Pourquoi les fourmis ?

- Les fourmis éffectuent lors de leur recherche de nourriture des recherches du plus court chemin
- Principes simples dont on peut s'inspirer pour établir des algorithmes
- Aucune entité ne contrôle les fourmis , elles sont toutes auto-organisés

FIG.: Hierarchie $\neq$ Hétérarchie

Phéromone

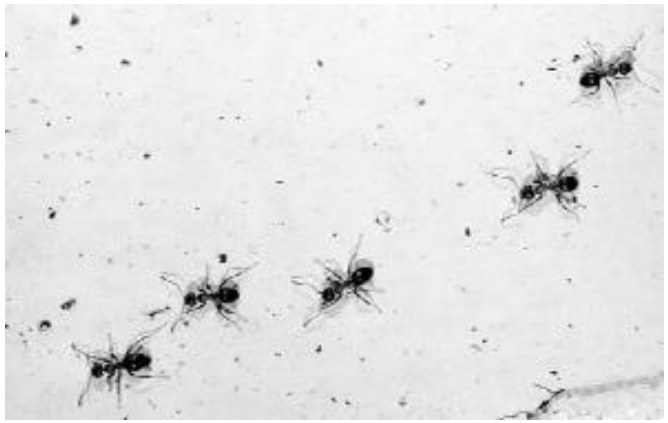
Les fourmis utilisent les phéromones comme media de communication. Les phéromones sont des subsances volatiles que les fourmis

- **perçoivent** grâce à des capteurs sur leurs anténnes
- **déposent** sur le sol par une glande situé sur leur abdomen en créant ainsi des pistes chimiques

Phéromones

Important :

- Les fourmis sont sensibles à la quantité/intensité de phéromones de leur environnement.
- Les fourmis suivent de préference les chemins ayant une forte concentration en phéromones
- Les phéromones sont volatiles,elles ne restent pas éternéllement là où elles ont été déposées



Historique

Le but est de présenter la meta-heuristique "ant colony optimization" qui a été inspiré par les travaux de Deneubourg.
Ce concept est relativement recent puisqu'il a commencé en 1991 avec Colorni,Dorigo et Maniezzo.
Il avait pour but 1er de resoudre le problème du voyageur de commerce.
La solution étant insatisfesante, des ameliorations ont été aporté en 1995.
Cependant dès 1994 elle a pu être appliqué à d'autre problème d'optimisation combinatoire.

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Points communs

Les fourmis virtuelles servent a modeliser le comportement des fourmis réelles, cependant on les enrichies de capacités supplementaires.

- points communs :
  - colonie d'individus coopérents
  - pistes de phéromones
  - évaporation des phéromones
  - recherche du plus court chemin
  - déplacements locaux

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Points communs

Les fourmis virtuelles servent a modeliser le comportement des fourmis réelles, cependant on les enrichies de capacités supplementaires.

- points communs :
  - colonie d'individus coopérants
  - colonie d'individus coopérents
  - pistes de phéromones
  - évaporation des phéromones
  - recherche du plus court chemin
  - déplacements locaux

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Points communs

Les fourmis virtuelles servent a modeliser le comportement des fourmis réelles, cependant on les enrichies de capacités supplementaires.

- points communs :
  - colonie d'individus coopérents
  - pistes de phéromones
  - pistes de phéromones
  - évaporation des phéromones
  - recherche du plus court chemin
  - déplacements locaux

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Points communs

Les fourmis virtuelles servent a modeliser le comportement des fourmis réelles, cependant on les enrichies de capacités supplementaires.

- points communs :
  - colonie d'individus coopérents
  - pistes de phéromones
  - évaporation des phéromones
  - évaporation des phéromones
  - recherche du plus court chemin
  - déplacements locaux

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Points communs

Les fourmis virtuelles servent a modeliser le comportement des fourmis réelles, cependant on les enrichies de capacités supplementaires.

- points communs :
  - colonie d'individus coopérents
  - pistes de phéromones
  - évaporation des phéromones
  - recherche du plus court chemin
  - recherche du plus court chemin
  - déplacements locaux

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Points communs

Les fourmis virtuelles servent a modeliser le comportement des fourmis réelles, cependant on les enrichies de capacités supplementaires.

- points communs :
  - colonie d'individus coopérents
  - pistes de phéromones
  - évaporation des phéromones
  - recherche du plus court chemin
  - déplacements locaux
  - déplacements locaux

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Points communs

Les fourmis virtuelles servent a modeliser le comportement des fourmis réelles, cependant on les enrichies de capacités supplementaires.

- points communs :
  - colonie d'individus coopérents
  - pistes de phéromones
  - évaporation des phéromones
  - recherche du plus court chemin
  - déplacements locaux
  - choix aléatoire lors des transitions

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Différences

- différences :
  - monde discret
  - mémoire
  - nature des phéromones
  - qualité de la solution
  - retard du depot des phéromones

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Différences

- différences :
  - monde discret
  - monde discret
  - mémoire
  - nature des phéromones
  - qualité de la solution
  - retard du depot des phéromones

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Différences

- différences :
  - monde discret
  - mémoire
  - mémoire
  - nature des phéromones
  - qualité de la solution
  - retard du depot des phéromones

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Différences

- différences :
  - monde discret
  - mémoire
  - nature des phéromones
  - nature des phéromones
  - qualité de la solution
  - retard du depot des phéromones

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Différences

- différences :
  - monde discret
  - mémoire
  - nature des phéromones
  - qualité de la solution
  - qualité de la solution
  - retard du depot des phéromones

Similarités et différences avec les fourmis réelles

Différences

- différences :
  - monde discret
  - mémoire
  - nature des phéromones
  - qualité de la solution
  - retard du depot des phéromones
  - retard du depot des phéromones

Similarités et différences avec les fourmis réelles

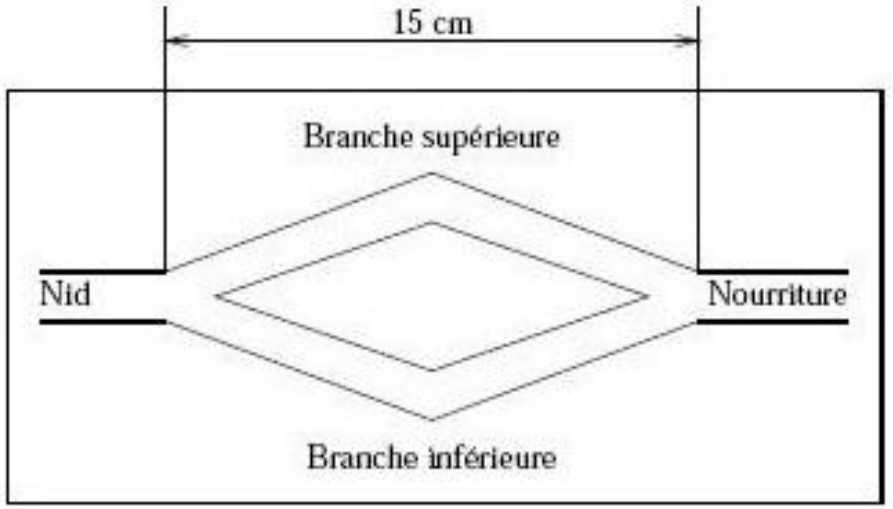
Différences

- différences :
  - monde discret
  - mémoire
  - nature des phéromones
  - qualité de la solution
  - retard du depot des phéromones
  - capacité special : anticipation et back-tracking

Expériences

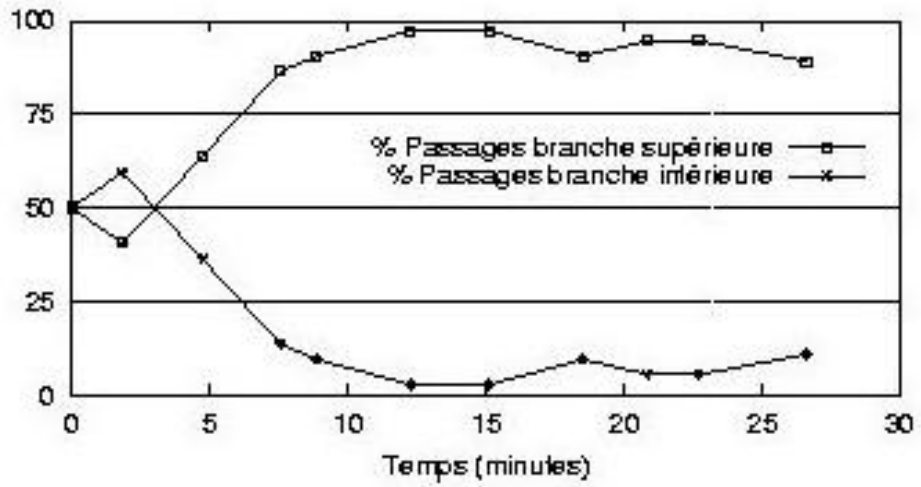
Pont binaire de Deneubourg

L'expérience traite d'un nid d'une colonie, qui est séparé d'une source de nourriture par un pont à deux voies qui ont la même longueur. On laisse évoluer ainsi les fourmis sur le pont.



(a)

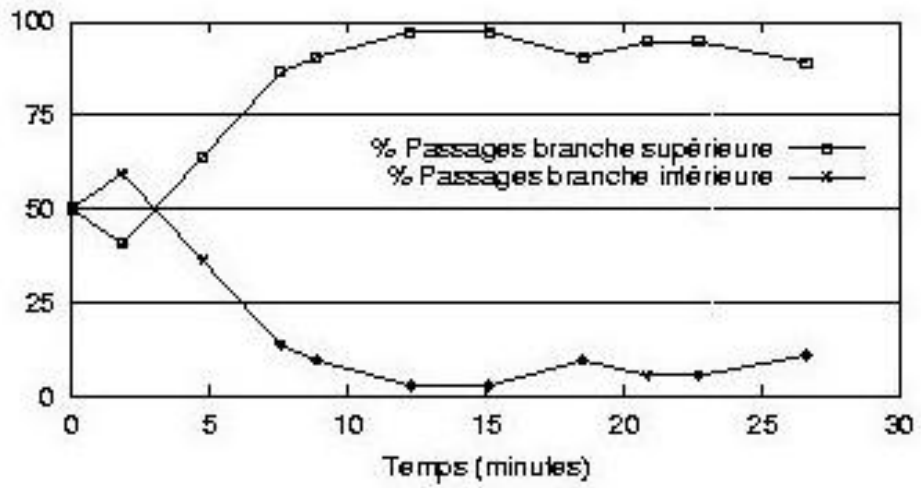
Expériences
Pont binaire de Deneubourg



(b)

On trace en fonction du temps l'évolution de ce système : on constate que les fourmis ont tendance à emprunter le même chemin (ici celui du haut) après une dizaine de minutes.

Expériences
Pont binaire de Deneubourg



(b)

Explication : Les fourmis déposent des phéromones en avançant, donc si elles sont plus nombreuses en haut, le chemin du haut comportera plus de phéromones.

Expériences

Pont binaire de Deneubourg

Le fait qu'il y ait plus de phéromones dans la branche supérieure, incite les autres fourmis à suivre ce chemin.

- La quantité de phéromone déposée augmentera encore plus.
- Plus les fourmis suivent un chemin, plus il devient intéressant à suivre.

Expériences
Pont binaire de Deneubourg

Le fait qu'il y ait plus de phéromones dans la branche supérieure, incite les autres fourmis à suivre ce chemin.

- La quantité de phéromone déposée augmentera encore plus.
- Plus les fourmis suivent un chemin, plus il devient intéressant à suivre.

Expériences

Pont binaire de Deneubourg

Le fait qu'il y ait plus de phéromones dans la branche supérieure, incite les autres fourmis à suivre ce chemin.

- La quantité de phéromone déposée augmentera encore plus.
- Plus les fourmis suivent un chemin, plus il devient intéressant à suivre.

Expériences
Pont binaire de Deneubourg

Le fait qu'il y ait plus de phéromones dans la branche supérieure, incite les autres fourmis à suivre ce chemin.

- La quantité de phéromone déposée augmentera encore plus.
- Plus les fourmis suivent un chemin, plus il devient intéressant à suivre.

À retenir

La probabilité avec laquelle une fourmi choisit un chemin, augmente avec le nombre de fourmis qui l'ont pris précédemment.

Expériences

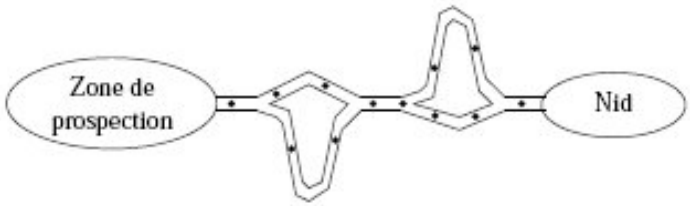
Expérience du double pont binaire

On peut se demander à présent quel serait l'effet de l'augmentation de la longueur d'une des deux branches du pont

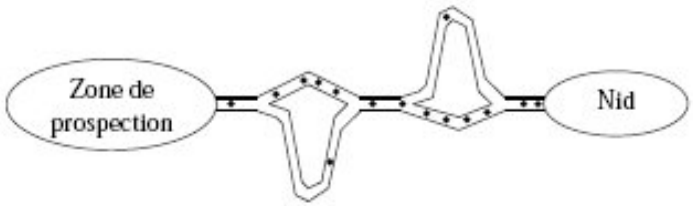
Expériences

Expérience du double pont binaire

On peut se demander à présent quel serait l'effet de l'augmentation de la longueur d'une des deux branches du pont



(a)

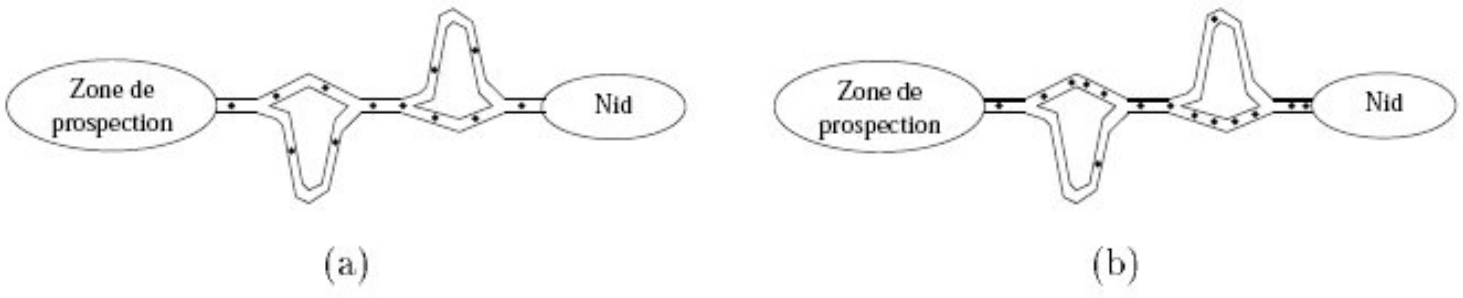


(b)

Expériences

Expérience du double pont binaire

On peut se demander à présent quel serait l'effet de l'augmentation de la longueur d'une des deux branches du pont

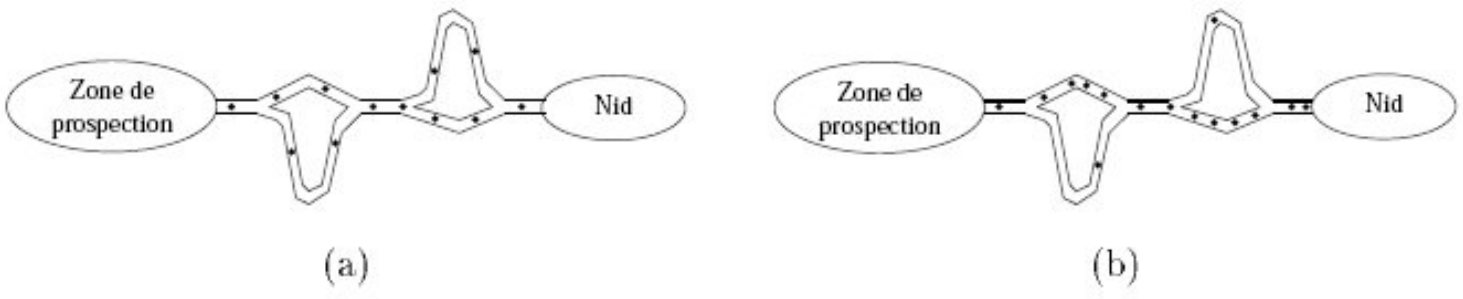


On voit nettement que les premières fourmis qui reviennent au nid avec de la nourriture sont celles qui ont emprunté le chemin le plus court.

Expériences

Expérience du double pont binaire

On peut se demander à présent quel serait l'effet de l'augmentation de la longueur d'une des deux branches du pont



On voit que ce chemin est marqué deux fois par les phéromones, et attire plus les autres fourmis que le long chemin, qui lui est marqué une seule fois dans le sens de l'aller.

Expériences

Expérience du double pont binaire

C'est ainsi qu'on voit que les variations aléatoires sont réduites, puisque les deux chemins n'ont plus la même longueur

Point important

Le mécanisme qui consistait à suivre les pistes de phéromones n'est plus le seul mécanisme présent : il y a la notion de distance

Expériences

Expérience du double pont binaire

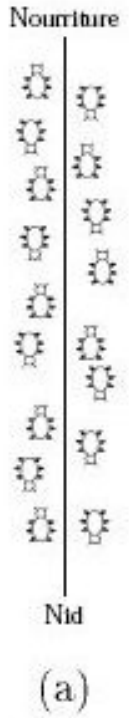
C'est ainsi qu'on voit que les variations aléatoires sont réduites, puisque les deux chemins n'ont plus la même longueur

Point important

Le mécanisme qui consistait à suivre les pistes de phéromones n'est plus le seul mécanisme présent : il y a la notion de distance

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

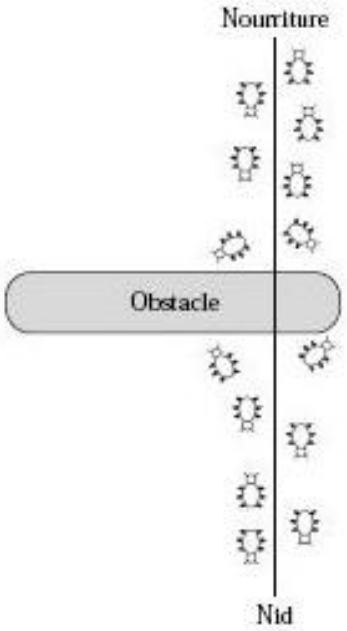


(a)

Dans cette expérience, les fourmis sont entrain de suivre une piste de phéromones.

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

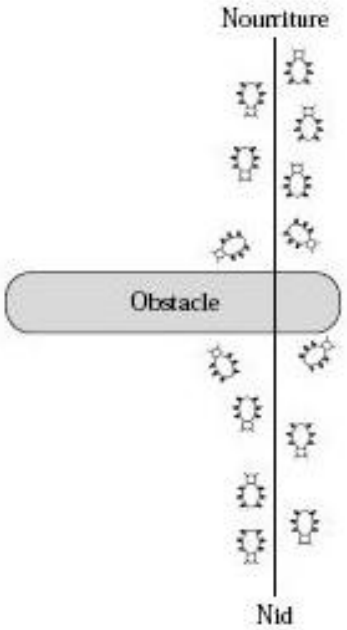


(b)

Puis il arrive un moment, où un obstacle barre la route des fourmis.

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

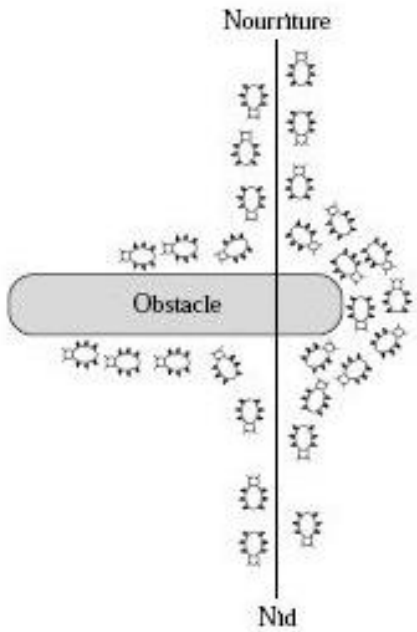


(b)

Les fourmis qui arrivent à côté de l'obstacle doivent choisir soit d'aller à gauche soit d'aller à droite puisqu'aucune trace de phéromone n'est déposée le long de lobstacle

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone



(c)

Néanmoins, puisque le chemin de droite est plus court que celui de gauche, les fourmis qui l'empruntent, vont retrouver plus vite la piste de phéromone de départ

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

- Les fourmis qui arrivent à l'obstacle à partir de ce moment, préféreront suivre la piste de droite. Le nombre de fourmis qui passent par la droite va augmenter, ce qui augmentera encore la concentration de phéromones.
- L'évaporation des phéromones sera plus forte sur la piste de gauche du fait que sa longueur est supérieure. La piste de gauche sera dont rapidement abandonnée, parce qu'elle en est beaucoup moins imprégnée.

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

- Les fourmis qui arrivent à l'obstacle à partir de ce moment, préféreront suivre la piste de droite. Le nombre de fourmis qui passent par la droite va augmenter, ce qui augmentera encore la concentration de phéromones.
- L'évaporation des phéromones sera plus forte sur la piste de gauche du fait que sa longueur est supérieure. La piste de gauche sera dont rapidement abandonnée, parce qu'elle en est beaucoup moins imprégnée.

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

Remarque :

Il est intéressant de voir que bien qu'une seule fourmi soit capable de construire une solution (i.e. de trouver un chemin du nid à la nourriture), c'est seulement le comportement de l'*ensemble* de la colonie qui est capable de créer le chemin le plus court

Expériences
Récapitulatif

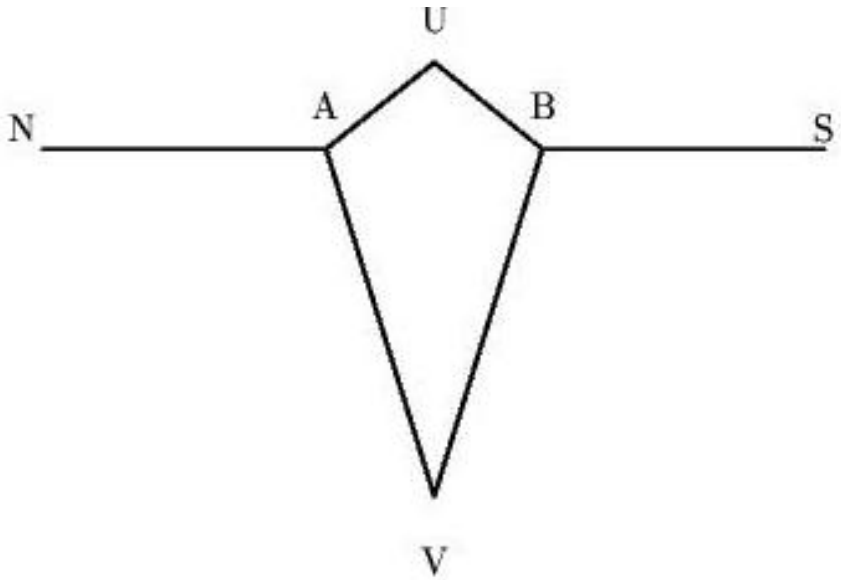


Figure 1: $t = 0$

À $t = 0$, on est dans la configuration initiale. Les fourmis aimeraient bien aller du Nid (N) à la source de nourriture (S).

Expériences
Récapitulatif

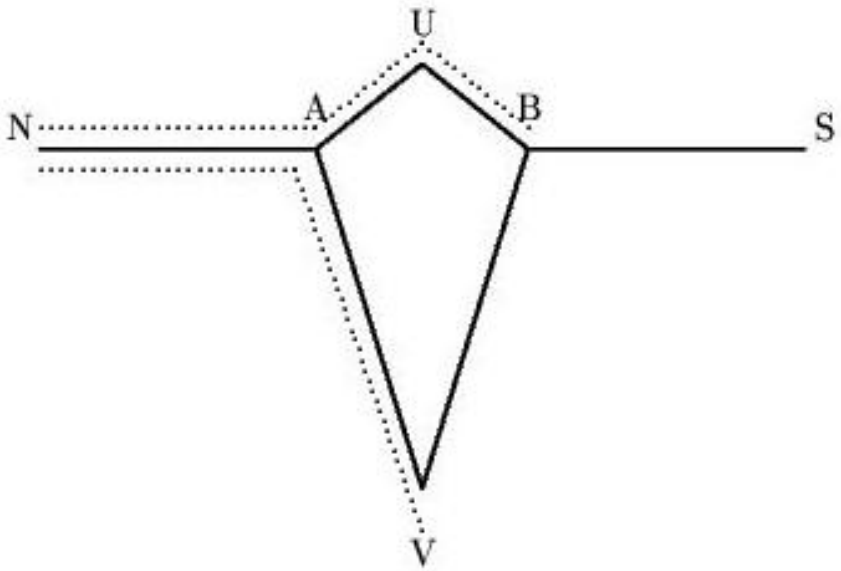


Figure 2: $t = 2$

À $t = 2$, il y a deux chemins possibles pour arriver à la source.

Expériences
Récapitulatif

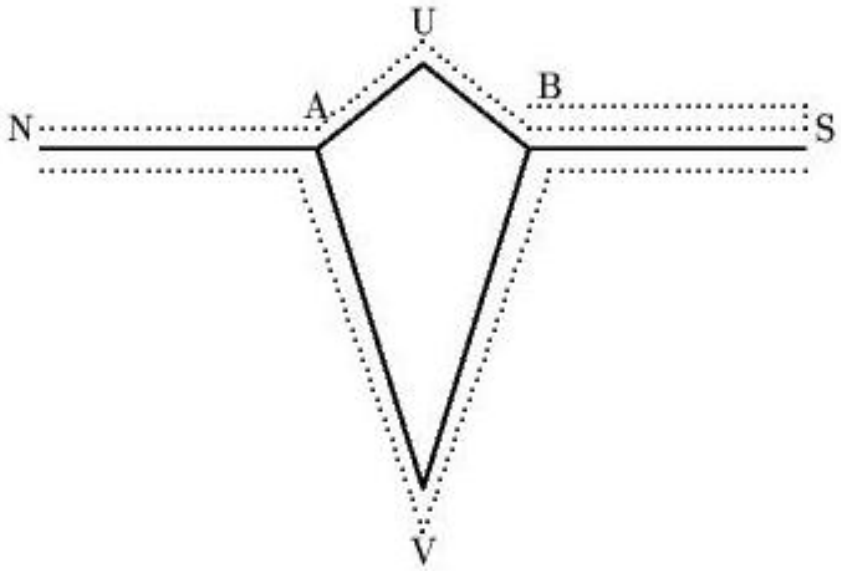


Figure 3: $t = 4$

À $t = 4$, on voit bien que les fourmis ayant emprunté la piste du haut ont rentrent au nid tandis que celles qui ont pris l'autre

Expériences
Récapitulatif

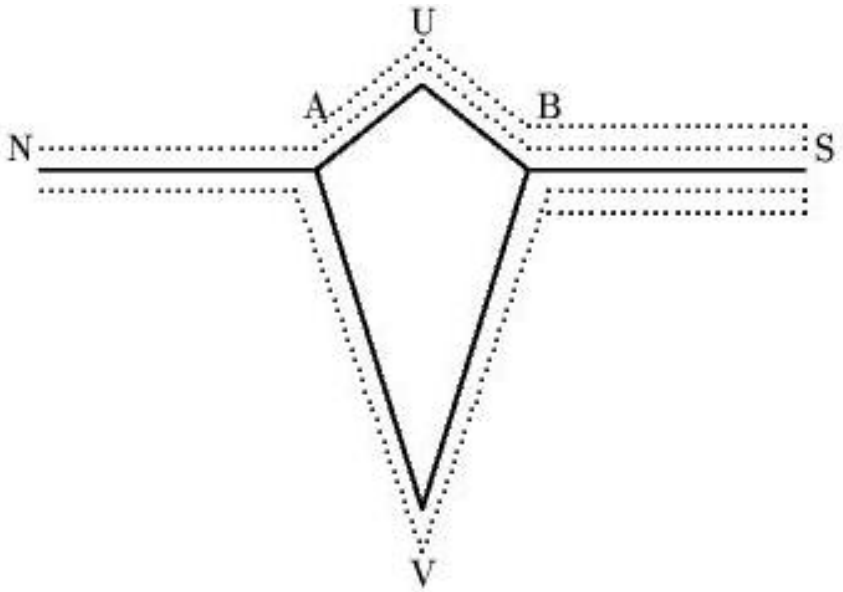


Figure 4: $t = 5$

À $t = 5$, on voit nettement que la teneur en phéromone est plus importante pour le chemin du haut que celui du bas

Expériences
Récapitulatif

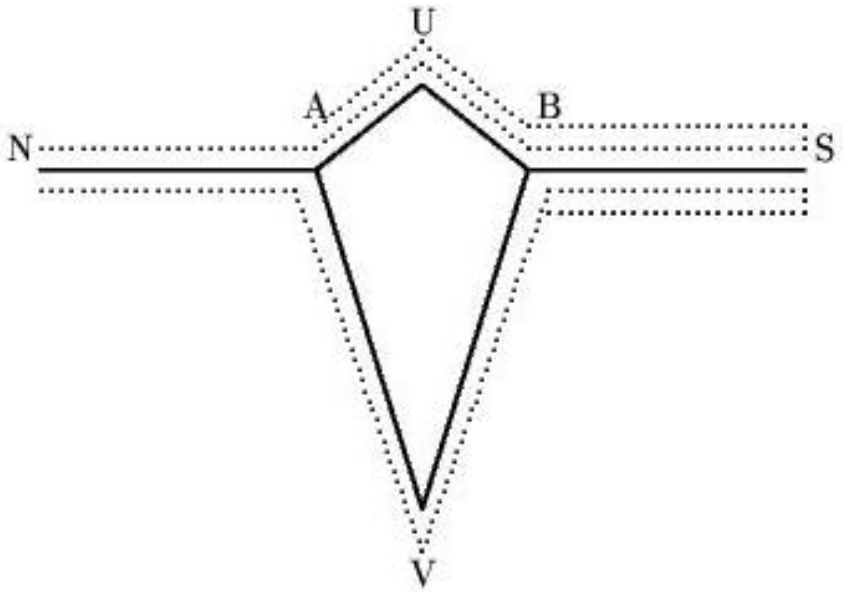


Figure 4: $t = 5$

Du fait de la concentration en phéromone, on se doute que les fourmis peuvent trouver *le plus court chemin*

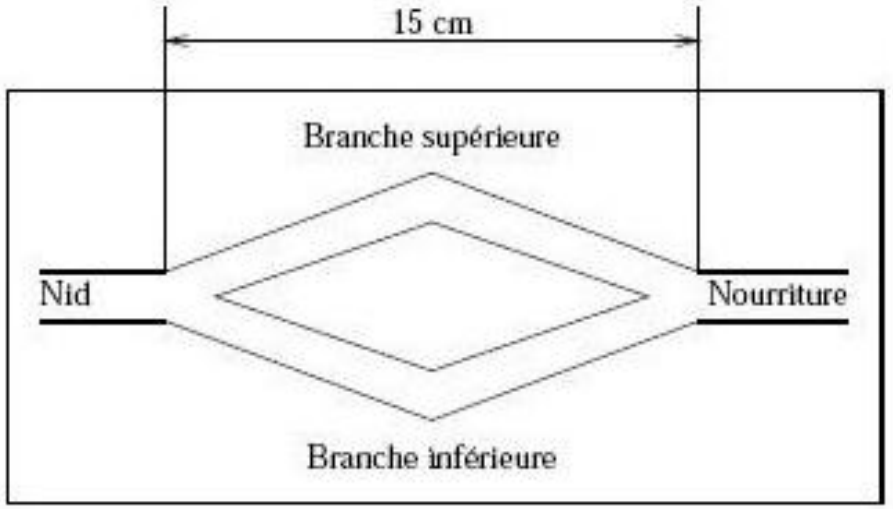
Expériences
Applets Java

Simulations à lancer

Expériences

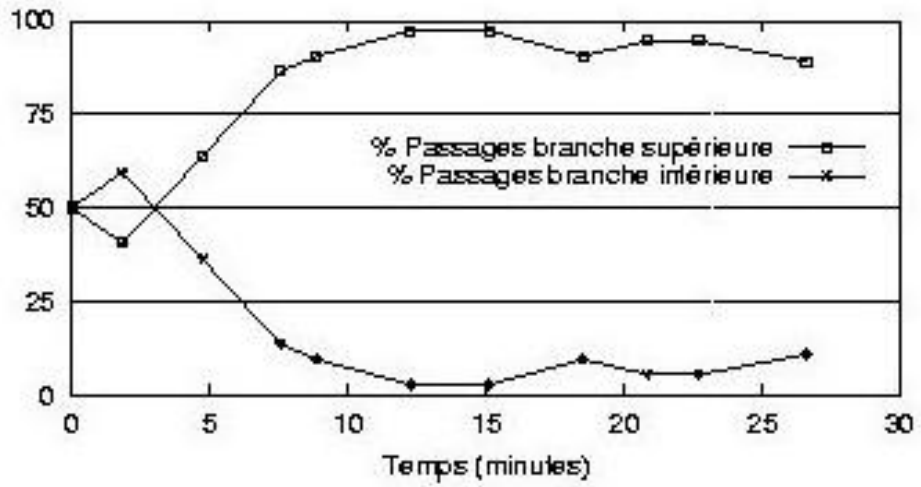
Pont binaire de Deneubourg

L'expérience traite d'un nid d'une colonie, qui est séparé d'une source de nourriture par un pont à deux voies qui ont la même longueur. On laisse évoluer ainsi les fourmis sur le pont.



(a)

Expériences
Pont binaire de Deneubourg

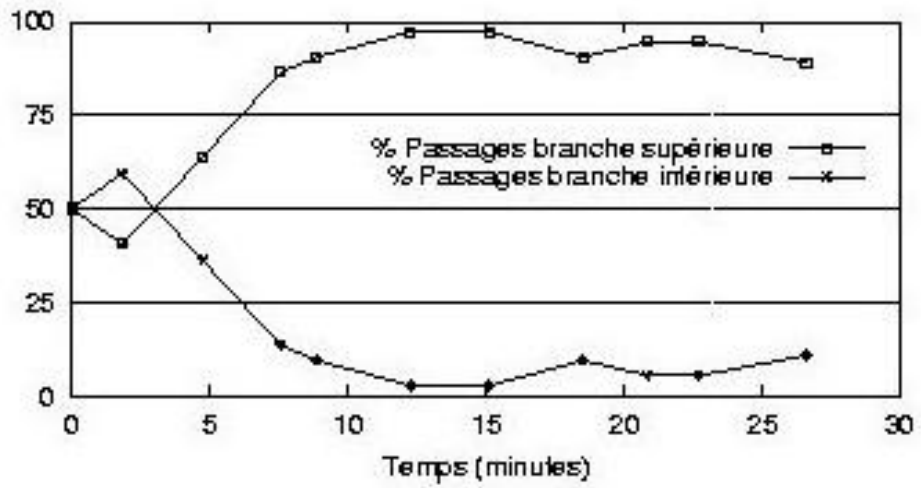


(b)

On trace en fonction du temps l'évolution de ce système : on constate que les fourmis ont tendance à emprunter le même chemin (ici celui du haut) après une dizaine de minutes.

Expériences

Pont binaire de Deneubourg



(b)

Explication : Les fourmis déposent des phéromones en avançant, donc si elles sont plus nombreuses en haut, le chemin du haut comportera plus de phéromones.

Expériences
Pont binaire de Deneubourg

Le fait qu'il y ait plus de phéromones dans la branche supérieure, incite les autres fourmis à suivre ce chemin.

- La quantité de phéromone déposée augmentera encore plus.
- Plus les fourmis suivent un chemin, plus il devient intéressant à suivre.

Expériences
Pont binaire de Deneubourg

Le fait qu'il y ait plus de phéromones dans la branche supérieure, incite les autres fourmis à suivre ce chemin.

- La quantité de phéromone déposée augmentera encore plus.
- Plus les fourmis suivent un chemin, plus il devient intéressant à suivre.

Expériences

Pont binaire de Deneubourg

Le fait qu'il y ait plus de phéromones dans la branche supérieure, incite les autres fourmis à suivre ce chemin.

- La quantité de phéromone déposée augmentera encore plus.
- Plus les fourmis suivent un chemin, plus il devient intéressant à suivre.

Expériences
Pont binaire de Deneubourg

Le fait qu'il y ait plus de phéromones dans la branche supérieure, incite les autres fourmis à suivre ce chemin.

- La quantité de phéromone déposée augmentera encore plus.
- Plus les fourmis suivent un chemin, plus il devient intéressant à suivre.

À retenir

La probabilité avec laquelle une fourmi choisit un chemin, augmente avec le nombre de fourmis qui l'ont pris précédemment.

Expériences

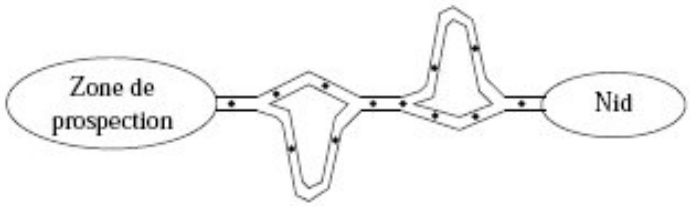
Expérience du double pont binaire

On peut se demander à présent quel serait l'effet de l'augmentation de la longueur d'une des deux branches du pont

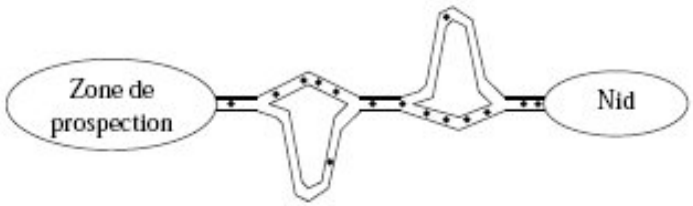
Expériences

Expérience du double pont binaire

On peut se demander à présent quel serait l'effet de l'augmentation de la longueur d'une des deux branches du pont



(a)

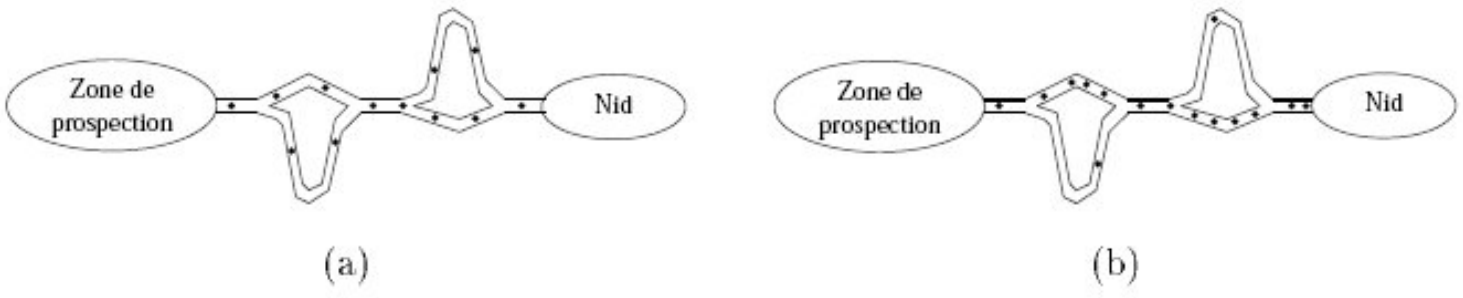


(b)

Expériences

Expérience du double pont binaire

On peut se demander à présent quel serait l'effet de l'augmentation de la longueur d'une des deux branches du pont

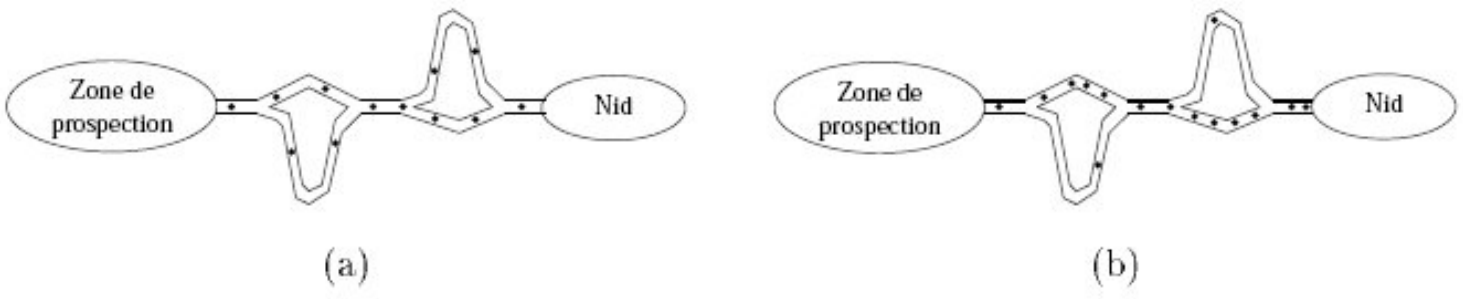


On voit nettement que les premières fourmis qui reviennent au nid avec de la nourriture sont celles qui ont emprunté le chemin le plus court.

Expériences

Expérience du double pont binaire

On peut se demander à présent quel serait l'effet de l'augmentation de la longueur d'une des deux branches du pont



On voit que ce chemin est marqué deux fois par les phéromones, et attire plus les autres fourmis que le long chemin, qui lui est marqué une seule fois dans le sens de l'aller.

Expériences

Expérience du double pont binaire

C'est ainsi qu'on voit que les variations aléatoires sont réduites, puisque les deux chemins n'ont plus la même longueur

Point important

Le mécanisme qui consistait à suivre les pistes de phéromones n'est plus le seul mécanisme présent : il y a la notion de distance

Expériences

Expérience du double pont binaire

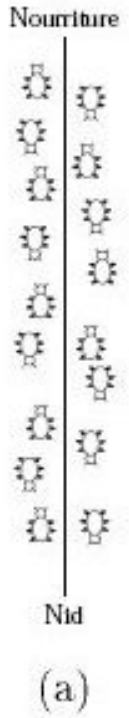
C'est ainsi qu'on voit que les variations aléatoires sont réduites, puisque les deux chemins n'ont plus la même longueur

Point important

Le mécanisme qui consistait à suivre les pistes de phéromones n'est plus le seul mécanisme présent : il y a la notion de distance

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

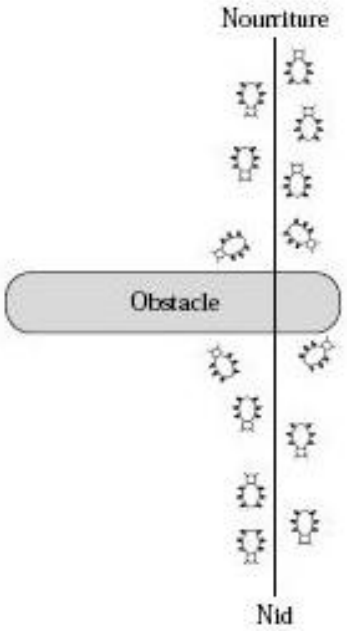


(a)

Dans cette expérience, les fourmis sont entrain de suivre une piste de phéromones.

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

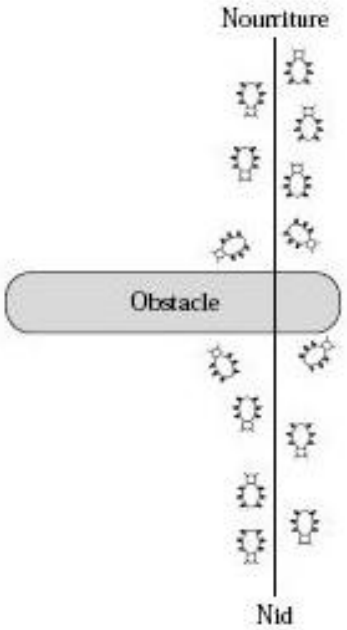


(b)

Puis il arrive un moment, où un obstacle barre la route des fourmis.

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

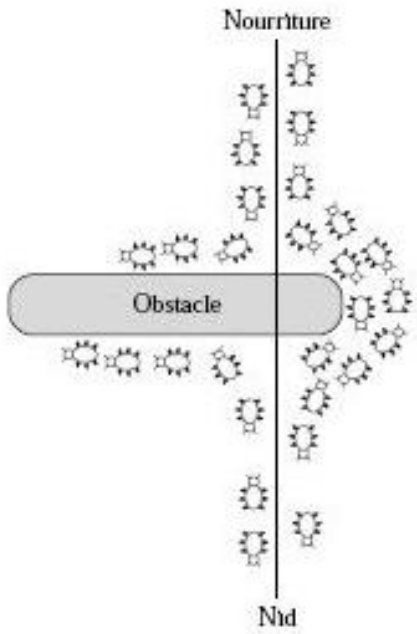


(b)

Les fourmis qui arrivent à côté de l'obstacle doivent choisir soit d'aller à gauche soit d'aller à droite puisqu'aucune trace de phéromone n'est déposée le long de lobstacle

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone



(c)

Néanmoins, puisque le chemin de droite est plus court que celui de gauche, les fourmis qui l'empruntent, vont retrouver plus vite la piste de phéromone de départ

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

- Les fourmis qui arrivent à l'obstacle à partir de ce moment, préféreront suivre la piste de droite. Le nombre de fourmis qui passent par la droite va augmenter, ce qui augmentera encore la concentration de phéromones.
- L'évaporation des phéromones sera plus forte sur la piste de gauche du fait que sa longueur est supérieure. La piste de gauche sera dont rapidement abandonnée, parce qu'elle en est beaucoup moins imprégnée.

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

- Les fourmis qui arrivent à l'obstacle à partir de ce moment, préféreront suivre la piste de droite. Le nombre de fourmis qui passent par la droite va augmenter, ce qui augmentera encore la concentration de phéromones.
- L'évaporation des phéromones sera plus forte sur la piste de gauche du fait que sa longueur est supérieure. La piste de gauche sera dont rapidement abandonnée, parce qu'elle en est beaucoup moins imprégnée.

Expériences

Effet de la coupure d'une piste de phéromone

Remarque :

Il est intéressant de voir que bien qu'une seule fourmi soit capable de construire une solution (i.e. de trouver un chemin du nid à la nourriture), c'est seulement le comportement de l'*ensemble* de la colonie qui est capable de créer le chemin le plus court

Expériences
Récapitulatif

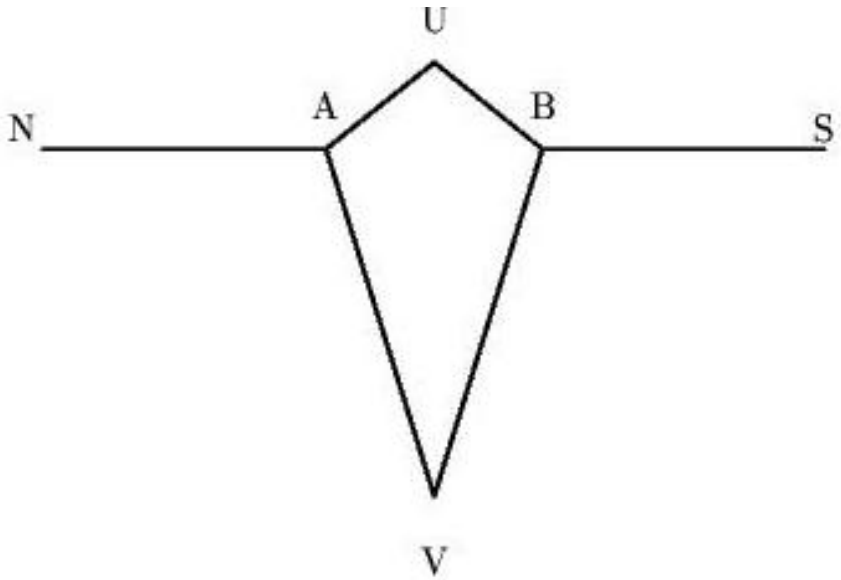


Figure 1: $t = 0$

À $t = 0$, on est dans la configuration initiale. Les fourmis aimeraient bien aller du Nid (N) à la source de nourriture (S).

Expériences
Récapitulatif

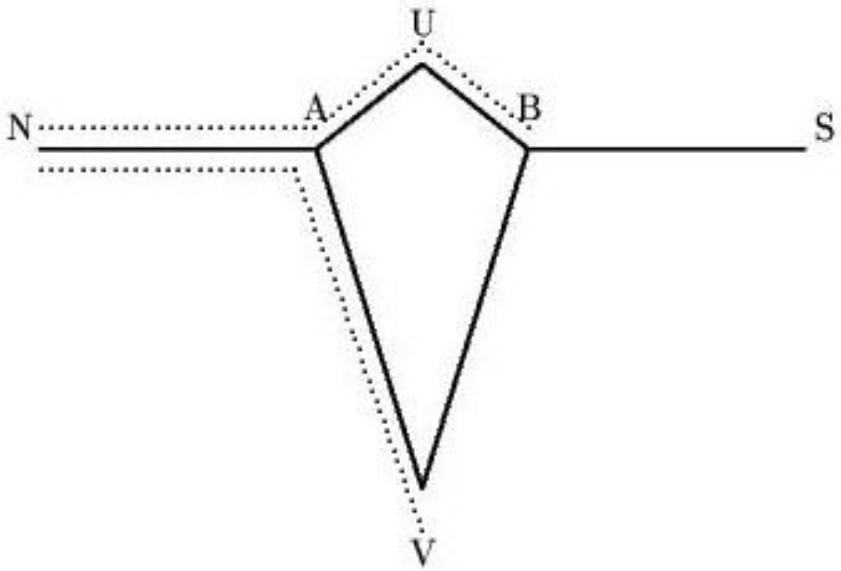


Figure 2: $t = 2$

À $t = 2$, il y a deux chemins possibles pour arriver à la source.

Expériences
Récapitulatif

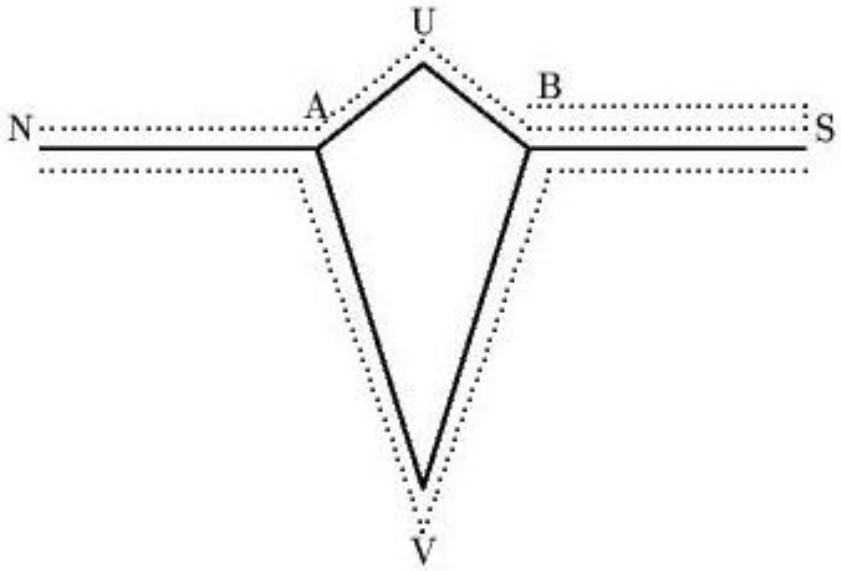


Figure 3: $t = 4$

À $t = 4$, on voit bien que les fourmis ayant emprunté la piste du haut ont rentrent au nid tandis que celles qui ont pris l'autre

Expériences
Récapitulatif

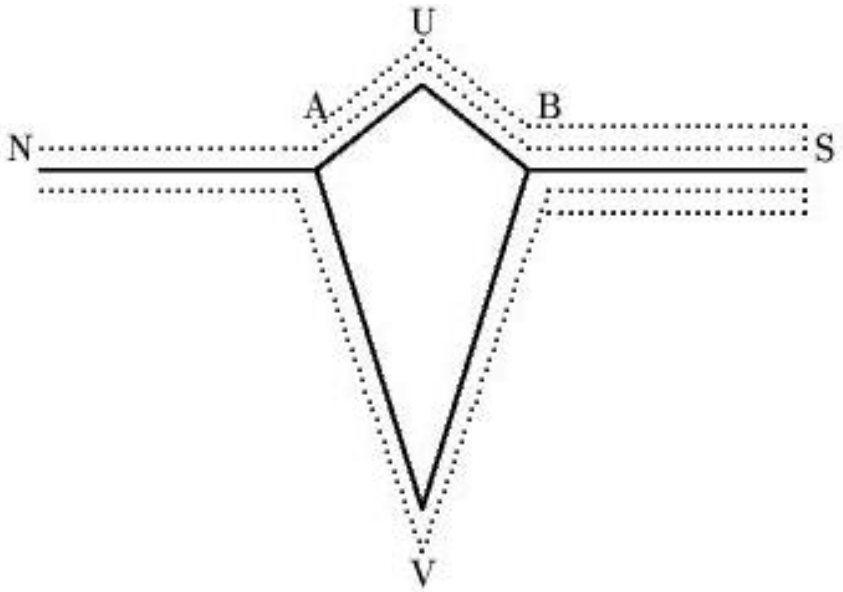


Figure 4: $t = 5$

À $t = 5$, on voit nettement que la teneur en phéromone est plus importante pour le chemin du haut que celui du bas

Expériences
Récapitulatif

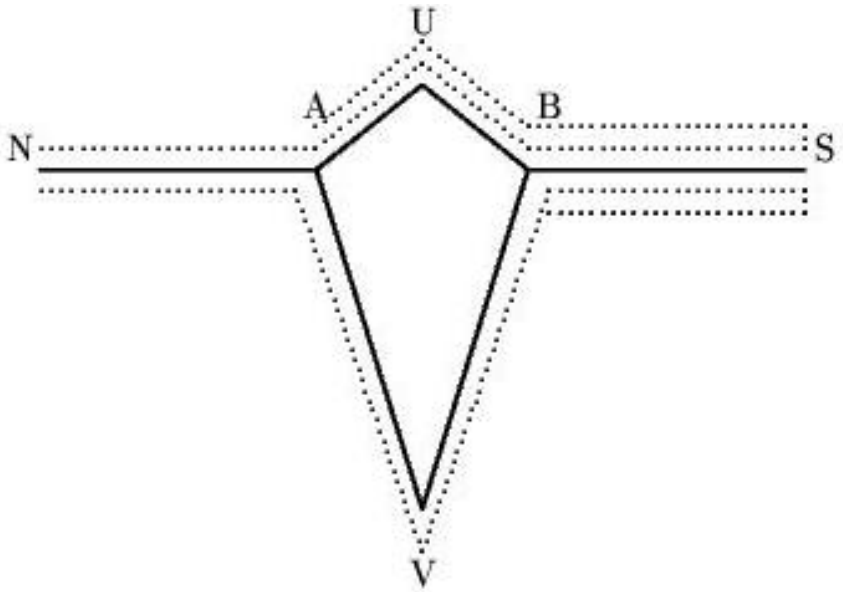


Figure 4: $t = 5$

Du fait de la concentration en phéromone, on se doute que les fourmis peuvent trouver *le plus court chemin*

Expériences
Applets Java

Simulations à lancer

Introduction

Données du probléme

- X , un ensemble fini de noeuds représentant les villes

Introduction

Données du probléme

- X , un ensemble fini de noeuds représentant les villes
- $U = \{(i,j)|i,j \in X\}$, un ensemble fini d'arcs

Introduction

Données du probléme

- X , un ensemble fini de noeuds représentant les villes
- $U = \{(i,j)|i,j \in X\}$, un ensemble fini d'arcs
- $d_{ij} \forall (i,j) \in U$ chaque arc est pondéré par un valeur representant la distance

Introduction
Formalisation

- **circuit hamiltonien** est un circuit qui passe exactement une fois par tous les sommets du graphe.
- la **longueur d'un circuit** μ est la somme des longueurs des arcs qui le composent, soit :

$$L(\mu) = d_{u_q,u_1} + \sum_{i=1}^{q-1} d_{u_1,u_{i+1}}$$

- le **TSP** (Traveling Salesman Problem) est le problème consistant à trouver un circuit hamiltonien de longueur minimale sur le graphe $G = (X, U)$

Ant System

Ant System
Conventions

- $b_i(t)(oui \in X)$ le nombre de fourmis dans la ville i à l'instant t
- $m = \sum_{i \in X} b_i$ leur nombre total, invariant dans le temps
- $\tau_{ij}(t)$ la valeur de τ_{ij} , à l'instant t (phéromones)
- $n = |X|$, le nombre de villes
- $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$, la *visibilité* d'une ville j quand on est placé sur la ville i, invariante dans le temps.

Ant System
Comportement de l'algorithme

Au debut de l'algo les fourmis sont placés sur les noeuds (villes). A chaque itération de l'algorythme chaque fourmi se deplace dans un ville non visité selon la formule qui établit le choix (voir suite), en gardant en mémoire l'ensemble des villes visitées .

Circuit Hamiltonien ☞aprés n itérations chaque fourmi à parcouru tout les noeuds

De plus aprés les n itérations les valeurs des quantités de phéromones des arc est mis a jour (voir suite) .

Ant System

Comportement de l'algorithme

Au debut de l'algo les fourmis sont placés sur les noeuds (villes). A chaque itération de l'algorythme chaque fourmi se deplace dans un ville non visité selon la formule qui établit le choix (voir suite), en gardant en mémoire l'ensemble des villes visitées .

Circuit Hamiltonien ☞aprés n itérations chaque fourmi à parcouru tout les noeuds

De plus aprés les n itérations les valeurs des quantités de phéromones des arc est mis a jour (voir suite) .

Ant System

Choix des transitions

Une fourmi k placée sur la ville i à l'instant t choisira la ville j en fonction de la visibilité η_{ij} et des phéromones $\tau_{ij}(t)$. Le choix parti les villes possible sera établi de maniére aléatoire avec comme probabilité de choisir la ville j donnée par :

$$p_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot \eta_{ij}^\beta}{\sum_{l \in N_i^k(t)} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot \eta_{il}^\beta} & si\ j \in N_i^k \\ 0 & sinon \end{cases}$$

N_i^k est lo'ensemble des villes non visitées par la fourmi k. α et β sont des constantes paramétrables.

Ant System

Mise à jour des phéromones

A la fin chaque cycle toutes les fourmis ont parcouru les n sommets qui parcourent le graphe . C'est a ce moment là que les variables "phéromones" sont mise à jour pour AS selon la formule :

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

- $\rho \in [0,1[$ coéfficient que l'utilisateur parametre
  son choix est important
- $\Delta\tau_{ij}(t)$ est la somme des phéromones déposés par toutels les fourmis sur l'arc (i,j) entre t et $t+n$

Ant System

Mise à jour des phéromones

A la fin chaque cycle toutes les fourmis ont parcouru les n sommets qui parcourent le graphe . C'est a ce moment là que les variables "phéromones" sont mise à jour pour AS selon la formule :

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

- $\rho \in [0,1[$ coéfficient que l'utilisateur parametre
  son choix est important
- $\Delta\tau_{ij}(t)$ est la somme des phéromones déposés par toutels les fourmis sur l'arc (i,j) entre t et $t+n$

Ant System

Mise à jour des phéromones

A la fin chaque cycle toutes les fourmis ont parcouru les n sommets qui parcourent le graphe . C'est a ce moment là que les variables "phéromones" sont mise à jour pour AS selon la formule :

$$\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}(t)$$

- $\rho \in [0,1[$ coéfficient que l'utilisateur parametre
  son choix est important
- $\Delta\tau_{ij}(t)$ est la somme des phéromones déposés par toutels les fourmis sur l'arc (i,j) entre t et $t+n$

Ant System

Quantités de phéromones déposées

- $T_k(t) = (u_{k_1}, \ldots, u_{k_q})$ le tour réalisé par la k-ème fourmi entre t et $t + n$
- $L_k(t)$ la nongueur du tour
- Q est une constante

La quantité de phéromones que dépose la fourmi k sur un arc(i, j) est donnée par cette formule

$$\Delta\tau_{ij}^{k}(t) = \begin{cases} Q/L_k(t) & si(u \in T_k(t) \ \wedge \ u \ = \ (i,j)) \\ 0 & sinon \end{cases}$$

Ant System

Quantités de phéromones déposées

- $T_k(t) = (u_{k_1}, \ldots, u_{k_q})$ le tour réalisé par la k-ème fourmi entre t et $t + n$
- $L_k(t)$ la nongueur du tour
- Q est une constante

La quantité de phéromones que dépose la fourmi k sur un arc(i, j) est donnée par cette formule

$$\Delta\tau_{ij}^{k}(t) = \begin{cases} Q/L_k(t) \; si(u \in T_k(t) \; \wedge \; u \; = \; (i,j)) \\ 0 \qquad\qquad sinon \end{cases}$$

Ant System

Quantités de phéromones déposées

Maintenent voici la formule definissant $\Delta\tau_{ij}(t)$ de la premiére formule

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

Fonctionnement de l'algorithme

voici les différentes étapes de l'algorithme pendant son execution :

Fonctionnement de l'algorithme

voici les différentes étapes de l'algorithme pendant son execution :

- initialisation
  - les m fourmis sont reparties dans les n villes
  - la liste des villes deja visitées est initialisé à la ville de départ
  - les pistes de phéromones sont initialisées avec une petite quantité de depart

Fonctionnement de l'algorithme

voici les différentes étapes de l'algorithme pendant son execution :

- fin d'un cycle
  - chaque fourmi calcul la longueur de son trajet
  - chaque fourmi calcul la dose de pheromone quelle va rependre
  - les pistes sont mise à jour
  - si une fourmi a fait un tour plus court que celui trouvé precédement il est mémorisé
  - les listes des villes déjà visitées sont effacé
  - un nouveau tour est lancé

Fonctionnement de l'algorithme

voici les différentes étapes de l'algorithme pendant son execution :

- fin de l'algorithme
  - l'algorithme s'arrete après une nombre de cycle pre-determiné
  - sinon si on entre dans une situation de stagnation il s'arrete avant

Fonctionnement de l'algorithme

Complexité

découpage des étape de l'algorithme :

1. initialisation : $O(|L| + m) = O(n^2 + m)$
2. un cycle : $O(n^2 \cdot m)$
3. fin du cycle et calcul du dépot :
   $O(|L| + m \cdot |L|) = O(m \cdot |L|) = O(n^2 \cdot m)$
4. Evaporation des phéromone : $O(|L|) = O(n^2)$
5. boucle principale : $O(n \cdot m)$

Fonctionnement de l'algorithme

Complexité

découpage des étape de l'algorithme :

1. initialisation : $O(|L| + m) = O(n^2 + m)$
2. initialisation : $O(|L| + m) = O(n^2 + m)$
3. un cycle : $O(n^2 \cdot m)$
4. fin du cycle et calcul du dépot :
   $O(|L| + m \cdot |L|) = O(m \cdot |L|) = O(n^2 \cdot m)$
5. Evaporation des phéromone : $O(|L|) = O(n^2)$
6. boucle principale : $O(n \cdot m)$

Fonctionnement de l'algorithme

Complexité

découpage des étape de l'algorithme :

1. initialisation : $O(|L| + m) = O(n^2 + m)$
2. un cycle : $O(n^2 \cdot m)$
3. un cycle : $O(n^2 \cdot m)$
4. fin du cycle et calcul du dépot : $O(|L| + m \cdot |L|) = O(m \cdot |L|) = O(n^2 \cdot m)$
5. Evaporation des phéromone : $O(|L|) = O(n^2)$
6. boucle principale : $O(n \cdot m)$

Fonctionnement de l'algorithme

Complexité

découpage des étape de l'algorithme :

1. initialisation : $O(|L| + m) = O(n^2 + m)$
2. un cycle : $O(n^2 \cdot m)$
3. fin du cycle et calcul du dépot : $O(|L| + m \cdot |L|) = O(m \cdot |L|) = O(n^2 \cdot m)$
4. Evaporation des phéromone : $O(|L|) = O(n^2)$
5. boucle principale : $O(n \cdot m)$

Fonctionnement de l'algorithme

Complexité

découpage des étape de l'algorithme :

1. initialisation : $O(|L| + m) = O(n^2 + m)$
2. un cycle : $O(n^2 \cdot m)$
3. fin du cycle et calcul du dépot :
   $O(|L| + m \cdot |L|) = O(m \cdot |L|) = O(n^2 \cdot m)$
4. Evaporation des phéromone : $O(|L|) = O(n^2)$
5. Evaporation des phéromone : $O(|L|) = O(n^2)$
6. boucle principale : $O(n \cdot m)$

Fonctionnement de l'algorithme

Complexité

découpage des étape de l'algorithme :

1. initialisation : $O(|L| + m) = O(n^2 + m)$
2. un cycle : $O(n^2 \cdot m)$
3. fin du cycle et calcul du dépot : $O(|L| + m \cdot |L|) = O(m \cdot |L|) = O(n^2 \cdot m)$
4. Evaporation des phéromone : $O(|L|) = O(n^2)$
5. boucle principale : $O(n \cdot m)$
6. boucle principale : $O(n \cdot m)$

Fonctionnement de l'algorithme

Complexité

découpage des étape de l'algorithme :

1. initialisation : $O(|L| + m) = O(n^2 + m)$
2. un cycle : $O(n^2 \cdot m)$
3. fin du cycle et calcul du dépot :
   $O(|L| + m \cdot |L|) = O(m \cdot |L|) = O(n^2 \cdot m)$
4. Evaporation des phéromone : $O(|L|) = O(n^2)$
5. boucle principale : $O(n \cdot m)$

total :

$$O(n^2 + m + NC_{max} \cdot n^2 \cdot m) = O(NC_{max} \cdot n^2 \cdot m)$$

Fonctionnement de l'algorithme

variantes

Il existe 2 autres methodes anterieures ,appelées AS-ant-density et AS-ant-quantity, qui fonctionnent sur le même principe mais qui diffèrent parce que :

- les pheromones sont déposé pas-à-pas (comme les vraies fourmis) (pour les 2)
- la quantité de pheromone déposée dans ant-quantity qui rend plus desirable les chemins les plus court.

☞mais abandoné car chute des performences a cause du manque de competitivité entre les fourmis.

Choix des paramètres

Considérations générales

Un des grand inconvénient de l'algorithme AS est le nombre élevé de paramètres à configurer.
Aucune modelisation mathematique n'existe pour AS, par concequent rien pour justifier theoriquement les réglages des paramètre.
Ainsi, seuls les résultats expérimentaux nous permettent d'affiner et de trouver un parametrage correct.

Choix des paramètres

Résultats expérimentaux

1. Lors de l'initialisation nous posons $p = 0,5$ et $c \approx 0$
   ce choix se justifie simplement parce qu'au debut on dépose peu de phéromone (c) et on veut une probabilité égal entre diversification et intensification pour commencer.
2. la recherche semble plus efficace quand les phéromones ont un fort impact sur les fourmis, nous choisissons donc : $\alpha = 1$.
3. il existe un optimum quand $m \approx n$: la coordination des fourmis semble atteindre son maximum.
4. il semblerait qu'il soit plus interessant de repartir les fourmis uniformement dans les villes, ce qui nous donne, du fait du point précédent : $m = n$.
5. le paramètre Q n'a qu'une influence négligeable puisqu'on utilise des rapport entre valeur. En général il est fixé a 100.

Choix des paramètres

Résultats expérimentaux

1. Lors de l'initialisation nous posons $p = 0,5$ et $c \approx 0$
   ce choix se justifie simplement parce qu'au debut on dépose peu de phéromone (c) et on veut une probabilité égal entre diversification et intensification pour commencer.
2. la recherche semble plus efficace quand les phéromones ont un fort impact sur les fourmis, nous choisissons donc : $\alpha = 1$.
3. il existe un optimum quand $m \approx n$: la coordination des fourmis semble atteindre son maximum.
4. il semblerait qu'il soit plus interessant de repartir les fourmis uniformement dans les villes, ce qui nous donne, du fait du point précédent : $m = n$.
5. le paramètre Q n'a qu'une influence négligeable puisqu'on utilise des rapport entre valeur. En général il est fixé a 100.

Choix des paramètres

Résultats expérimentaux

1. Lors de l'initialisation nous posons $p = 0,5$ et $c \approx 0$
   ce choix se justifie simplement parce qu'au debut on dépose peu de phéromone (c) et on veut une probabilité égal entre diversification et intensification pour commencer.
2. la recherche semble plus efficace quand les phéromones ont un fort impact sur les fourmis, nous choisissons donc : $\alpha = 1$.
3. il existe un optimum quand $m \approx n$: la coordination des fourmis semble atteindre son maximum.
4. il semblerait qu'il soit plus interessant de repartir les fourmis uniformement dans les villes, ce qui nous donne, du fait du point précédent : $m = n$.
5. le paramètre Q n'a qu'une influence négligeable puisqu'on utilise des rapport entre valeur. En général il est fixé a 100.

Choix des paramètres

Résultats expérimentaux

1. Lors de l'initialisation nous posons $p = 0,5$ et $c \approx 0$
   ce choix se justifie simplement parce qu'au debut on dépose peu de phéromone (c) et on veut une probabilité égal entre diversification et intensification pour commencer.
2. la recherche semble plus efficace quand les phéromones ont un fort impact sur les fourmis, nous choisissons donc : $\alpha = 1$.
3. il existe un optimum quand $m \approx n$: la coordination des fourmis semble atteindre son maximum.
4. il semblerait qu'il soit plus interessant de repartir les fourmis uniformement dans les villes, ce qui nous donne, du fait du point précédent : $m = n$.
5. le paramètre Q n'a qu'une influence négligeable puisqu'on utilise des rapport entre valeur. En général il est fixé a 100.

Choix des paramètres

Résultats expérimentaux

1. Lors de l'initialisation nous posons $p = 0,5$ et $c \approx 0$
   ce choix se justifie simplement parce qu'au debut on dépose peu de phéromone (c) et on veut une probabilité égal entre diversification et intensification pour commencer.
2. la recherche semble plus efficace quand les phéromones ont un fort impact sur les fourmis, nous choisissons donc : $\alpha = 1$.
3. il existe un optimum quand $m \approx n$: la coordination des fourmis semble atteindre son maximum.
4. il semblerait qu'il soit plus interessant de repartir les fourmis uniformement dans les villes, ce qui nous donne, du fait du point précédent : $m = n$.
5. le paramètre Q n'a qu'une influence négligeable puisqu'on utilise des rapport entre valeur. En général il est fixé a 100.

Choix des paramètres

Résultats expérimentaux

résumé :

pour un problème de 30 villes : $n = 30$, $NC_{max} = 5000$, $\alpha = 1$,$\beta = 1$, $p = 0,5$ et $Q = 100$.

Choix des paramètres

Les fourmis élitistes

c'est une amélioration de l'AS donnant de bons résultats : cette methode consiste a faire parcourir le plus cours chemin trouvé par des fourmis qui vont ainsi renforcer la valeur des phéromones sur ce trajet afin d'y attirer un maximum de fourmis.
Au final il suffit d'ajouter la formule suivante à la fin de chaque cycle :

fourmis élitistes

$$\tau_{ij}(t) \leftarrow \tau_{ij}(t) + \begin{cases} e \cdot \frac{Q}{L^*} \ si \ (i,j) \in T^* \\ 0 \ sinon \end{cases}$$

où e est le nombre de fourmis élitistes.

Choix des paramètres

Les fourmis élitistes

L'effet des fourmis élitistes accroît grandement la convergence de cette methode au risque de conduire à des solutions sous-optimales, mais elles permettent aussi l'émergence de meilleurs tours.
Par concequent le nombre e de fourmis élitistes est un paramètre supplémentaire à optimiser.
Après experience sur un problème à 30 villes il semblerait que $e = 8$ permette de diviser par 10 le nombre de cycle et de trouver un résultat souvent meilleur.

Choix des paramètres

Les fourmis élitistes

L'effet des fourmis élitistes accroît grandement la convergence de cette methode au risque de conduire à des solutions sous-optimales, mais elles permettent aussi l'émergence de meilleurs tours.
Par concequent le nombre e de fourmis élitistes est un paramètre supplémentaire à optimiser.
Après experience sur un problème à 30 villes il semblerait que $e = 8$ permette de diviser par 10 le nombre de cycle et de trouver un résultat souvent meilleur.

Choix des paramètres

Résumé

résumé du paramètrage pour 30 villes

paramètres	**valeurs**
m	n
p	$0,5$
α	1
β	5
Q	100
c	Petite valeur positive non nulle
Distribution initiale	Uniforme

si on choisit d'utiliser des fourmis élitiste on pose $e = 8$.

Choix des paramètres

Résumé

Au final on obtient :

$$AScomplexity = O(NC_{max} \cdot n^3)$$

on obtient donc un algorithme cubique.

Performances de l'algorithme Ant System

Présentation générale

- Les résultats expérimentaux fourmis dans les premières implémentations du AS étaient intéressants d'un points de vue algorithmique mais inefficaces.
- En fait, AS (sans fourmis élitistes) est capable de trouver la solution optimale pour 30 villes du TSP.
- Mais concernant des problèmes de dimensions plus importantes, AS n'a jamais pu trouver une solution optimale en un temps raisonnable bien que cet algorithme possède une rapide convergence vers des solutions acceptables.

Présentation générale

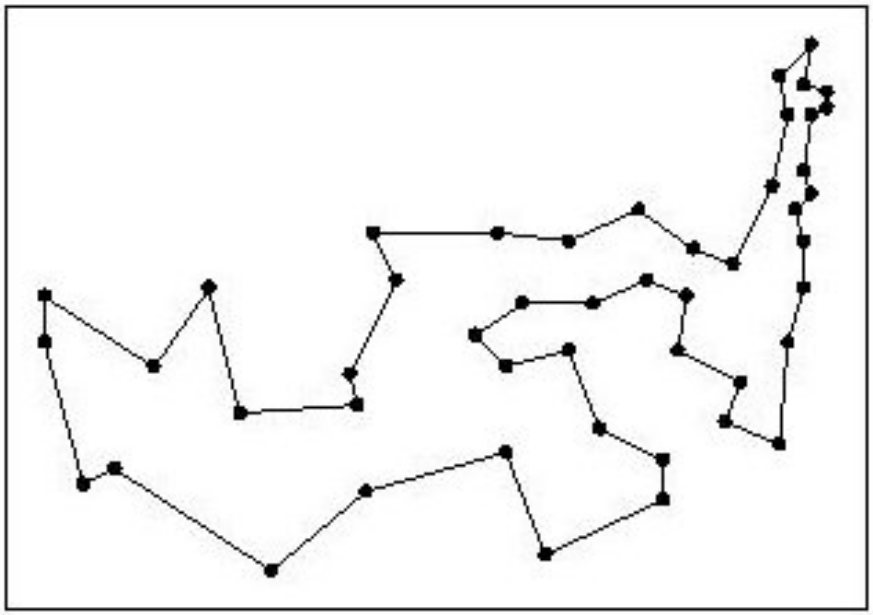
- Les résultats expérimentaux fourmis dans les premières implémentations du AS étaient intéressants d'un points de vue algorithmique mais inefficaces.
- En fait, AS (sans fourmis élitistes) est capable de trouver la solution optimale pour 30 villes du TSP.
- Mais concernant des problèmes de dimensions plus importantes, AS n'a jamais pu trouver une solution optimale en un temps raisonnable bien que cet algorithme possède une rapide convergence vers des solutions acceptables.

Présentation générale

- Les résultats expérimentaux fourmis dans les premières implémentations du AS étaient intéressants d'un points de vue algorithmique mais inefficaces.
- En fait, AS (sans fourmis élitistes) est capable de trouver la solution optimale pour 30 villes du TSP.
- Mais concernant des problèmes de dimensions plus importantes, AS n'a jamais pu trouver une solution optimale en un temps raisonnable bien que cet algorithme possède une rapide convergence vers des solutions acceptables.

Présentation générale

Le programme écrit en C qui a été testé se nomme ACOTSP, il découle directement des travaux de Dorigo. On se base sur le problème du TSP avec un ensemble de 48 villes (le "Att48"), ce modèle représentant une modélisation des grandes villes des États-Unis.



Présentation générale

Dans ce programme, les paramètres choisis correspondent aux paramètres qu'on a défini précédemment. En plus, on essaye d'introduire un test de stagnation. La division entre l'écart-type de la population de la longueur des tours par la plus petite distance entre deux villes, nous donne un nombre qui est une bonne mesure du degré de stagnation.

Si ce nombre descend sous un certain seuil fixé par l'utilisateur, on considère qu'on est dans une phase de stagnation, donc l'algorithme n'évolue plus vers la solution optimale.

Présentation générale

Dans ce programme, les paramètres choisis correspondent aux paramètres qu'on a défini précédemment. En plus, on essaye d'introduire un test de stagnation. La division entre l'écart-type de la population de la longueur des tours par la plus petite distance entre deux villes, nous donne un nombre qui est une bonne mesure du degré de stagnation.

Si ce nombre descend sous un certain seuil fixé par l'utilisateur, on considère qu'on est dans une phase de stagnation, donc l'algorithme n'évolue plus vers la solution optimale.

Résultats sans fourmis élitistes

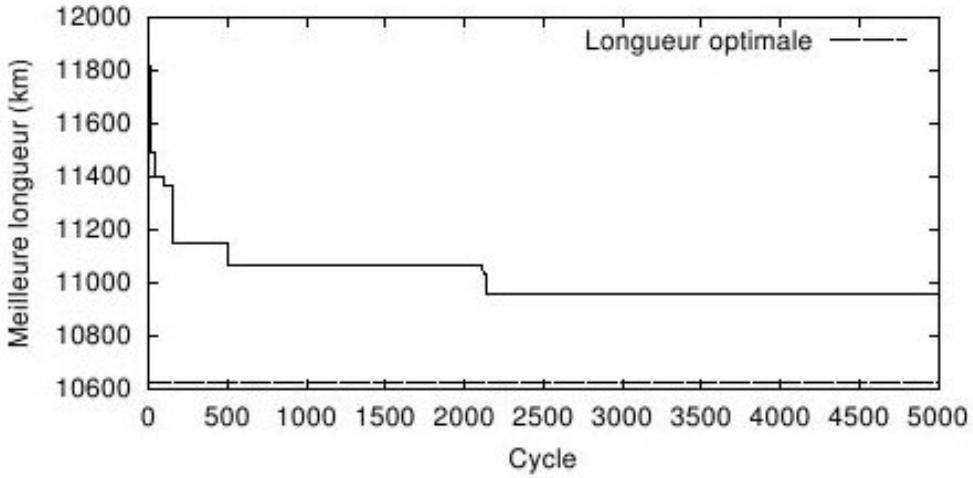


FIG.: Évolution de la longueur du meilleur tour.

D'après la convergence du graphe, on peut voir que le meilleur tour a été trouvé et que l'algorithme propose une très bonne approximation de la solution optimale.

Résultats sans fourmis élitistes

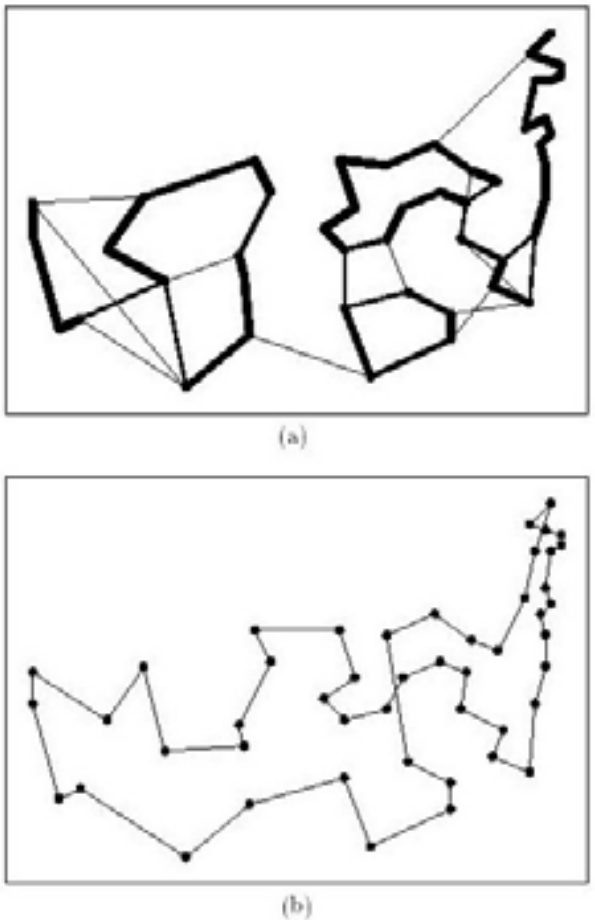


FIG.: La meilleure solution trouvée et les quantités de phéromones

Résultats sans fourmis élitistes

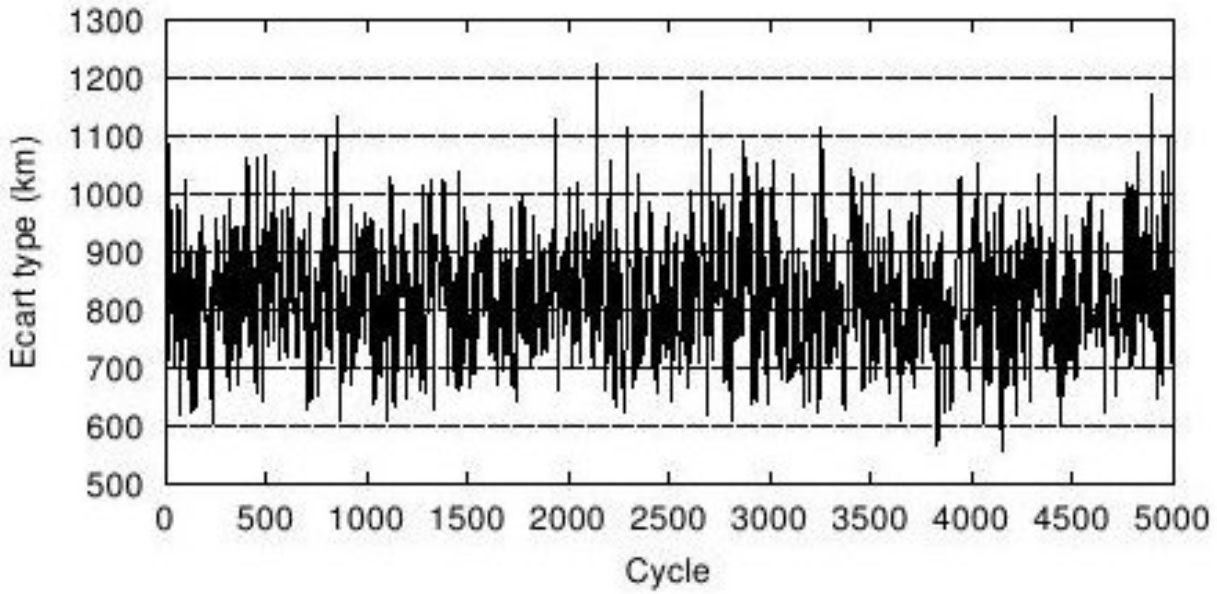


FIG.: Écart-type de la population de la longueur des solutions.

On voit que la valeur de l'écart-type des longueurs des tours ne tombe jamais à zéro, ce qui nous montre que l'algorithme recherche toujours de nouvelles solutions, qui peuvent s'améliorer

Résultats sans fourmis élitistes

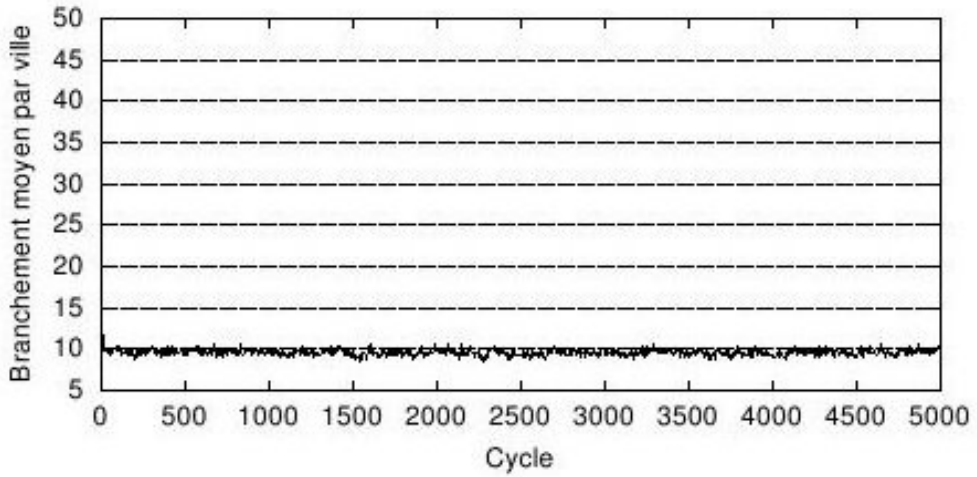


FIG.: Nombre moyen de branchements possibles par noeud.

L'axe vertical sur ce schéma correspond au nombre moyen d'arcs potentiellement empruntables par les fourmis à chaque noeud. Ce nombre correspond au nombre moyen d'arcs pour lesquels τ_{ij} n'est pas encore tombé sous une petite valeur ϵ. En effet, comme évoqué plus haut, si ce nombre était inférieur à un certain seuil.

Résultats sans fourmis élitistes

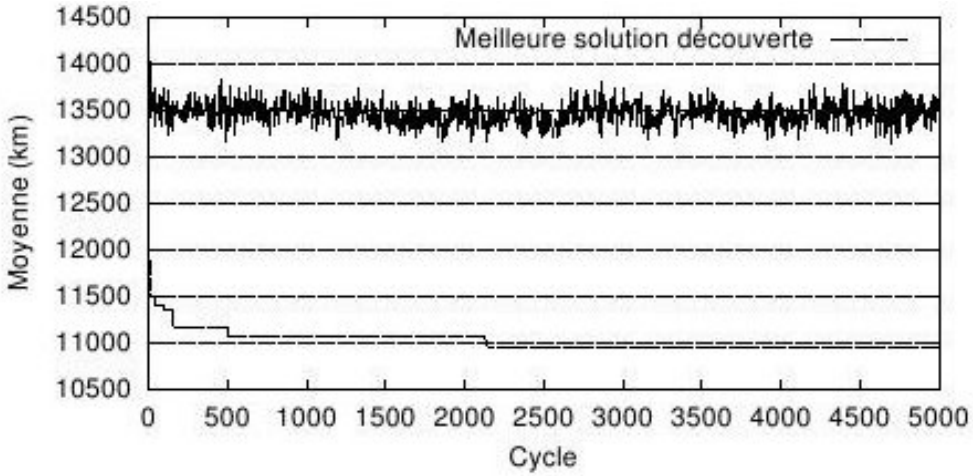


FIG.: Comparaison de la longueur moyenne des tours avec la longueur du meilleur tour.

La longueur moyenne des tours est très différente avec la longueur du meilleur tour. On se rend compte que le meilleur tour n'est pas suffisamment exploitée pour permettre à la longueur moyenne de converger vers l'optimum découvert.

Résultats sans fourmis élitistes

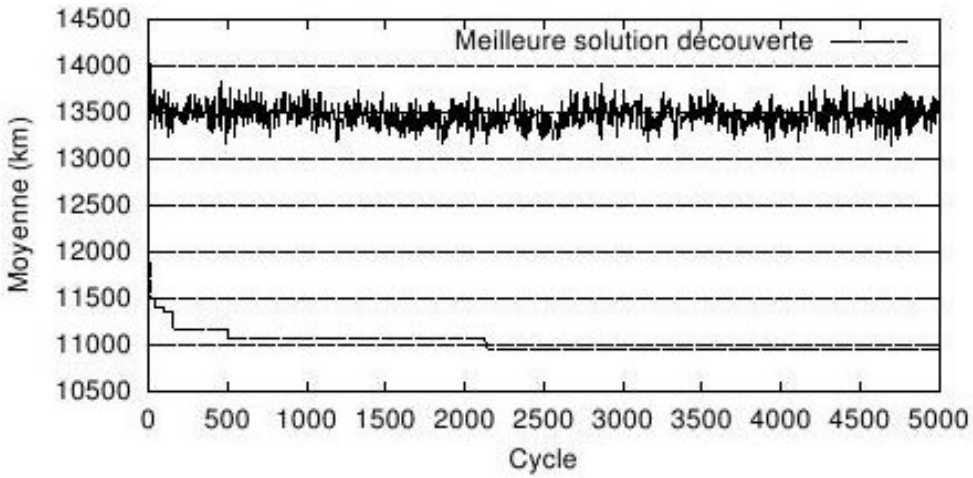


FIG.: Comparaison de la longueur moyenne des tours avec la longueur du meilleur tour.

Défaillance dans l'algorithme

Résultats avec fourmis élitistes

Les mêmes expériences sont lancées avec cette fois des fourmis élitistes.

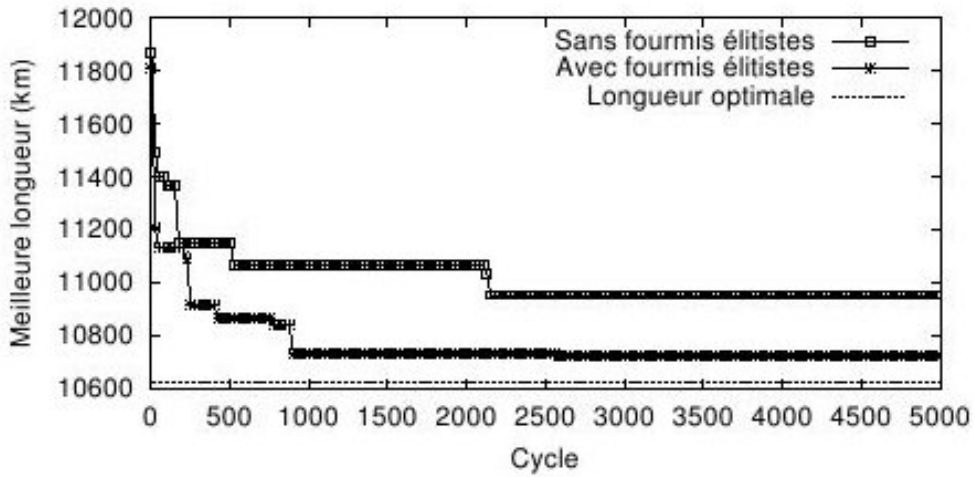


FIG.: Comparaison de la longueur du meilleur tour avec ou sans fourmis élististes.

Résultats avec fourmis élitistes

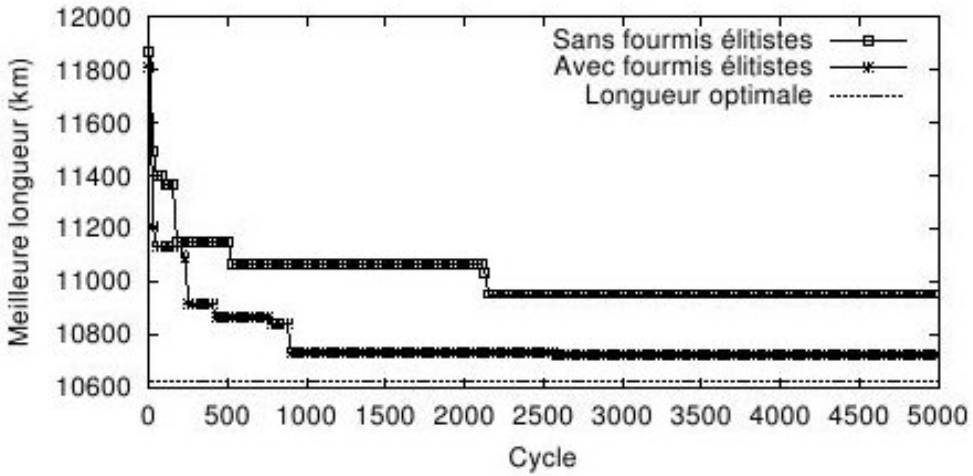


FIG.: Comparaison de la longueur du meilleur tour avec ou sans fourmis élististes.

On montre dans cette figure une comparaison de l'évolution de la longueur du meilleur tour au cours du temps entre des fourmis élististes ou pas.

Résultats avec fourmis élitistes

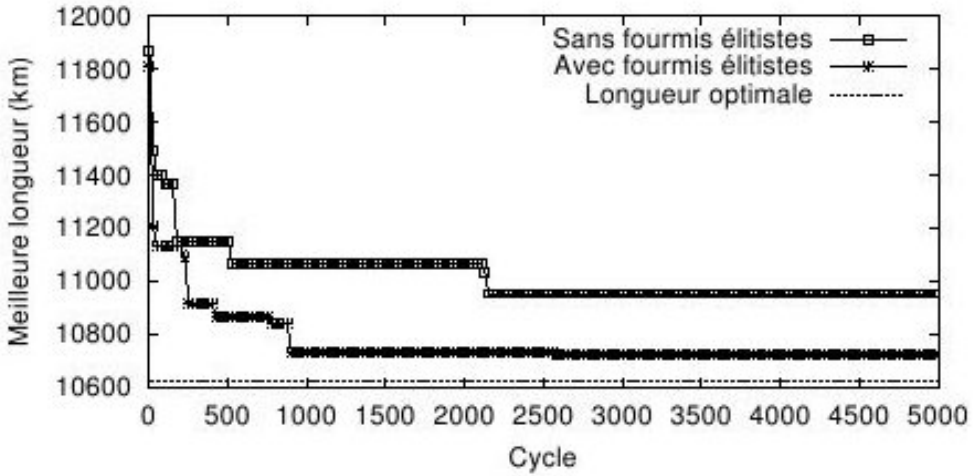


FIG.: Comparaison de la longueur du meilleur tour avec ou sans fourmis élististes.

AS converge plus vite vers une solution qui est plus proche de l'optimal lorsqu'il s'agit des fourmis élitistes.

Résultats avec fourmis élitistes

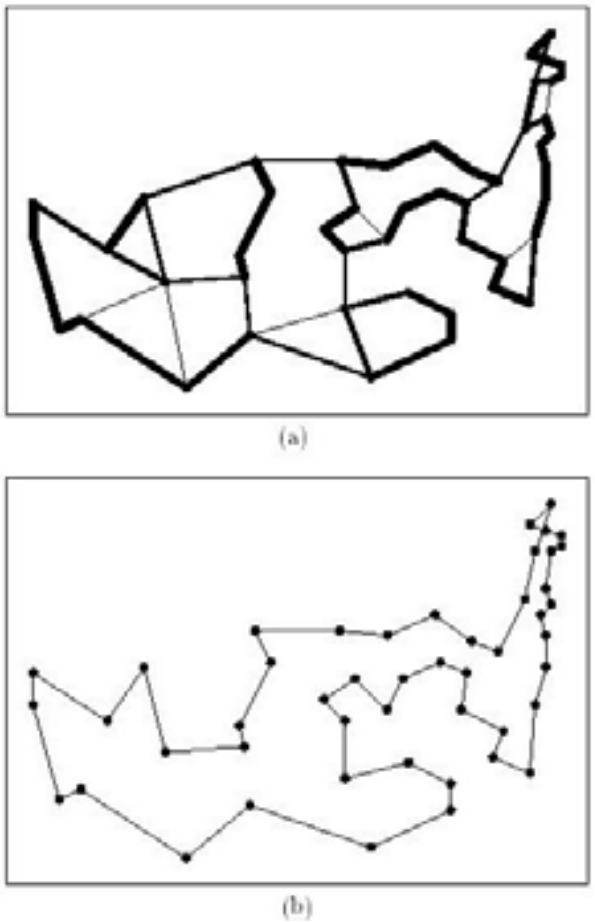


FIG.: La meilleure solution trouvée avec fourmis élitistes et les quantités

Résultats avec fourmis élitistes

Il faut remarquer que les sous-zones de cette figure, ainsi que ces contours, sont nettement plus marqués que ceux de l'expérience sans les fourmis élitistes. Donc de ce fait un meilleur fonctionnement.

Résultats avec fourmis élitistes

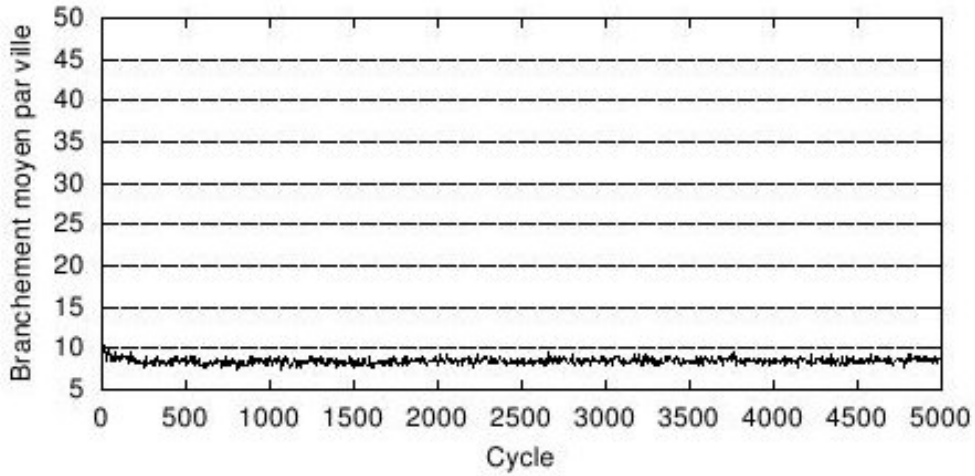


FIG.: Nombre moyen de branchements possibles par noeud avec fourmis élitistes.

On remarque que le nombre choix de transition est réduit par rapport à l'autre méthode. C'est ce qui s'explique par le fait que la méthode converge mieux en abandonnant les transitions qui sont trop éloignées

Résultats avec fourmis élitistes

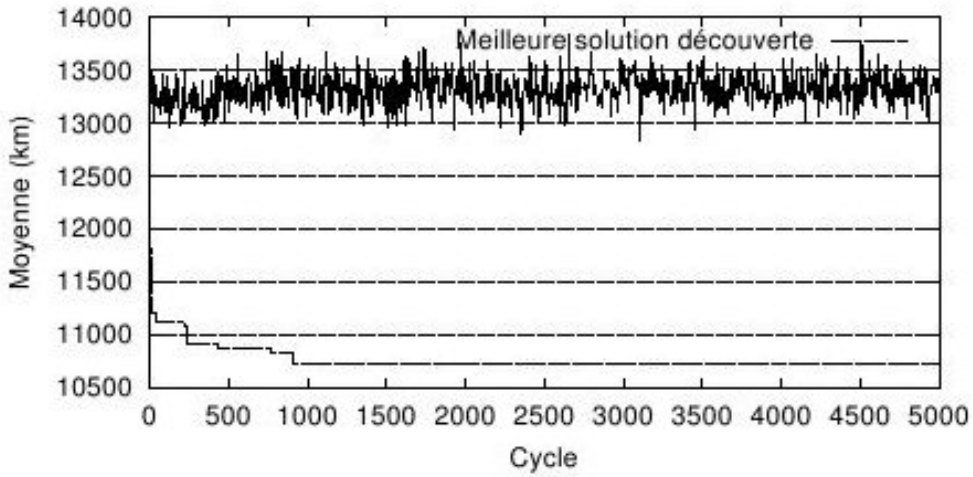


FIG.: Comparaison de la longueur moyenne des tours avec la longueur du meilleur tour dans le cas des fourmis élitistes.

La longueur moyenne des tours ne converge pas vers celle du meilleur circuit découvert. Toutefois par rapport à l'autre algorithme, la longueur moyenne des circuits est nettement

Simulations

Applets Java pour le "Att48"

Améliorations plus récentes de Ant System

Ant-Q

Ant-Q date de 1995 Presque même fonctionnement que AS .
Diffrénce : Les phéromones sont toujours mise à jour a la fin de chaque cycle mais en plus on les met a jour pas à pas aprés chaque déplacement de fourmi

$$\tau_{t+1} = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + (1-\rho)\gamma \cdot max_{l \in N_j^k(t)} \tau_{jl}$$

γ est une constante paramètrable (typiquement 0,5)

Améliorations plus récentes de Ant System

Ant-Q

Interet : La fourmi en se déplaçant met à jour le taux de phéromones en fonction des quantités de phéromones qu'elle va trouver apéres son déplacement.
De cette maniére elle signale autre fourmis si les déplacement est de qualité.

Améliorations plus récentes de Ant System
ACS

ACS date de 1996/97

On repproche à AS ne pas assez se focaliser sur les solutions trouvées

ACS fait donc rentrer un jeu deux variable :

- ψ_0 parametrable de valeur situé entre 0 et 1.
- ψ variable aléatoire distribué aléatoirement entre 0 et 1,on lui applique une nouvelle valeur a chaque fois qu'une fourmi doit se déplacer

Selon la valeur de ψ on fait le choix ainsi

- si $\psi \leq \psi_0$: on éffectue un choix uniquement sur les villes deja visités
- $\psi > \psi_0$: on effectue un choix de la meme maniérre que AS

Améliorations plus récentes de Ant System
ACS

ACS date de 1996/97

On repproche à AS ne pas assez se focaliser sur les solutions trouvées

ACS fait donc rentrer un jeu deux variable :

- ψ_0 parametrable de valeur situé entre 0 et 1.
- ψ variable aléatoire distribué aléatoirement entre 0 et 1,on lui applique une nouvelle valeur a chaque fois qu'une fourmi doit se déplacer

Selon la valeur de ψ on fait le choix ainsi

- si $\psi \leq \psi_0$: on éffectue un choix uniquement sur les villes deja visités
- $\psi > \psi_0$: on effectue un choix de la meme maniérre que AS

Améliorations plus récentes de Ant System

Max-Min Ant System :MMAS

MMAS date de 1997 Différences avec AS :

- Uniquement le parcours le plus court est mis-à-jour en phéromones
- Les valeurs des phéromones sur chaque arc sont bornées par τ_{min} et τ_{max}
- Les valeurs des phéromones sur chaque arc sont initialisées a la valeur maximum τ_{max}
- La quantité de phéromones que l'on fait évaporer est proportionelle à sa valeur au moment de la modification, plus les pistes sont fortes plus ses phéromones seront diminués

Améliorations plus récentes de Ant System

Max-Min Ant System : MMAS

Intérêt :

- On empêche ainsi la monopolisation de certains arcs qui ont été tellement imprégnés au début du processus de recherche qu'ils sont systématiquement parcourus par les fourmis.
- On permet grâce à cette façon de gérer l'évaporation de tirer vers le bas, les arcs chargés fortement en phéromones afin de vérifier si leur importance est pertinente. De ce fait si ce n'est pas le cas, les pistes plus faiblement chargés pourront leur prendre le pas.

Introduction

La flexibilité inérante aux algorithmes d'optimisation par colonie de fourmis a permis de les appliquer à des données dynamique.
Une de ces possibilité d'adaptation est la gestion des tables de routage.
Un réseau peut être vu comme un graphe dont les sommets representent les routeurs.
Pour exprimer la qualité du réseau, nous disposons de 2 grandeurs :

- la bande passante.
- le délai moyen.

Principe de l'algorithme

Les fourmis du net

Pour cet algorithme il existe 2 types de fourmis :

- les F-ants :
  ce sont les fourmis-tests, elles parcourent le réseau en enregistrant l'encombrement entre les routeurs et le chemin qu'elle a suivit. Sa fonction décisionelle est probabiliste et elle peut créer une fourmi B-ant.
- les B-ants :
  ce sont les fourmis qui propagent le resultat des 1eres : elles suivent le même parcours que leur créatrice mais en sens inverse afin de pouvoir mettre à jour les tables de routage en fonction de la charge du réseau.

Principe de l'algorithme

Les fourmis du net

Pour cet algorithme il existe 2 types de fourmis :

- les F-ants :
  ce sont les fourmis-tests, elles parcourent le réseau en enregistrant l'encombrement entre les routeurs et le chemin qu'elle a suivit. Sa fonction décisionelle est probabiliste et elle peut créer une fourmi B-ant.
- les B-ants :
  ce sont les fourmis qui propagent le resultat des 1eres : elles suivent le même parcours que leur créatrice mais en sens inverse afin de pouvoir mettre à jour les tables de routage en fonction de la charge du réseau.

Principe de l'algorithme

Mécanisme de antNet

L'algorithme antNet reprend les grandes lignes de AS, les seules differences vraiment notables sont :

- qu'il n'y a aucune contrainte sur les villes.
- qu'il y a une piste de phéromone différente pour chaque noeud de destination

Optimisation des tables de routage

Principe de antNet

l'algorithme peut se decomposer de la façon suivante :

1. chaque noeud lance une fourmi F-ant vers une destination aléatoire.
2. chaque fourmi suit sa propre route grâce à une fonction stochastique prenant en paramètre le taux de pheromone de la piste et une valeur proportionelle a la liste d'attente sur ce segment.
3. chaque fourmi mémorise son parcours et le temps associé, tout en deposant des phéromones.
4. une fois arrivé à destination, la F-ant créée une B-ant.
5. les F-ants sont effacées et on mets à jour les pistes de phéromone.
6. chaque B-ant met à jour les tables de routage des noeud qu'elle croise.

Optimisation des tables de routage

Principe de antNet

l'algorithme peut se decomposer de la façon suivante :

1. chaque noeud lance une fourmi F-ant vers une destination aléatoire.
2. chaque fourmi suit sa propre route grâce à une fonction stochastique prenant en paramètre le taux de pheromone de la piste et une valeur proportionelle a la liste d'attente sur ce segment.
3. chaque fourmi mémorise son parcours et le temps associé, tout en deposant des phéromones.
4. une fois arrivé à destination, la F-ant créée une B-ant.
5. les F-ants sont effacées et on mets à jour les pistes de phéromone.
6. chaque B-ant met à jour les tables de routage des noeud qu'elle croise.

Optimisation des tables de routage

Principe de antNet

l'algorithme peut se decomposer de la façon suivante :

1. chaque noeud lance une fourmi F-ant vers une destination aléatoire.
2. chaque fourmi suit sa propre route grâce à une fonction stochastique prenant en paramètre le taux de pheromone de la piste et une valeur proportionelle a la liste d'attente sur ce segment.
3. chaque fourmi mémorise son parcours et le temps associé, tout en deposant des phéromones.
4. une fois arrivé à destination, la F-ant créée une B-ant.
5. les F-ants sont effacées et on mets à jour les pistes de phéromone.
6. chaque B-ant met à jour les tables de routage des noeud qu'elle croise.

Optimisation des tables de routage

Principe de antNet

l'algorithme peut se decomposer de la façon suivante :

1. chaque noeud lance une fourmi F-ant vers une destination aléatoire.
2. chaque fourmi suit sa propre route grâce à une fonction stochastique prenant en paramètre le taux de pheromone de la piste et une valeur proportionelle a la liste d'attente sur ce segment.
3. chaque fourmi mémorise son parcours et le temps associé, tout en deposant des phéromones.
4. une fois arrivé à destination, la F-ant créée une B-ant.
5. les F-ants sont effacées et on mets à jour les pistes de phéromone.
6. chaque B-ant met à jour les tables de routage des noeud qu'elle croise.

Optimisation des tables de routage

Principe de antNet

l'algorithme peut se decomposer de la façon suivante :

1. chaque noeud lance une fourmi F-ant vers une destination aléatoire.
2. chaque fourmi suit sa propre route grâce à une fonction stochastique prenant en paramètre le taux de pheromone de la piste et une valeur proportionelle a la liste d'attente sur ce segment.
3. chaque fourmi mémorise son parcours et le temps associé, tout en deposant des phéromones.
4. une fois arrivé à destination, la F-ant créée une B-ant.
5. les F-ants sont effacées et on mets à jour les pistes de phéromone.
6. chaque B-ant met à jour les tables de routage des noeud qu'elle croise

Optimisation des tables de routage

Principe de antNet

l'algorithme peut se decomposer de la façon suivante :

1. chaque noeud lance une fourmi F-ant vers une destination aléatoire.
2. chaque fourmi suit sa propre route grâce à une fonction stochastique prenant en paramètre le taux de pheromone de la piste et une valeur proportionelle a la liste d'attente sur ce segment.
3. chaque fourmi mémorise son parcours et le temps associé, tout en deposant des phéromones.
4. une fois arrivé à destination, la F-ant créée une B-ant.
5. les F-ants sont effacées et on mets à jour les pistes de phéromone.
6. chaque B-ant met à jour les tables de routage des noeud qu'elle croise

Comparaison aux les algorithmes classiques

Expériences

Plusieurs expériences ont été réalisé pour mettre en concurence antNet avec les algorithmes déjà connu de routage. Il ont surtout été fait sur simulateur de façon a pouvoir faire varier la topologie et les modelisations du trafic.

Exemple d'une experience faite en simulation :

le trafic est simulé de façon aléatoire en condition de forte charge et on accroit soudainement la densité du trafic jusqu'à la saturation.

On utilise la courbe d'un routage idéal pour avoir une borne d'optimisation.

Comparaison aux les algorithmes classiques

Expériences

Plusieurs expériences ont été réalisé pour mettre en concurence antNet avec les algorithmes déjà connu de routage. Il ont surtout été fait sur simulateur de façon a pouvoir faire varier la topologie et les modelisations du trafic.

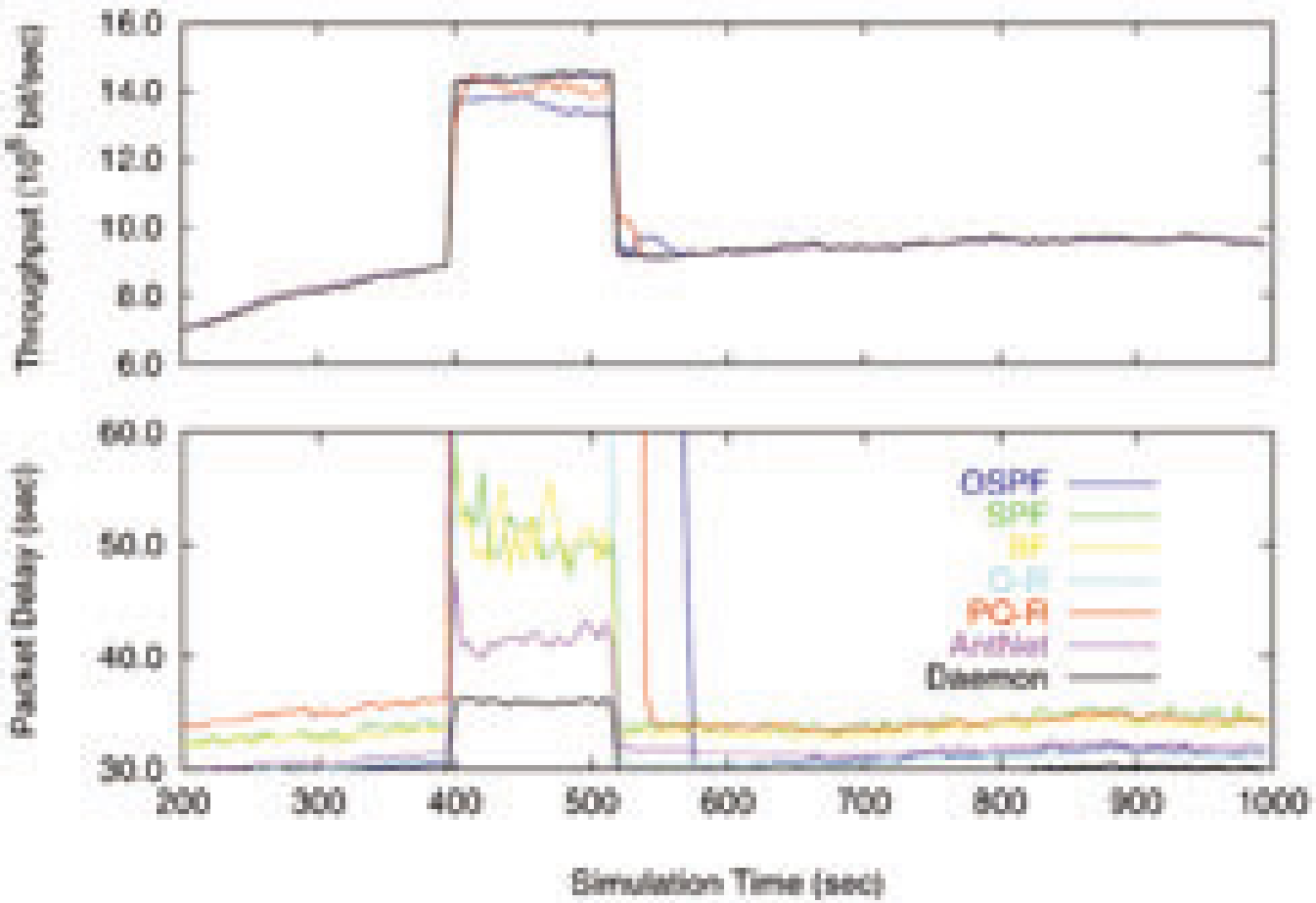
Exemple d'une experience faite en simulation :

le trafic est simulé de façon aléatoire en condition de forte charge et on accroit soudainement la densité du trafic jusqu'à la saturation.

On utilise la courbe d'un routage idéal pour avoir une borne d'optimisation.

Comparaison aux les algorithmes classiques

Resultats



Comparaison aux les algorithmes classiques

Conclusion

Sur 23 problèmes differents l'antNet s'est montré 14 fois plus performant que les autres, 6 fois aussi bon et seulement 3 fois en dessous.
Il a également été testé en pratique sur un opérateur téléphonique japonnais et le réseau de la Fondation Nationale Américaine des Sciences.
Le même traitement peut être appliqué à des axes routier pour des sociétés de logistique.
L'Optimisation par colonie de fourmis se montre à la hauteur de ses espérences dans le domaine de la gestion dynamique.