



CHAPITRE 04: ALGORITHMES DE COLONIES DE FOURMIS

COURS : MÉTAHEURISTIQUES ET ALGORITHMES ÉVOLUTIONNISTES

RÉALISÉ DR. S. SLATNIA

UNIVERSITÉ DE BISKRA
Master d'informatique
2020-2021

INTELLIGENCE COLLECTIVES DES FOURMIS

- Les fourmis offrent une grande diversité de comportements et de morphologies,
- Cette diversité est une mine d'inspiration intéressante pour les systèmes informatiques,
- C'est ainsi que les capacités des fourmis en matière de coopération, de communication, de compétition et d'apprentissage peuvent être mise à profit pour la conception des algorithmes de résolution des problèmes [A.LEMOUARI].

CARACTÉRISTIQUES DES FOURMIS (I) [A.LEMOUARI]

I. Communication

Plusieurs types de réponse mettant en œuvre une forme de communication (directement ou indirectement) par les fourmis :

- L'alarme.
- L'attraction simple.
- Le recrutement.
- L'échange d'aliments solides.
- Le marquage de territoire et du nid.

CARACTÉRISTIQUES DES FOURMIS (2) [A.LEMOUARI]

- La communication chimique est la plus présente chez les fourmis. Les **phéromones**, sont des mélanges hydrocarbures, sont à la base de la communication de nombreuses espèces.
- L'utilisation des phéromones est majoritairement considérée comme une forme indirecte puisque l'échange d'information se fait grâce au support du sol, ce principe est appelé principe de la **stigmergie**.
 1. Capables de déposer des **traces** chimiques sur le trajet qu'elles empruntent pour ramener de la nourriture.
 2. Déclencher des alarmes quand le nid est attaqué
 3. Mobiliser un grand nombre d'individus pour défendre la fourmilière.

CARACTÉRISTIQUES DES FOURMIS (3) [A.LEMOUARI]

2. Principe de la Stigmergie

Le nome **stigmergie** dérivé du mot Grec « **Stigma** » veut dire « **Signe** » et le mot « **Ergon** » veut dire « **Travail** », indiquant que

- Les **activités** des individus sont influencées par des **signes externes**, eux-mêmes générés par les activités des individus.

→ La stigmergie est le résultat direct de l'interactions locales des comportements émergents.

A. Stigmergie Sema-tectonique → changement physique dans les caractéristiques de l'environnement.

Exemple. Construction du nid chez les fourmis

B. Stigmergie basée sur la trace → les marques sont des traces, déposées par les fourmis sur l'environnement, émanant à une forme de contribution indirecte à la tâche.

CARACTÉRISTIQUES DES FOURMIS (4) [A.LEMOUARI]

❖ **Phéromones**

Caractéristique des systèmes complexes. La présence de la phéromone dans une piste joue le rôle d'un moyen permettant l'attraction des fourmis à la piste renforcée.

❖ **Propagation**

La propagation de la phéromone est un processus qui permet de laisser passer une quantité de la phéromone d'un emplacement à un autre emplacement *voisin*.

❖ **Evaporation**

L'évaporation est un processus, qui permet de réduire la quantité de la phéromone dans un emplacement par un taux défini. Cette évaporation est due aux contraintes de l'environnement.

CARACTÉRISTIQUES DES FOURMIS (5) [A.LEMOUARI]

- **Avantage** de l'utilisation de l'approche par stigmergie sont :
 - L'utilisation des individus simples.
 - Réduction de la communication entre individus.
 - Une approche incrémental dans la construction des meilleures solutions.
Ce qui montre une méthode d'apprentissage incrémentale pour la résolution des problèmes.
 - La flexibilité et la tolérance aux pannes.

CARACTÉRISTIQUES DES FOURMIS (6) [A.LEMOUARI]

3. Le Fourragement

La recherche de la nourriture, appelée aussi « **le fourragement** », est une activité souvent plus dispersée spatialement que la construction du nid et qui peut aussi être mise en œuvre de façon très différente suivant les espèces de fourmis.

- La communication mise en œuvre pour la recherche de nourriture peut être considérée comme une forme de **mémoire collective**.

MÉCANISME DE COMMUNICATION [A.LEMOUARI]

- Les étapes suivantes expliquent bien ce mécanisme,

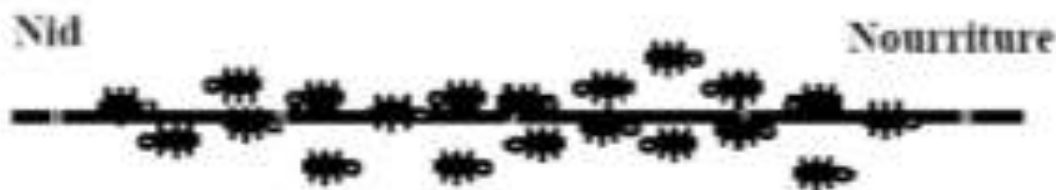


Fig I. Fourmis suit la trace.

- ❖ Les fourmis emploient le chemin marqué par la trace de la phéromone. Le chemin joint le nid à la source de nourriture.
- ❖ Les fourmis dans leurs retours au nid, **déposent** une **quantité de la phéromone** à **chaque déplacement** et préfèrent de se déplacer vers les emplacements les plus **concentrés** de la phéromone.

MÉCANISME DE COMMUNICATION [A.LEMOUARI]

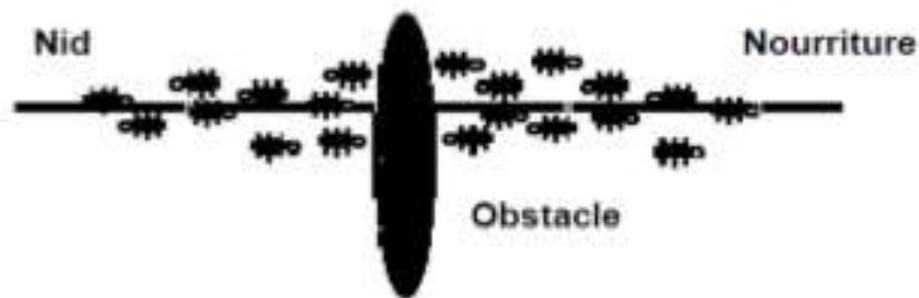


Fig 2. Introduction d'un obstacle

- ❖ Lorsque le chemin émergé est obstrué à l'aide d'un obstacle, comme le montre la figure 2, les fourmis prennent une décision aléatoire pour choisir l'un des deux branches droite ou gauche de l'obstacle.
- ❖ Au début et sans présence d'aucune concentration de la phéromone, le flux des fourmis se subdivise en deux flux approximativement égales. Le choix aléatoire donne une exploration des deux choix, fig3.

MÉCANISME DE COMMUNICATION [A.LEMOUARI]

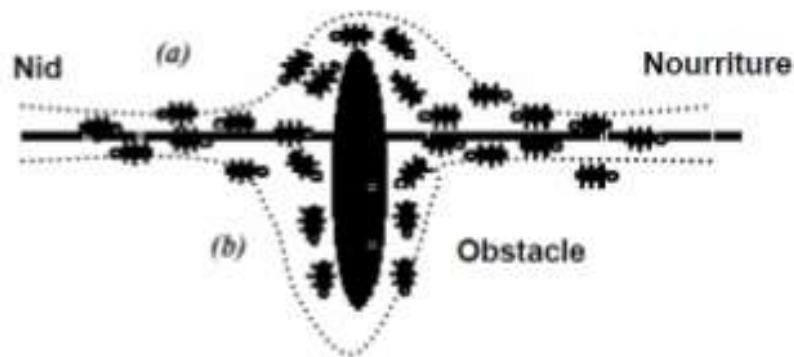


Fig 4. Les fourmis se divisent et explorent deux chemins

- ❖ Le chemin représenté dans la fig 4. (a), est le plus concentré en phéromone.
→ Les fourmis qui circulent sur ce chemin, arrivent en premier à la destination et permettent la formation d'un flux entre le nid et la source de nourriture.
- ❖ Le chemin représenté à l'aide de la fig 4. (b), la quantité secrétée est moins concentré.

MÉCANISME DE COMMUNICATION [A.LEMOUARI]

- En effet avec la considération du caractère de propagation de la phéromone, le chemin le plus court devient le plus concentré,
 - Ce qui conduit à une attraction des fourmis jusqu'au recrutement de toutes les fourmis, comme il est indiqué dans la fig 5.

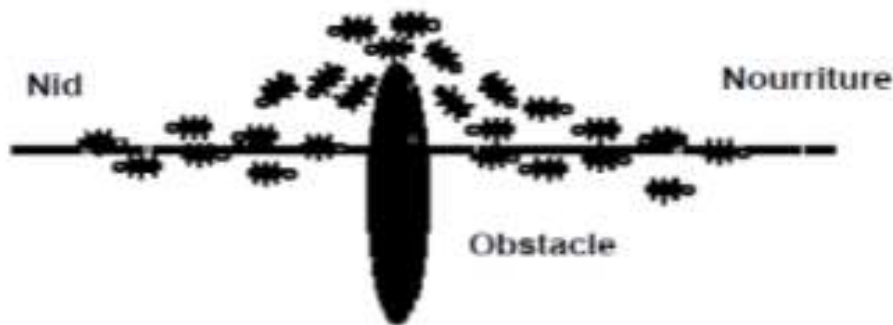


Fig 5. Emergence du chemin minimal.

OPTIMISATION PAR COLONIES DE FOURMIS

ACO pour Ant Colony Optimisation [Meta]

- ❖ Méthode évolutive (métaheuristique) inspirée du comportement des fourmis à la recherche de nourriture.
- ❖ Cet algorithme a été proposé par **Dorigo** en 1992.

Principe

- Il est connu que les fourmis sont capables de **déterminer le chemin le plus court** entre leur **nid** et une source de **nourriture**.
- La décision dépend de la probabilité de transition d'un emplacement à une autre. Ceci est possible en **phéromone** qui est une substance que les fourmis déposent sur le sol lorsqu'elles se déplacent.
- Lorsqu'une fourmi doit choisir entre deux directions, elle choisit avec une plus **grande probabilité** celle comportant une plus forte concentration de phéromone.
- Processus coopératif.

LA DÉCISION POUR ACO (I)

- Chaque fourmi est un algorithme constructif (agent) capable de générer des solutions.
- Soit \mathbf{D} l'ensemble des décisions possibles que peut prendre une fourmi pour compléter une solution partielle.
- La **décision** $d \in \mathbf{D}$ qu'elle choisira dépendra de deux facteurs, à savoir **la force gloutonne** et **la trace**.

LA DÉCISION POUR ACO (2)

- 1. la force gloutonne (ηd)** : est une valeur qui représente **l'intérêt** qu'a la fourmi à prendre la décision **d**.
 - ✓ Plus cette valeur est grande, plus il semble intéressant de faire le choix **d**.
 - ✓ En général, cette valeur est directement proportionnelle à **la qualité de la solution** partielle obtenue en prenant la décision **d**.
- 2. la trace (τd)** : représente **l'intérêt historique** qu'a la fourmi de prendre la décision **d**.
 - ✓ Plus cette quantité est grande, plus il a été intéressant dans le passé de prendre cette décision.

LA DÉCISION POUR ACO (3)

- Étant donné deux paramètres α et β qui donnent plus ou moins d'importance à ces deux facteurs,
- **La fourmi va prendre la décision d avec une probabilité**

$$\frac{(\eta d)^\alpha (\tau d)^\beta}{\sum_{r \in D} (\eta r)^\alpha (\tau r)^\beta}$$

- Lorsqu'une fourmi **termine la construction de sa solution**,
→ **Elle laisse une trace sur le chemin emprunté.**
- Cette **trace** est **proportionnelle** à la **qualité de la solution** construite.

PROCESSUS D'ÉVAPORATION

- Il est important de mettre en place un processus d'évaporation de la trace afin d'oublier les choix réalisés dans un lointain passé et de donner plus d'importance aux choix réalisés récemment.

Soit,

- ❖ ρ un **paramètre d'évaporation** choisi dans l'intervalle $]0, 1[$.
 - ❖ \mathbf{A} l'ensemble des fourmis,
 - ❖ $\mathbf{f(a)}$ la valeur de la solution produite par la fourmi \mathbf{a} .
-
- La **qualité** de la solution produite par la fourmi \mathbf{a} est donc inversement proportionnelle à $\mathbf{f(a)}$.

MAJ DE LA TRACE

- La mise à jour de la trace sur la décision **d** est réalisée comme suit :

$$\tau_d = (1 - \rho)\tau_d + c \sum_{a \in A} \Delta_d(a)$$

- où **c** est une constante et

$$\Delta_d(a) = \begin{cases} 1/f(a) & \text{si la fourmi } a \text{ a r\u00e9alis\u00e9 le choix } d \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

SYSTÈME DE FOURMI

- Le pseudo-code d'un système de fourmi et ses caractéristiques sont donnés ci-dessous.

Algorithme ACO

1. **Initialiser** les traces τ_d à **0** pour toute décision possible **d**
2. **Tant qu'**aucun critère d'arrêt n'est satisfait **faire**
3. **Pour** Chaque fourmi $k \in K$ **faire**
4. Construire $|A|$ solutions en tenant compte de la visibilité et la trace (la force gloutonne et de la trace)
5. Mettre à jour les traces τ_d ainsi que la meilleure solution
6. **finpour;**
5. **fintantque**

CARACTÉRISTIQUES DE LA DIFFÉRENCE

- **Types d'Individus** : solutions admissibles obtenues à l'aide d'un algorithme constructif
- **Type d'évolution** : remplacement générationnel avec une population de taille constante
- **Structure de voisinage** : population non structurée
- **Sources d'information** : historique de la recherche (mémorisé dans la trace)
- **Irréalisabilité** : l'algorithme constructif ne produit pas de solution non admissible
- **Intensification** : aucune
- **Diversification** : aucune.

AMÉLIORATION D'ACO (I)

- Cet algorithme peut être amélioré de diverses manières.
- On appelle Optimisation par Colonies de Fourmis toute variation ou extension du système de fourmis décrit ci-dessus.

I. Le premier type d'extension

consiste à réaliser une **Recherche Locale** sur chaque solution produite par l'algorithme constructif.

AMÉLIORATION D'ACO (2)

- **L'étape 3** et la caractéristique **Intensification** deviennent donc :
 3. Construire **|A|** solutions en tenant compte de **la force gloutonne** et de **la trace**;
Appliquer une **Recherche Locale** sur chacune de ces solutions;

Intensification : Recherche Locale

AMÉLIORATION D'ACO (3)

2. Une 2ème variation

Est de prendre un certain pourcentage de décisions en ne tenant compte que de la force gloutonne

- les autres décisions étant prises en combinant la force gloutonne et la trace.

3. Une 3ème variation

Consiste à faire une mise à jour supplémentaire des traces en tenant compte des choix ayant abouti à la meilleure solution s^* rencontrée.

RÉFÉRENCES

- Metaheuristique
- LEMOUARI ALI, Introduction aux Métaheuristiques , support de cours , 2014

- 1. Les métaheuristiques à base de solution unique, méthodes de trajectoire
 - 1.1. La recherche par descente
 - 1.2. La recherche locale itérative.
 - 1.2. Le recuit simulé.
 - 1.3. La recherche tabou.

- 2. Algorithmes à base d'essaims particuliers
 - 2.1. Algorithme de base PSO
 - 2.2. Essaims particuliers et notion de voisinage
 - 2.2.1 Modèle topologique de base

- 3. La coopération de métaheuristiques
 - 1. Notion de coopération
 - 2. Niveaux de coopération
 - 3. Modes de coopération
 - 4. Classes hiérarchiques