

**Département d'Informatique Fondamentale et ses
Applications DIFA**

Dr .Esma BENDIAB
Maître de conférences



L'optimisation par les Colonies de Fourmis Artificielles

«L'union fait la force »

L'optimisation par les colonies de fourmis

Préambule

- Une approche basée population pour la résolution des problèmes d'optimisation combinatoire.
- 🐜 Inspirée par le comportement en meute des fourmis réelles, qui optimisent leur trajet du nid vers la source de nourriture requise, par une communication indirecte via une substance chimique secrétée: **la phéromone**.

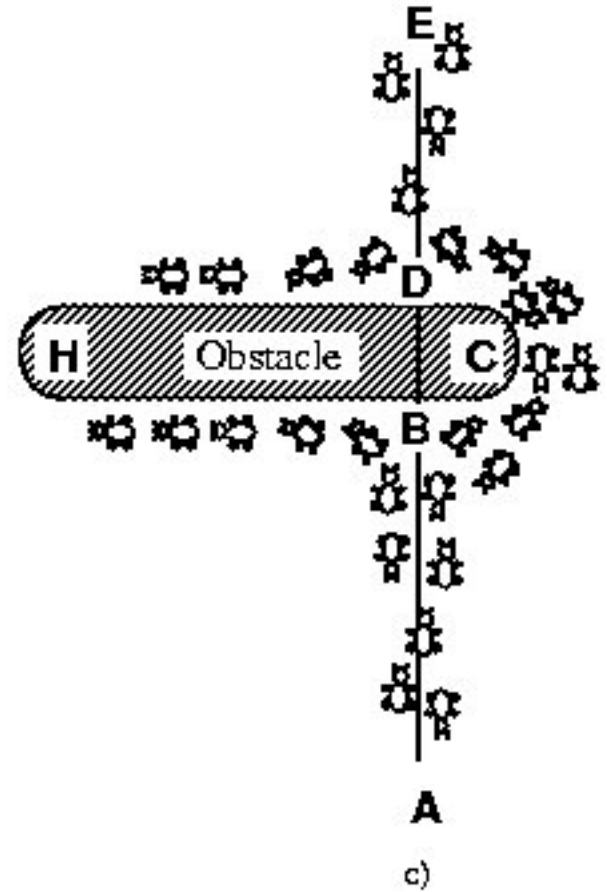
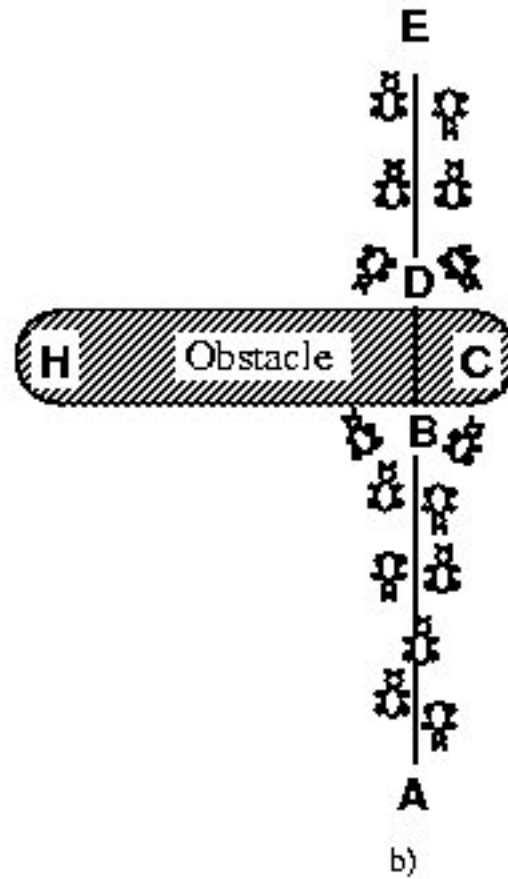
Origine et étude expérimentale

3

- Une expérience réalisée par l'éthologiste **Goss & al** a permis la découverte d'un comportement très avancé chez des fourmis d'argentine « *Iridomyrmex humilis* ».
- L'habilité de ces petites bêtes de trouver le plus court chemin qui sépare leur nid et une source de nourriture.

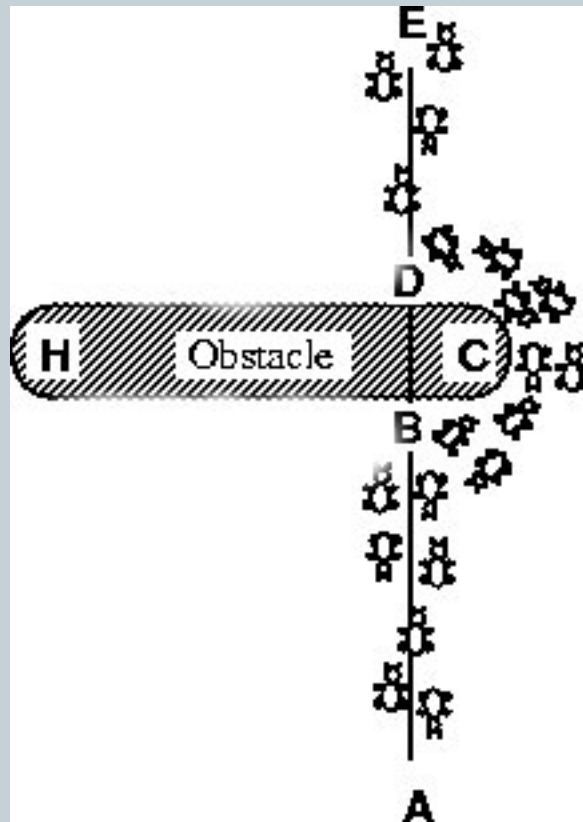
L'expérience.

4



Après quelques instants .

5



L'optimisation par les colonies de fourmis

6

- Une colonie de fourmis artificielles est une simulation de ce comportement, les fourmis artificielles coopèrent en utilisant une mémoire commune.

L'optimisation par les colonies de fourmis

7

- Algorithme à colonie de fourmis (Dorigo 1991)
 - Algorithme initial
 - Inspiré du comportement social des fourmis.
 - Adapté aux problème combinatoires statiques
 - ✦ Commis voyageur – *Trouver le court chemin pour traverser un ensemble de villes en ne traversant jamais la même ville deux fois.*
 - ✦ Planification de tâches en usine – *Organiser les tâches afin de minimiser les temps de production et maximiser l'usage des machines.*
 - ✦ Coloriage des graphes – *Colorer un graphe de manière à ce que deux couleurs adjacentes soient différentes et que le nombre de couleurs est minimal*

Ant colonie Optimisation

8

- Optimisation à colonie de fourmis (ACO)
 - S'applique aussi aux problèmes combinatoires dynamiques (les paramètres varient avec le temps)
 - ✦ Routage dans les réseaux téléinformatiques
 - Réseaux de type Internet – *les paquets d'un même message peuvent suivre des routes différentes*
 - Réseaux orientés connexion – *tous les paquets suivent la même route*
 - ✦ Équilibrage du trafic dans les réseaux téléinformatiques

Les colonies de fourmis et l'intelligence collective

9

- Chaque fourmi est un agent aux capacités limitées, et aux règles de comportement très simples.
- Les individus communiquent indirectement, en utilisant une phéromone volatile
- Le comportement de groupe ne peut être déduit des règles de comportement d'un individu ; et l'individu n'a aucune notion du comportement du groupe.
- Le comportement intelligent apparaît (“émerge”) seulement en observant toute la colonie

Les colonies de fourmis et les problèmes d'optimisation

10

- Activités typiques d'une colonie de fourmis et exemples de problèmes d'optimisation équivalents :
 - Trouver le plus court chemin vers la nourriture
⇔ Plus court chemin dans un graphe, treillis, etc.
 - Tri de la nourriture, des morts, des œufs, etc.
⇔ groupement des données.
 - Construction de structures ⇔ robots industriels

Problème du plus court chemin

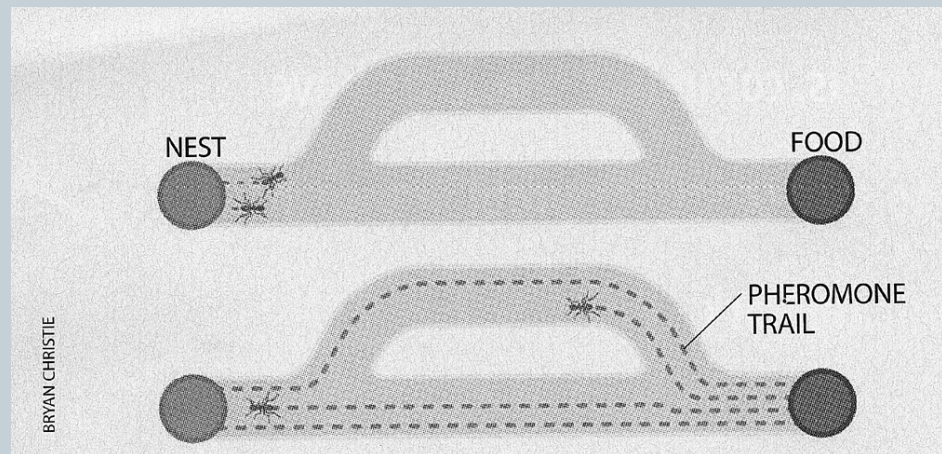
11

- Lorsque plusieurs sources de nourriture sont disponibles, les fourmis choisissent toujours la plus proche ! (Deneubourg 1989)
- Idées clés
 - Les fourmis isolées se déplacent au hasard
 - Les fourmis marquent en permanence le chemin parcouru avec une phéromone
 - La phéromone se dégrade avec le temps
 - Les pistes de phéromon s disponibles influent sur le déplacement ; Lorsqu'une fourmi atteint une bifurcation, elle tend à prendre le chemin le plus marqué
 - La prise de décision est probabiliste

Problème du plus court chemin

12

- Comme les fourmis marquent le chemin à l'aller et au retour, et que la phéromone est volatile avec le temps, celui déposé sur les parcours courts est plus intense.
- Plus intense signifie que le parcours sera choisi plus souvent (décision probabiliste)



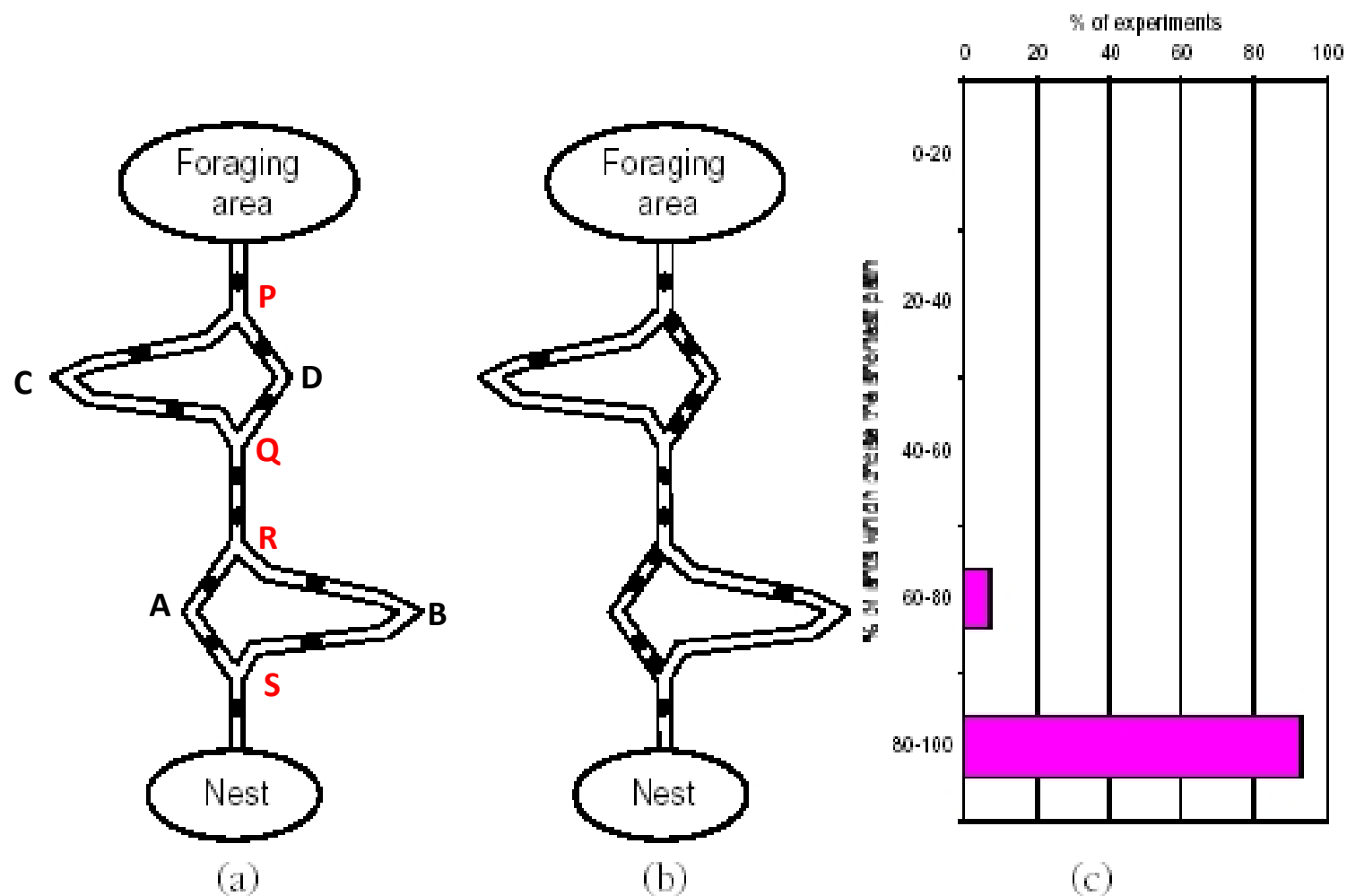


Figure 2. Double bridge experiment. (a) Ants start exploring the double bridge. (b) Eventually most of the ants choose the shortest path. (c) Distribution of the percentage of ants that selected the shorter path. After Goss et

Le système des fourmis (Ant System)

14

- Le problème du voyageur du commerce TSP est un modèle «Benchmark» qui a prouvé d'une manière incontestable la robustesse et l'efficacité de Ant System (AS).
 - ✎ Il est représenté par un graphe, value, dont les nœuds représentent des villes, elles sont reliées par des arcs.
 - ✎ A chaque arc,est assignée une valeur : la distance.
 - ✎ Le TSP consiste à trouver un chemin fermé optimal en passant par toutes les villes une et une seule fois.

Application au voyageur de commerce

TSP

15

- Les arcs du graphe sont considérés comme solutions.

☞ A chaque arc, on associe une quantité de phéromone, τ_{ij} qui va être modifiée:



Évaporation .



Renforcement.(durant le déroulement de l'algorithme).

☞ Les fourmis se déplacent en se basant sur une probabilité qui est en fonction de la quantité de phéromone τ_{ij} et d'une information heuristique $\eta_{ij}(t)$

☞ Dans le cas du TSP:

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

Règle de déplacement

16

Règle aléatoire
de déplacement
d'un sommet i à
 j pour une
fourmi k

Probabilité
d'aller de i à j
pour une fourmi
 k à l'itération t

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}(t)]^\beta}{\sum_{k \in \text{permise}_k} [\tau_{ik}(t)]^\alpha [\eta_{ik}(t)]^\beta} & \text{Si } j \in \text{Permise}_k \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

α Coefficient d'attractivité
 β Coefficient de désirabilité



Règle de déplacement

17

- k est l'ensemble des sommets atteignables lorsque la fourmi k se trouve sur le sommet i
- $\tau_{ij}(t)$ Quantité de phéromone sur l'arc (i,j) à l'itération t
- $\eta_{ij}(t) = 1/d_{ij}$ inverse de la distance de i à j (visibilité)
- α, β paramètres réglant l'importance entre la phéromone et la visibilité de l'arc.

Mise à jour de la phéromone

18

- Une mise à jour de la phéromone est effectuée sur les arcs, après que toutes les fourmis aient complété un tour.
 - ➡ Dégradation due à un facteur d'évaporation sur tous les arcs.
 - ➡ Renforcement sur les arcs parcourus par les fourmis.
- ☞ Chaque fourmi dispose d'une mémoire pour éviter la transition vers une ville déjà visitée et aussi pour reconstruire le chemin parcouru pour faire la mise à jour.

Mise à jour de la phéromone

19

On appelle **itération** de l'algorithme AS appliqué au TSP, les m déplacements accomplis par les m fourmis. À chaque n itérations de l'algorithme, qu'on appelle **cycle**, chaque fourmi accomplit un tour. À ce moment, il faut faire la mise à jour de la phéromone.



Mise à jour de la phéromone

20

Mise à jour de la quantité du phéromone par la formule:

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_{ij}^k$$

- Où ρ est un coefficient de persistance, tel que $(1-\rho)$ représente l'évaporation de la phéromone entre l'instant t et $t+n$;
- $\Delta \tau_{ij}^k$ est la quantité de phéromone que la fourmi k a déposé sur les arcs appartenant à son tour.

Mise à jour de la phéromone

21

- Le mécanisme d'évaporation aide à éviter l'accumulation illimitée de la phéromone.
- Tant que les fourmis ne choisissent pas un certain arc, la quantité de phéromone associée à cet arc diminue exponentiellement.
- Ce qui permet au système d'oublier, en permanence les mauvais choix.

Mise à jour de la phéromone

22

- Une fois la tournée des villes effectuée, une fourmi k dépose une quantité de phéromone sur chaque arête de son parcours :

$$\Delta \tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{Si la } k^{\text{ème}} \text{ fourmi utilise } (i, j) \text{ dans son tour (entre } t \text{ et } t+n). \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

- Où:
 - Q est la quantité de phéromone et L_k est la longueur du tour accompli par la fourmi k .
 - Donc le meilleur tour, c'est le tour dont les arcs ont reçu le plus de phéromone.

Algorithme des colonies de fourmis

23

1. Créer des fourmis

- Population et distribution initiale statiques ou dynamiques et dépendent du problème
- Quantité de phéromone initiale proche de 0

2. Tant que objectif non atteint, pour chaque fourmi

- a. La laisser trouver une solution
- b. Mettre à jour le niveau de phéromone

Algorithme des colonies de fourmis

24

1. Créer des fourmis

- Population et distribution initiale statiques ou dynamiques et dépendent du problème
- Quantité de phéromone initiale proche de 0

2. Tant que objectif non atteint, pour chaque fourmi

a. La laisser trouver une solution

Probabilité de transition :

$$P_{ij}(t) = \frac{\tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}} \right)^\beta}{\sum_{j \in \text{allowed nodes}} \tau_{ij}(t)^\alpha \left(\frac{1}{d_{ij}} \right)^\beta}$$

Quantité de
phéromone

Heuristique
de distance

α, β = constantes

À Partir d'un nœud donné :

- Calculer $P_{ij}(t)$ pour tous les nœuds suivants possibles
- Diviser l'intervalle $[0, 1]$ suivant les $P_{ij}(t)$ calculés
- Générer un nombre aléatoire entre 0 et 1 et l'utiliser pour sélectionner la branche à suivre

b. Mettre à jour le niveau de phéromone

Algorithme des colonies de fourmis

25

1. Créer des fourmis
2. Tant que objectif non atteint, pour chaque fourmi
 - a. La laisser trouver une solution
 - b. Mettre à jour le niveau de phéromone

Taux d'évaporation

Pheromone produit par
chaque fourmi k qui
suit la branche (i,j) de
longueur L_k

$$\tau_{ij}(t+1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{\substack{k \in \text{Colony that} \\ \text{used edge } (i,j)}} \frac{Q}{L_k}$$

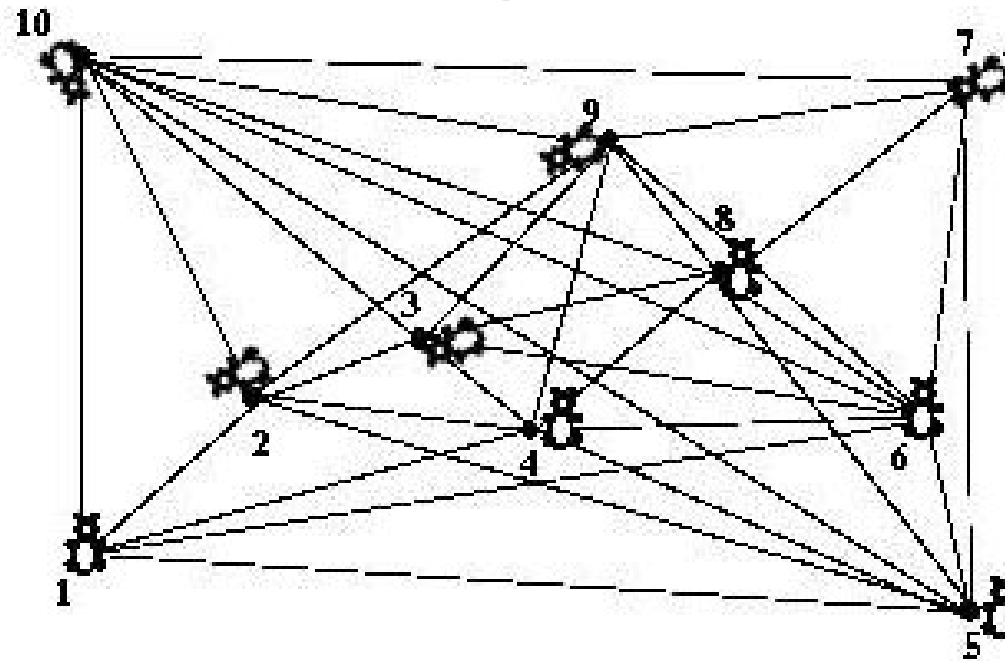
Caractéristiques de Ant System

26

- Approche basée population.
- ✎ Robuste
- ✎ Versatile.
- ✎ Système stygmérgitique.
- ✎ Meilleur exemple de **l'intelligence en essaim.**
(l'intelligence collective).
- ✎ Exploite le mécanisme **Feed-Back.**

Exemple

27



a)

Améliorations

29

- Ant Colony System (ACO).

1. La mise à jour est faite d'une manière :

- locale: par toutes les fourmis ayant emprunté le même arc.

- globale: assurée par la meilleure fourmi (the best ant).

2. La règle de transition : utilise une règle proportionnelle pseudo-aléatoire dans laquelle la probabilité calculée est comparée à une variable pseudo-aléatoire pour valider la transition.

Max-Min système des fourmis

30

- Seule « the best ant » est autorisée à faire la mise à jour sur les arcs de son tour.



Système élitiste

☞ Tous les arcs sont initialisés à τ_{\max} .

☞ La phéromone déposée sur les arcs est toujours comprise τ_{\min} et τ_{\max} .

Max-Min système des fourmis

31

- Max-Min Ant System permet:
 1. Une **exploration** des solutions nouvelles: Par la valeur de la phéromone minimale.
 2. Une **exploitation** des solutions trouvées dans le passé par la valeur maximale de la phéromone.

Solution de problèmes de type plus court chemin

Domaines d'application

33

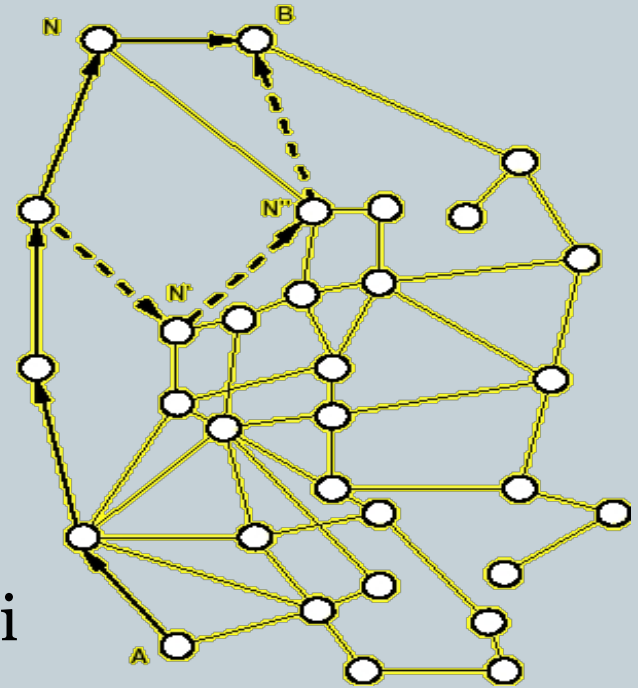
- L'algorithme de colonies de fourmis a été à l'origine surtout utilisé pour produire des solutions quasi-optimales au problème du voyageur de commerce, puis, plus généralement, aux problèmes d'optimisation combinatoire.
- Depuis ses débuts son emploi s'est étendu à plusieurs domaines, depuis l'optimisation continue jusqu'à la classification ou encore le traitement d'image

Applications en réseautique

34

Réseau de télécom :

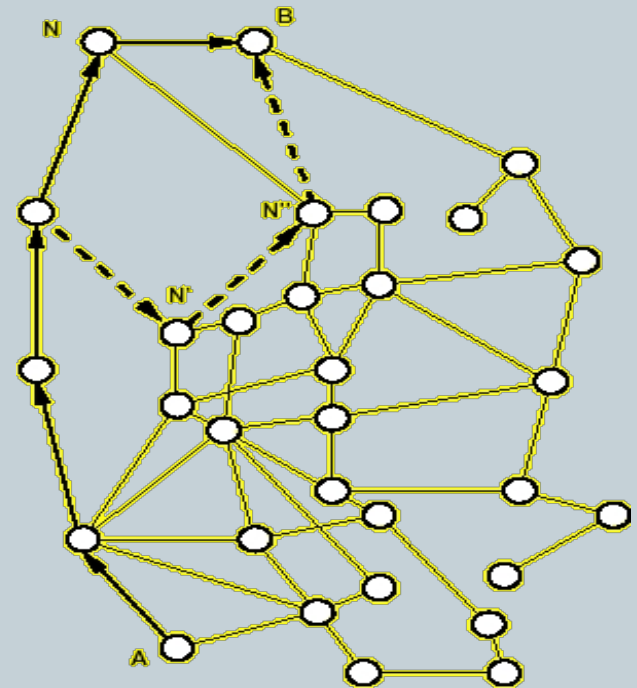
- Nœuds reliés par des branches
- Des listes de nœuds connectés définissent les états
- Des contraintes locales s'appliquent aux nœuds afin de définir les états
- Les branches ont un coût associé qui change avec le temps (phéromone) et qui sert à évaluer le coût total des états



ACO pour le routage

35

- Éléments clés :
 - Table de routage
 - Algorithme de routage
- Des agents (fourmis) sont lancées dans le réseau, chacune allant d'une source à une destination
- Les agents mettent à jour la table de routage à chaque nœud
- L'influence d'un agent diminue avec le temps de parcours.



Domaines d'application

36

- Applications au problème symétrique et asymétrique de voyageur de commerce.
- Applications au problème d'ordonnancement séquentiel.
- Applications aux problèmes d'affectation quadratique.
- Applications aux problèmes de tournées des véhicules.
- Applications aux problèmes d'établissement d'horaires.
- Applications aux problèmes de coloration de graphe.
- Applications aux problèmes de partitionnement.
- Applications aux réseaux de télécommunications.
- Implémentations parallèles.

Pour conclure..

37

- La clé d'application de ACO pour de nouveaux problèmes est:
 1. La définition d'une heuristique appropriée qui définit la relation entre les différents éléments du problème.
 2. Déterminer une loi probabilistique pour la quantité de phéromone déposée et cela selon la nature du problème à résoudre.