij} : représente la visibilité de la fourmi.
- α et β sont deux paramètres qui permettent de régler l'influence relative des phéromones et de la visibilité.
- N_i^k : l'ensemble des villes qui n'ont pas encore été visitées par la fourmi k (c'est-à-dire sa mémoire) lorsque celle-ci se trouve sur le sommet i.

Il est à noter que :

— Au numérateur, le produit des phéromones τ_{ij} par la visibilité η_{ij} permet de tenir compte de ces deux informations pour le déplacement de la fourmi. En pratique, la visibilité peut être estimée grâce à la longueur de l'arc en posant :

$$\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}} \tag{3.2}$$

— Le dénominateur permet de normaliser les probabilités :

$$\sum_{j \in N_i^k} P_{ij}^k = 1 \tag{3.3}$$

À la fin de la construction d'un cycle, chaque fourmi k dépose une quantité de phéromones Δ^{ij} sur les arcs (i,j) qu'elle a empruntés. Cette quantité est proportionnelle à la qualité de la solution construite par la fourmi et donc inversement proportionnelle à la longueur du chemin complet fabriqué par la fourmi. Elle est donnée par :

$$\Delta^{ij} = \frac{Q}{L^k} \;\; si \; (i,j) \in T^k \;\; ou : \tag{3.4}$$

T^k : le cycle effectué par la fourmi k.
L^k : la longueur du cycle.
Q : est une constante.

Donc, pour chaque arc, la quantité de phéromone τ_{ij} est mise à jour de la manière suivante :

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^{m} \Delta_{ij}^k \tag{3.5}$$

ou $\rho \in [0,1]$ est un paramètre d'évaporation et m le nombre de fourmis.

Dans cet algorithme, le choix des paramètres est très important et la plage de valeurs utilisées est souvent obtenue après une phase expérimentale. Pour le problème du voyageur du commerce, les valeurs reconnues comme adaptées sont les suivantes :

- $\alpha = 1$.
- $\beta \in [0,2]$.
- $\rho = 0.5$.