

Ant Colony Optimisation

Plan

- **Fourragement fourmis**
- Algorithmes fourmis
- Ant Colony Optimisation appliqué au TSP
- Généralisation ACO
- Analyse de l'algorithme

Fourragement chez les fourmis

- Mécanisme de recherche de nourriture chez fourmis

Fourragement ches les fourmis



Fourragement ches les fourmis



Fourragement chez les fourmis

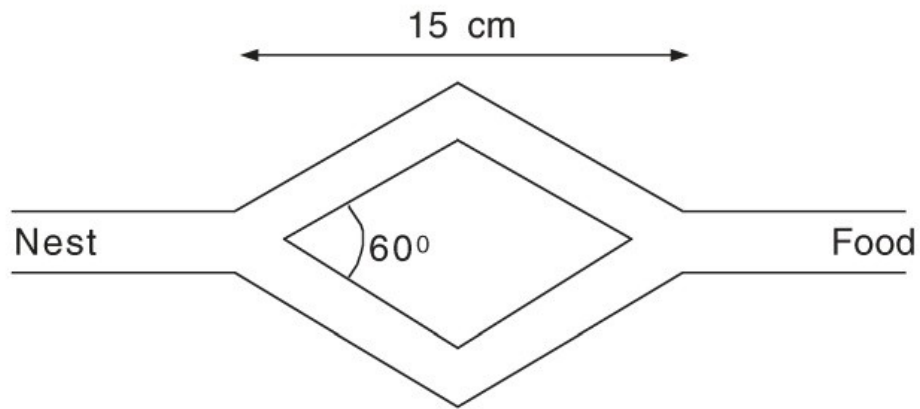
- Mécanisme de recherche de nourriture chez fourmis
- Quand on observe des fourmis
 - Lignes de fourmis
 - Suivent un chemin
- Comment ce chemin est il construit ?
 - Question philosophe
 - Touche à la notion d'urgence / holisme
 - Organe / corps

Fourragement chez les fourmis

- Mécanisme de recherche de nourriture chez fourmis
- Quand on observe des fourmis
 - Lignes de fourmis
 - Suivent un chemin
- Comment ce chemin est il construit ?
- Experiences éthologie

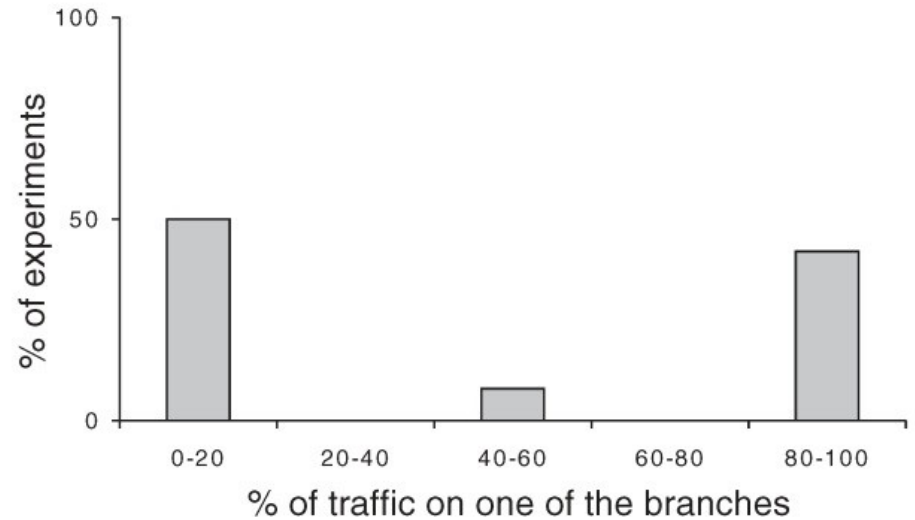
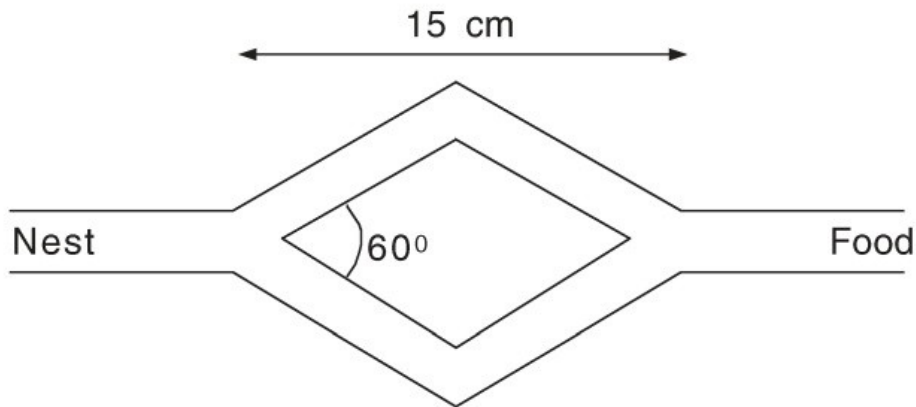
Double bridge experiment

- Deneubourg (1990)



Résultats observés (Deneubourg)

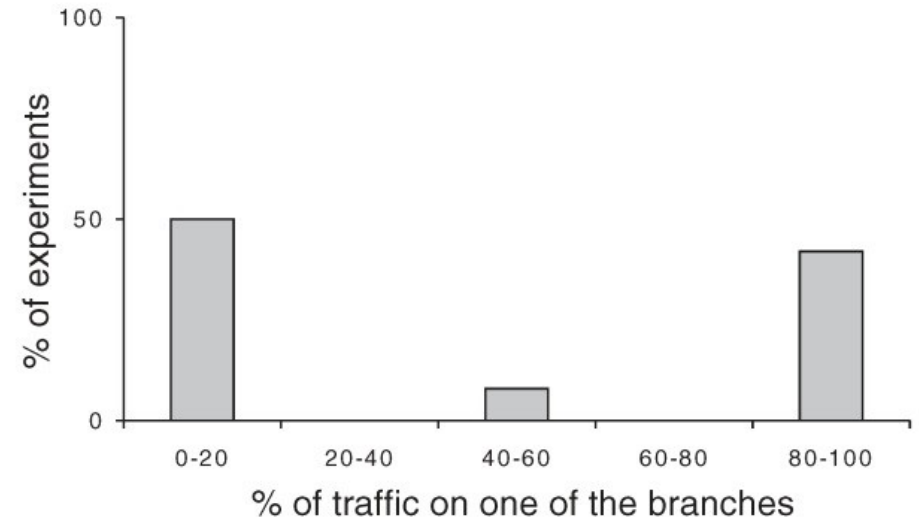
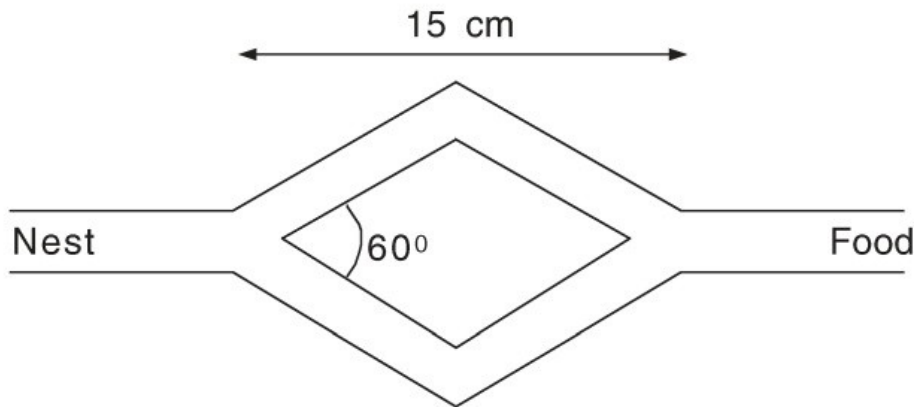
- Une colonie de fourmis
 - Chemins de taille identique



- Interpretation ?

Résultats observés (Deneubourg)

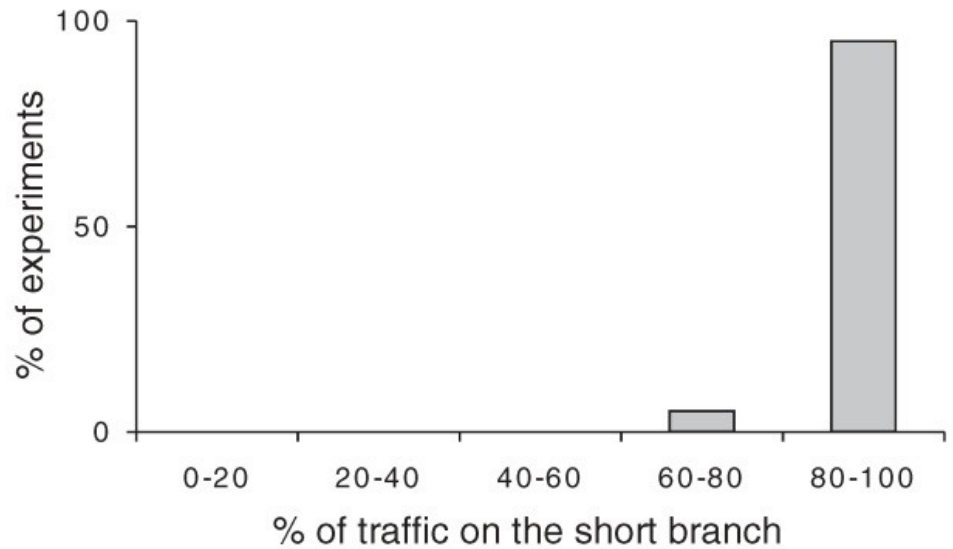
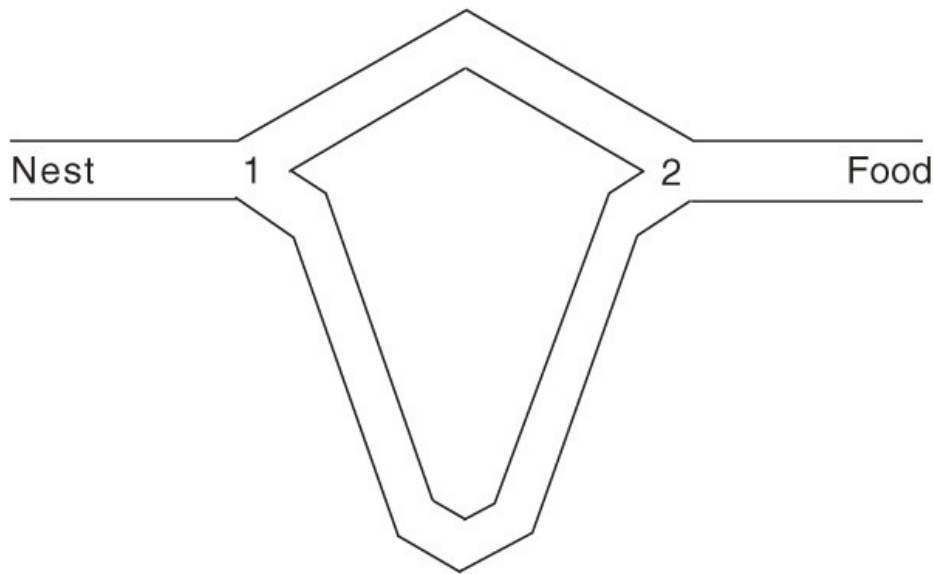
- Une colonie de fourmis
 - Chemins de taille identique



- Interpretation ?
 - Brisure de symétrie
 - Toutes les fourmis empruntent le meme chemin

Résultats observés (Deneubourg)

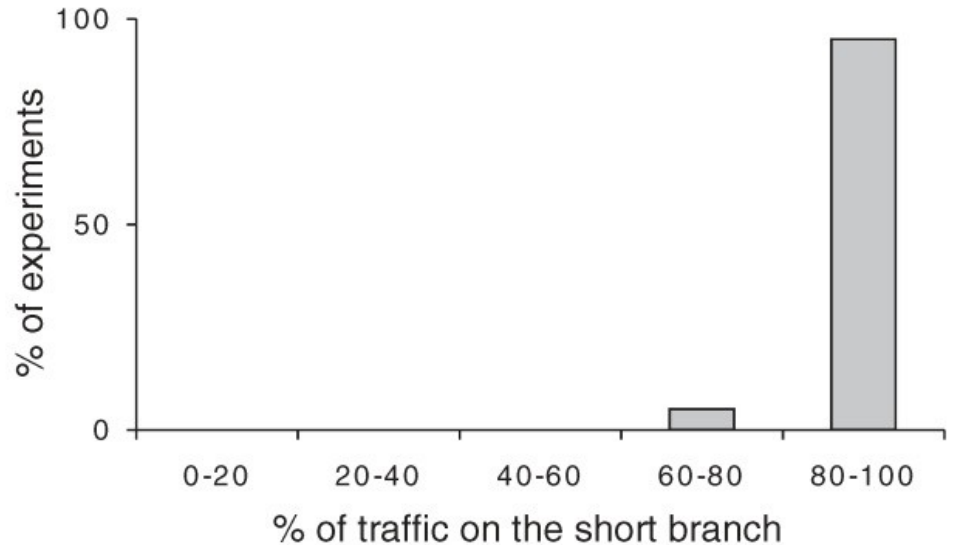
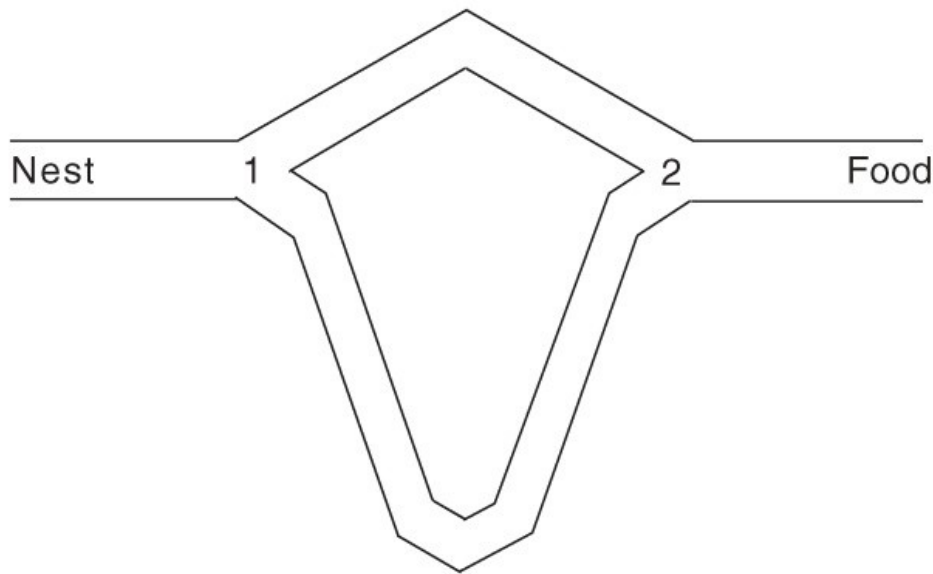
- Une colonie de fourmis
 - Chemins de tailles différentes



- Interpretation ?

Résultats observés (Deneubourg)

- Une colonie de fourmis
 - Chemins de tailles différentes



- Interpretation ?
 - La colonie suit le chemin le plus court

Avec une fourmi

- Quand on dispose une seule fourmi
 - Elle suit de manière indifférenciée un chemin
- Que les chemins ont la meme taille ou non
- Ou se trouve l'intelligence ?
 - Quell est la source de l'intelligence ?

Avec une fourmi

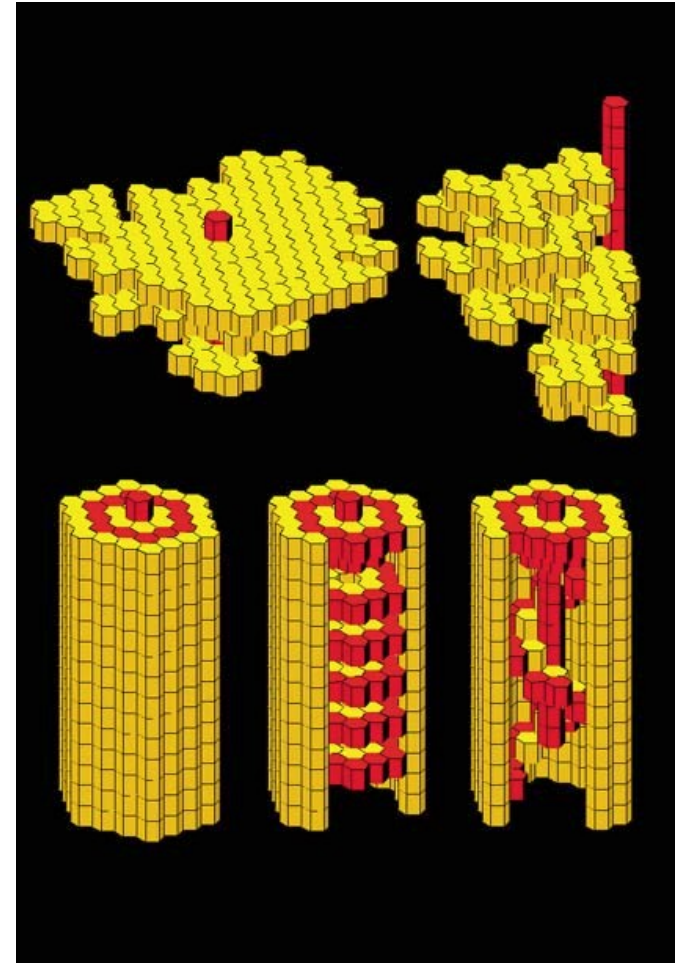
- Quand on dispose une seule fourmi
 - Elle suit de manière indifférenciée un chemin
- Que les chemins ont la même taille ou non
- Ou se trouve l'intelligence ?
 - Quelle est la source de l'intelligence ?

Une réponse

Plutôt que faire un système complexe
Faire des individus simples en interaction

Stigmergie

- Principe fondamental de coordination
- Origine Grasse[59] et termites
 - Adaptent leur comportement
 - Localement



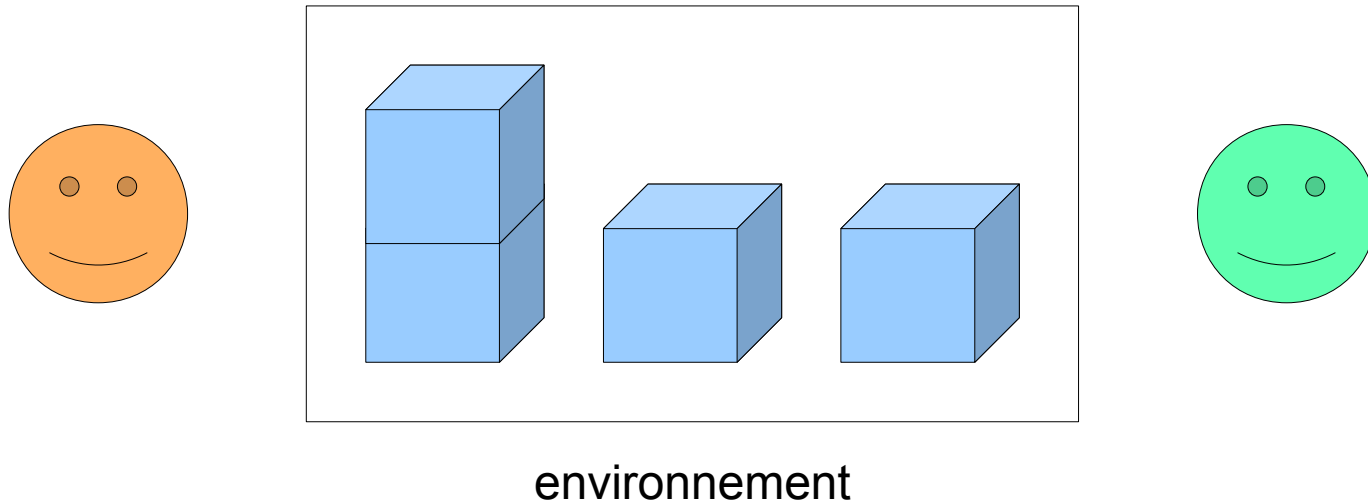
Theraulaz, construction de nids

Stigmergie

- Principe fondamental de coordination
- Origine Grasse[59] et termites
 - Adaptent leur comportement
 - Localement
- Principe
 - Environnement stocke mémoire du groupe
 - Communication indirecte
- "le travail guide l'ouvrier" ==> **solution complexité collective**

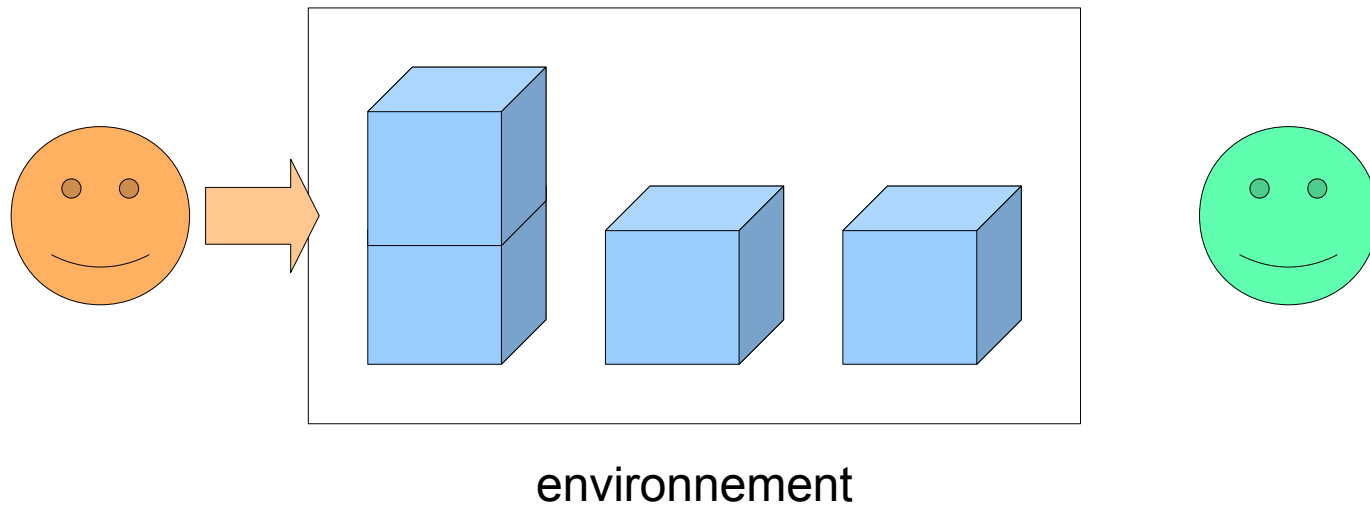
Stigmergie

- Communication indirecte



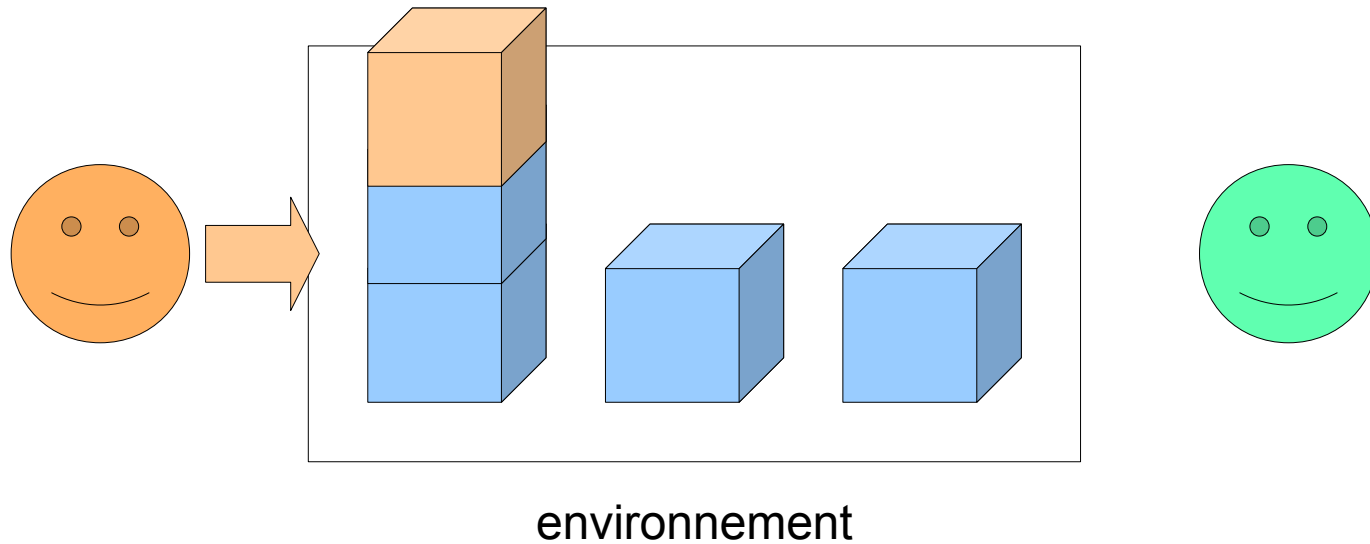
Stigmergie

- Communication indirecte



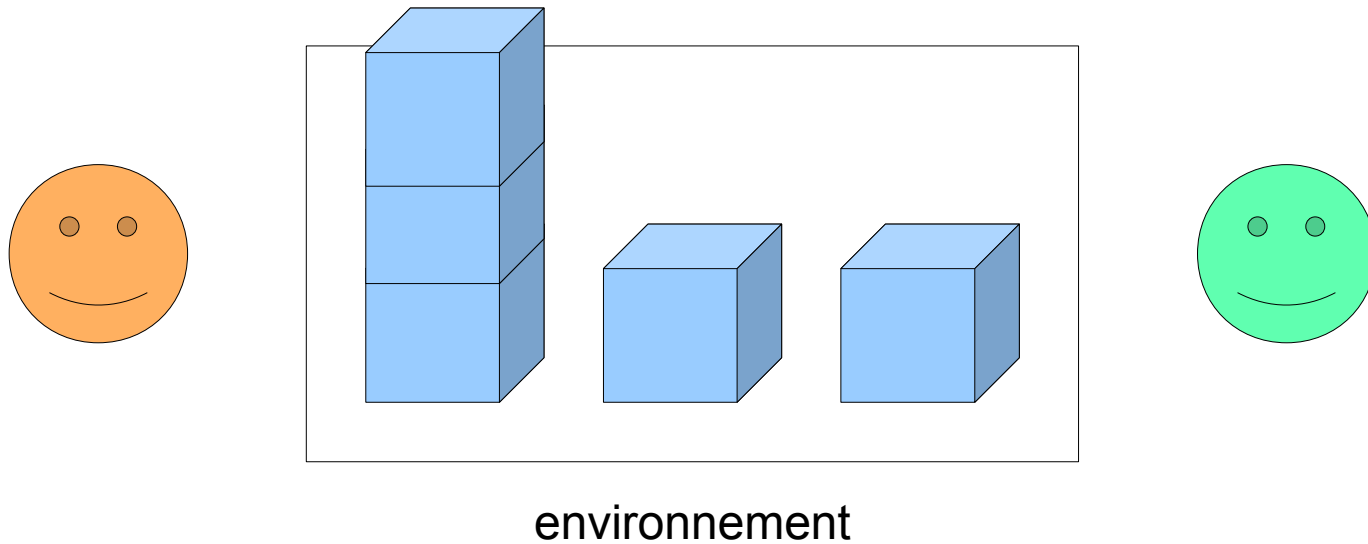
Stigmergie

- Communication indirecte



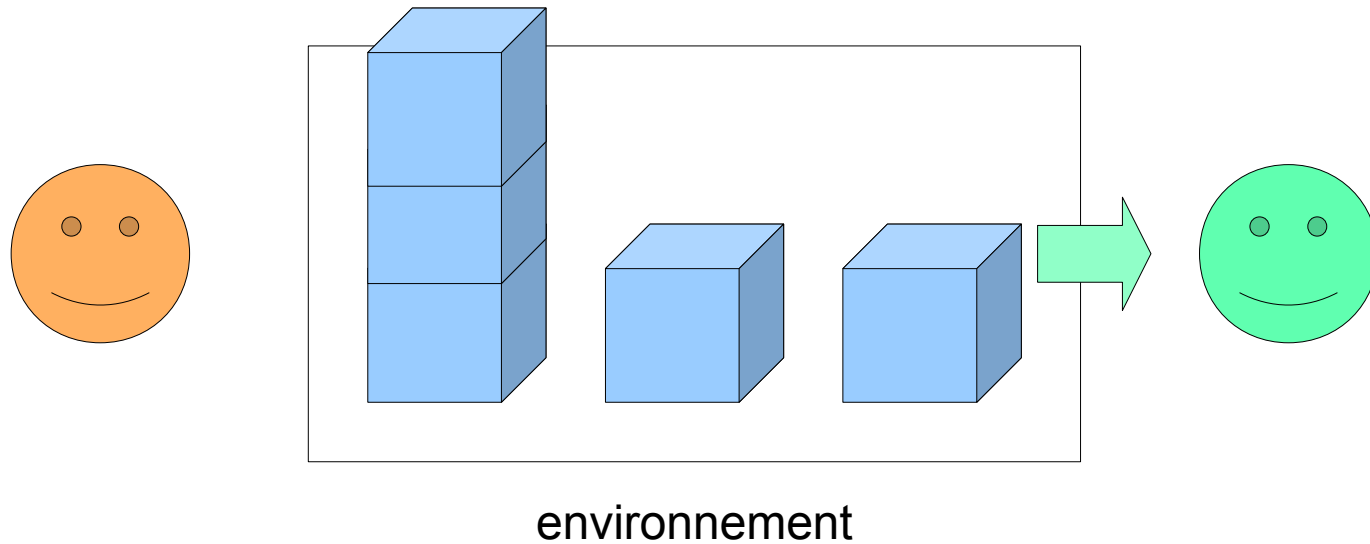
Stigmergie

- Communication indirecte



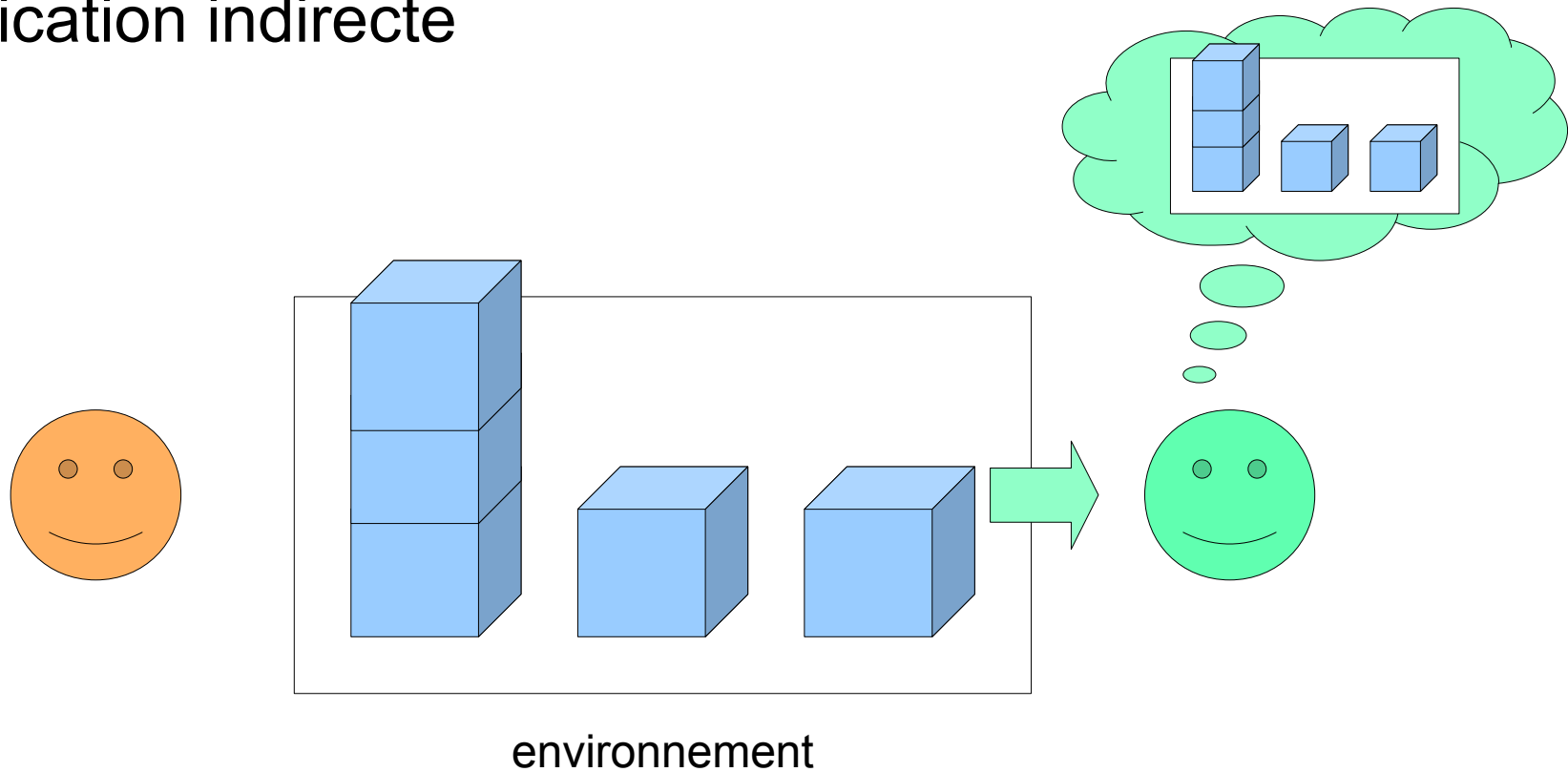
Stigmergie

- Communication indirecte



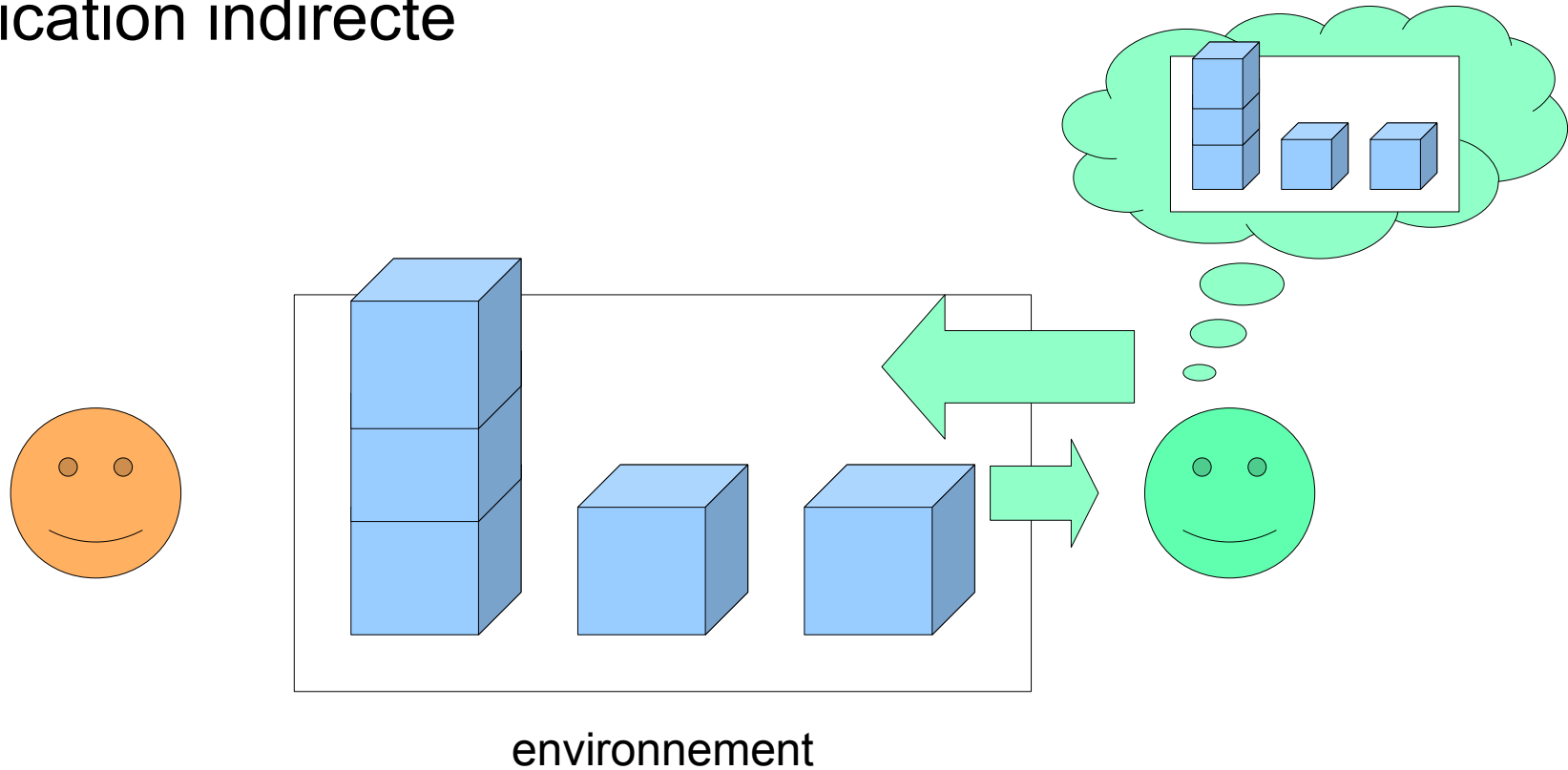
Stigmergie

- Communication indirecte



Stigmergie

- Communication indirecte



Fourragement fourmis

- Principe
 - Fourmis déposent des phéromones
 - Quand elles ramènent la nourriture
 - + mécanisme évaporation
 - Les phéromones se dissipent
- Boucle **amplificatrice**
 - Certains chemins deviennent marqués
 - Évaporation
 - Les chemins les plus courts deviennent les plus marqués
 - Ils attirent le plus de fourmis
 - Ces chemins deviennent plus marqués

Fourragement fourmis

- Principe
 - Fourmis déposent des phéromones
 - Quand elles ramènent la nourriture
 - + mécanisme évaporation
 - Les phéromones se dissipent

- Boucle **amplificatrice**

- C
- E
- I
- C

Brisure de symétrie

Amplification de petites différences

Plan

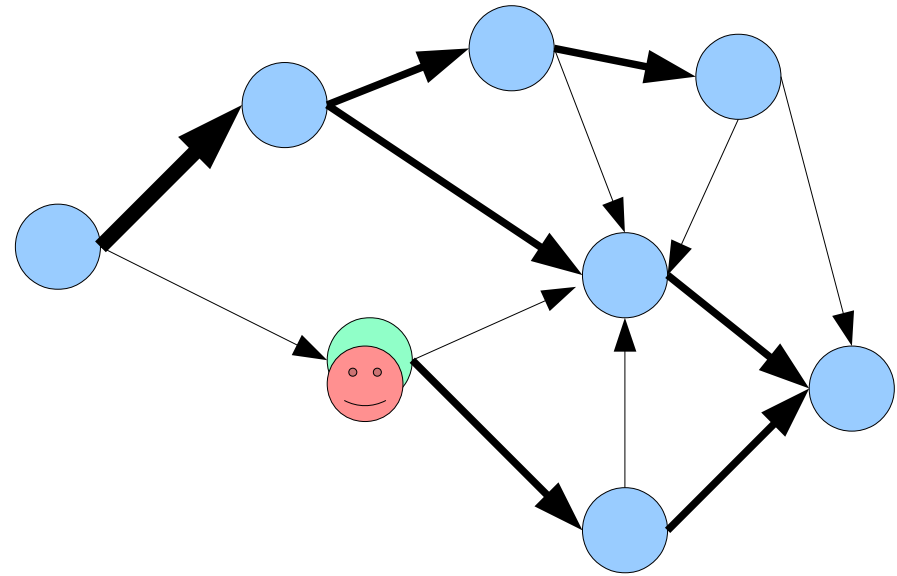
- Fourragement fourmis
- **Algorithmes fourmis**
- Ant Colony Optimisation appliqué au TSP
- Généralisation ACO
- Analyse de l'algorithme

Algorithme fourmi

- Ant colony Optimisation Dorigo 1995
- Principe
 - Déplacer des fourmis virtuelles
 - Créer des chemins
- Algorithme global
 - Faire évoluer fourmis
 - Décisions en fonction des phéromones vues
 - Retour des fourmis
 - Depot de phéromones

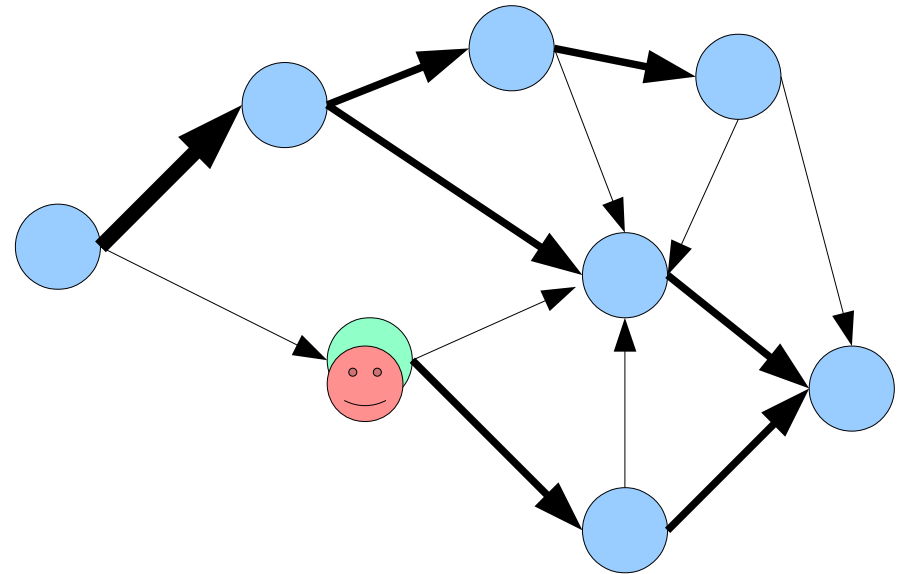
Algorithme fourni - décision

- Prise de décision
 - A partir des phéromones
- Les chemins
 - plus ou moins marqués τ_{ij}



Algorithme fourmi - décision

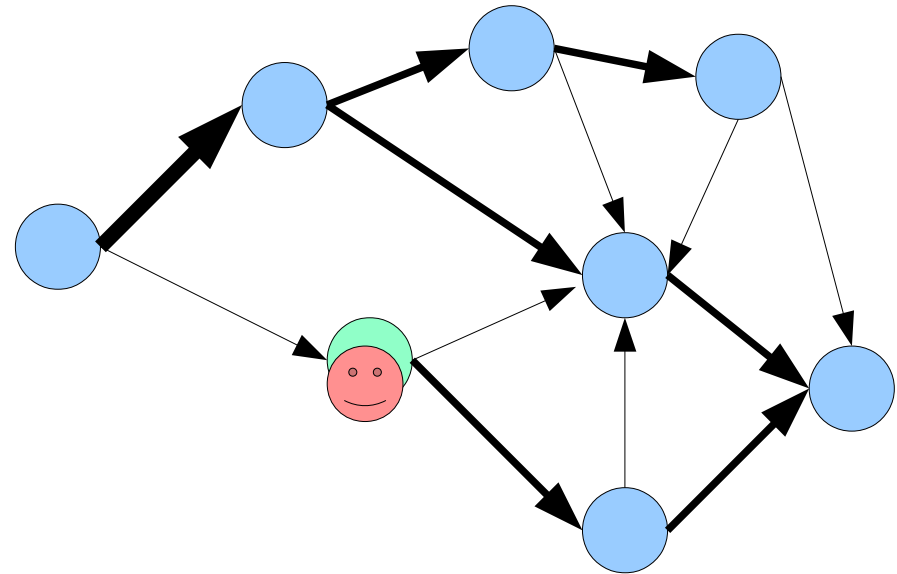
- Prise de décision
 - A partir des phéromones
- Les chemins
 - plus ou moins marqués τ_{ij}
- Décision stochastique de la fourmi
 - Suivre globalement plus marqué



$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \cdot \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_l \tau_{il}^{\alpha} \cdot \eta_{il}^{\beta}}$$

Algorithme fourmi - décision

- Prise de décision
 - A partir des phéromones
- Les chemins
 - plus ou moins marqués τ_{ij}
- Décision stochastique de la fourmi
 - Suivre globalement plus marqué



$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \cdot \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_l \tau_{il}^{\alpha} \cdot \eta_{il}^{\beta}}$$

+ éventuellement
Liste taboue

Pour éviter revenir

Algorithme fourmi - décision

- P_{ij} Probabilité de suivre chemin ij
- τ_{ij} Quantité de pheromone en ij
- η_{ij} Heuristique à ajouter
 - Interet a priori de suivre chemin
- Beta et alpha Rapport heuristique / passé
 - Exploration vs exploitation
 - Alpha == 0 --> dépend que des heuristiques
 - Beta == 0 --> dépend que des pheromones

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \cdot \eta_{ij}^{\beta}}{\sum_l \tau_{il}^{\alpha} \cdot \eta_{il}^{\beta}}$$

Algorithme fourmi – MaJ Phéromones

- Mise à jour phéromones

- A partir de la fonction objectif
- Évaporation

$$\tau_{ij} = (1 - \rho) \tau_{ij} + g(s)$$

- A partir de l'objectif

- Une fois le chemin terminé
- Ajout aux chemins parcouru d'une quantité $g(s)$
- Mises à jour prend différentes formes

- Evaporation

- Rho désigne taux évaporation

Algorithme fourmi général

Initialisation des pistes de phéromone ;

Tant que critère d'arrêt non atteint :

 Déplacer les fourmis

 mise à jour des pistes de phéromone ;

Fin de la boucle.

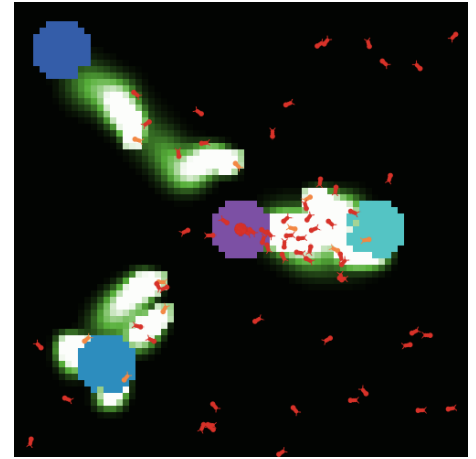
Dilemne exploration/exploitation

- Principe
 - Fourmis explorent continuellement
 - Decouverte de nouveaux chemins
 - Elles exploitent avec phéromones
 - Raffinement des chemins

- Comment ?
 - Collectivité permet exploration constante
 - Tout en exploitant
 - Système dynamique capable de s'adapter

Simulations algorithmes fourmis

- Regarder
 - Plateforme madkit
 - <http://www.madkit.org/>
 - Plateforme netlogo
 - <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
 - <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/Ants>
- Demonstration
 - <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/run.cgi?Ants.790.569>



Plan

- Fourragement fourmis
- Algorithmes fourmis
- **Ant Colony Optimisation appliqué au TSP**
- Généralisation ACO
- Analyse de l'algorithme

Algorithme fourmi et résolution de probleme

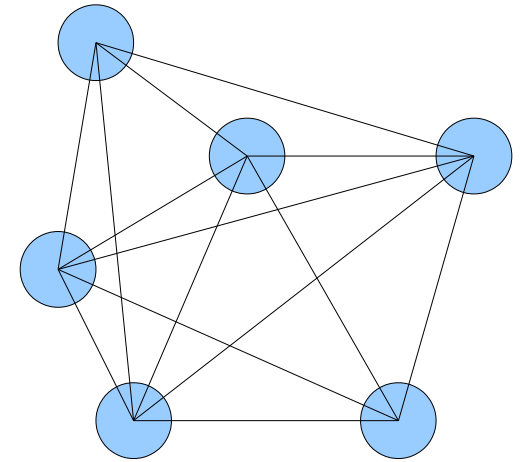
- Algorithme précédent
 - Recherche plus court chemin
 - Reproduit experiences biologiques
- Comment en faire un principe de résolution ?
 - Exemple TSP

Ant Colony Optimization

- ACO
 - Ant Colony Optimisation (dorigo 1995)
- ACO webpage
 - <http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/>
- Quasiment devenu un champ disciplinaire
 - Conférence sur les algorithmes Fourmis,
 -

ACO et voyageur de commerce

- Principe global
 - Faire évoluer des fourmis sur le graphe
 - prise de décision
 - Liste taboue villes visitées
 - Quand une fourmi finit cycle
 - Renforcer chemins parcourus
 - Avec $g(s)=1 / \text{distance}$
- Résultats
 - Parmi les meilleurs observés 1995



ACO et voyageur de commerce

- Question
 - Quel est l'espace de recherche ?
 - Quel est l'espace de déplacement des fourmis ?
 - Comment généraliser le principe ?

ACO et voyageur de commerce

- Question
 - Quel est l'espace de recherche ?
 - On cherche une permutation
 - Quel est l'espace de déplacement des fourmis ?
- Comment généraliser le principe ?

ACO et voyageur de commerce

- Question
 - Quel est l'espace de recherche ?
 - On cherche une permutation
 - Quel est l'espace de déplacement des fourmis ?
 - Pas dans l'espace des permutations
 - Dans l'espace du graphe
- Comment généraliser le principe ?

ACO et voyageur de commerce

- Question
 - Quel est l'espace de recherche ?
 - On cherche une permutation
 - Quel est l'espace de déplacement des fourmis ?
 - Pas dans l'espace des permutations
 - Dans l'espace du graphe
 - Comment généraliser le principe ?
 - Transforme un problème statique en dynamique
 - Construire un comportement qui génère une solution

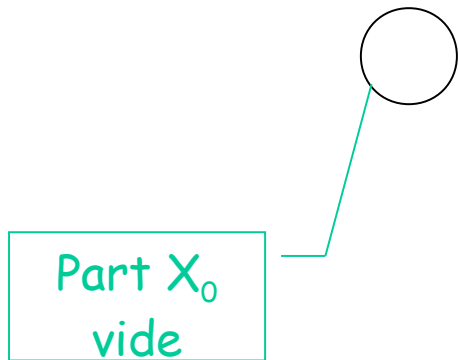
ACO – principe général

- fourmis construisent une solution de manière incrémentale
 - A chaque instant, décision
 - choisissent variable définissant pb
 - Ex: ville suivante
 - Une fois une solution construite
 - Évaluent et mise à jour
 - Ex : longueur du cycle

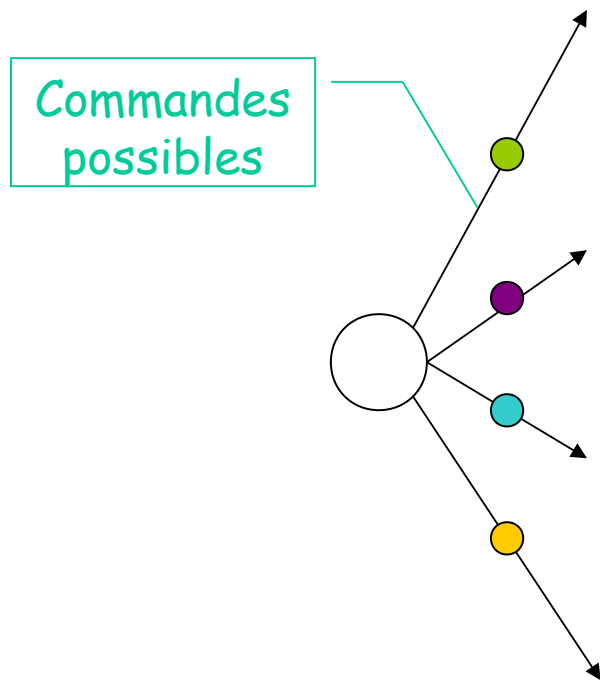
ACO – construction dynamique

- Solution incrémentale
 - Part de X_0
 - Itération : $X_i(u_0, \dots, u_{j-1}) \rightarrow X_{i+1}(u_0, \dots, u_{j-1}, u_j)$
 - X_i solution partielle de longueur i satisfiable
- Plusieurs choix possibles à chaque étape
 - Pour chaque x_i on définit $U(x_i)$ les actions possibles
 - Vu comme un problème de décisions multiples
- Identique à problème de contrôle
 - Trouver la commande à faire à chaque étape pour obtenir la solution optimale

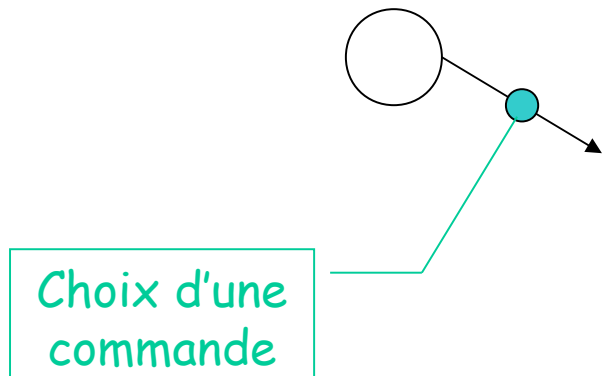
ACO – construction dynamique



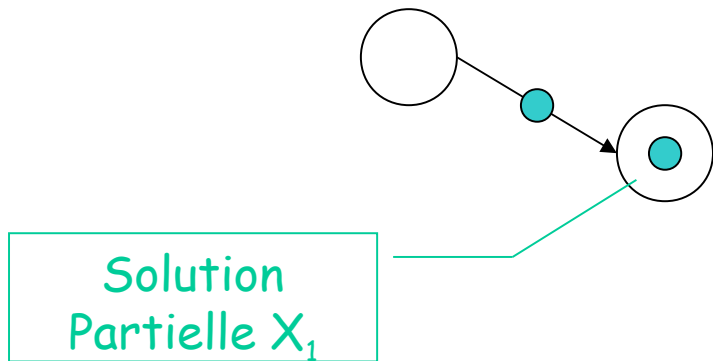
ACO – construction dynamique



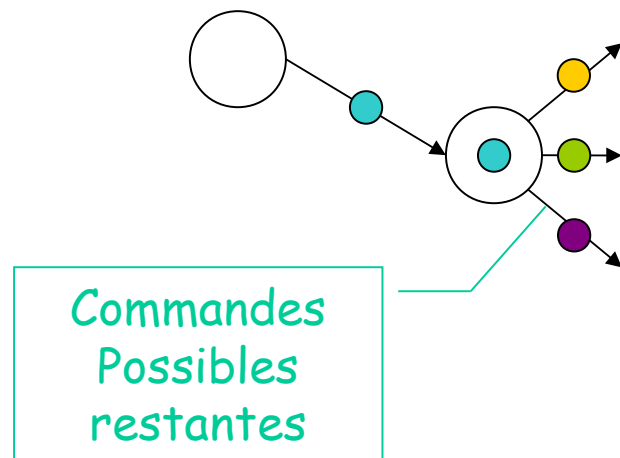
ACO – construction dynamique



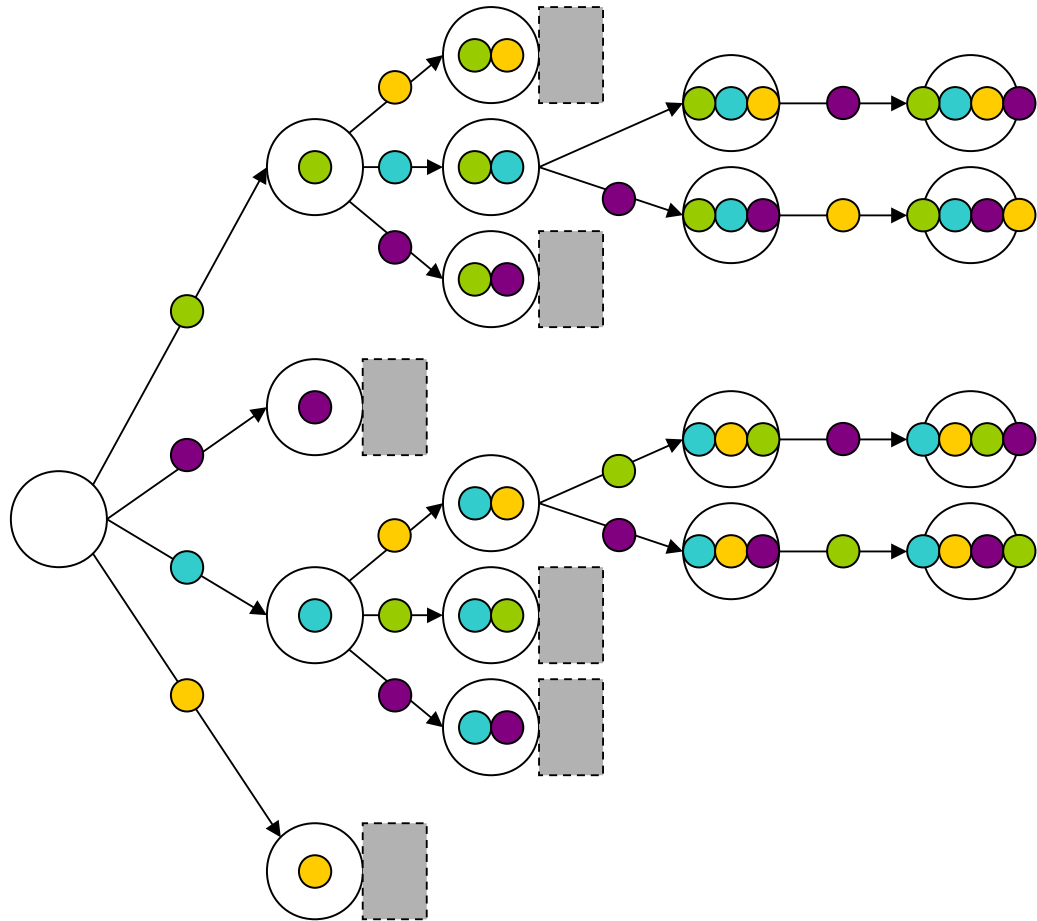
ACO – construction dynamique



ACO – construction dynamique

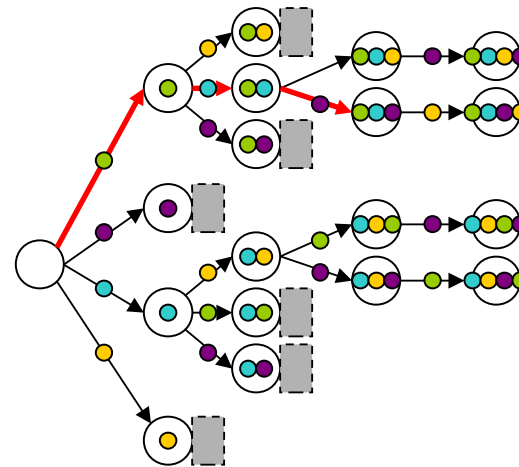
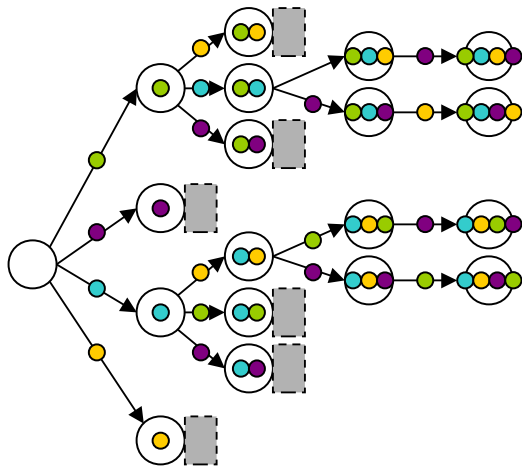


ACO – construction dynamique

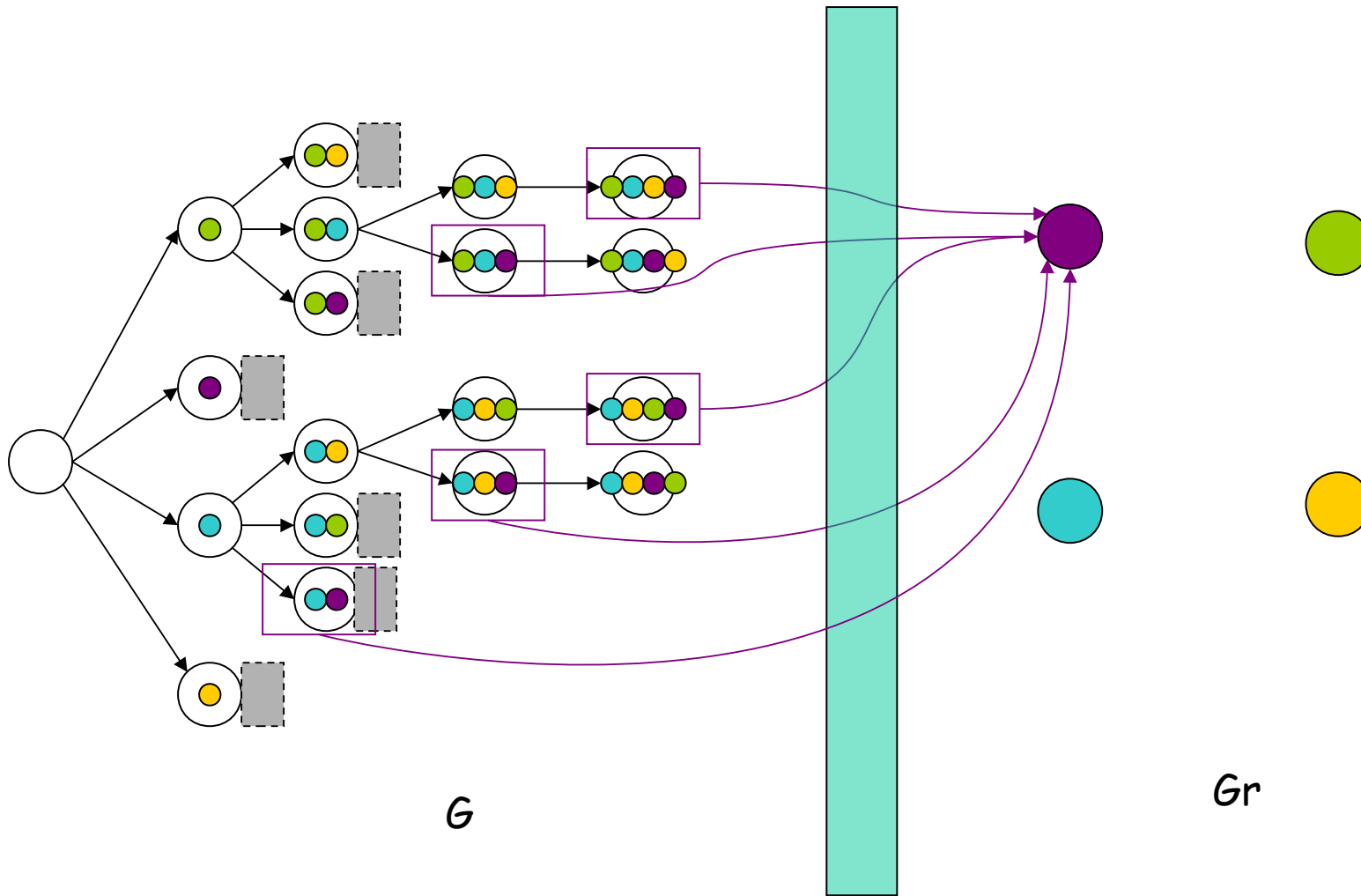


ACO – controle dynamique

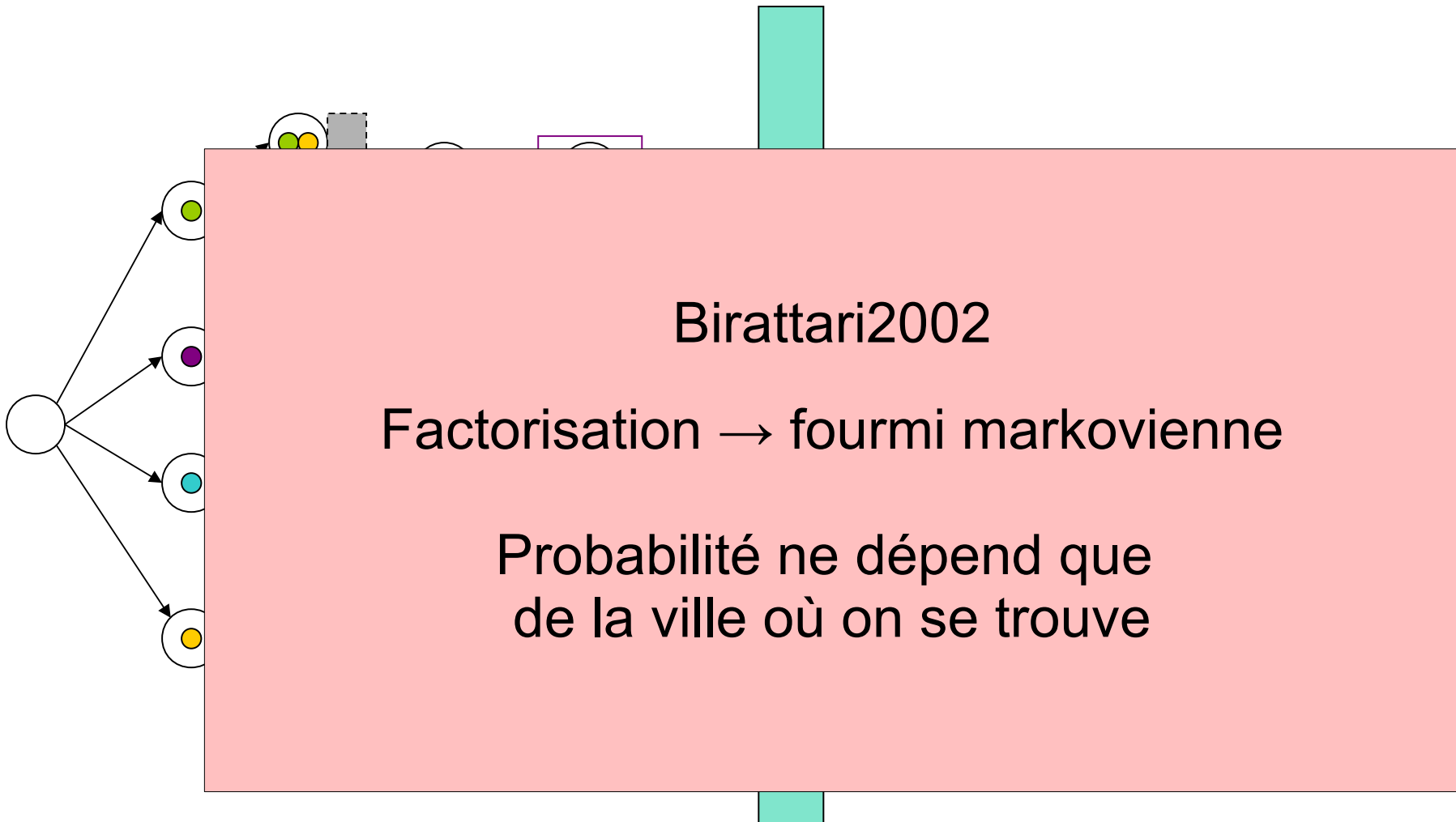
- En theorie un controleur dans chaque état
 - État == historique des villes parcourues
- Explosion combinatoire
 - Cela revient à tout tester



ACO – controle dynamique, factorisation



ACO – controle dynamique, factorisation



Plan

- Fourragement fourmis
- Algorithmes fourmis
- Ant Colony Optimisation appliqué au TSP
- **Analyse de l'algorithme**

Pourquoi ça marche ?

- Algorithmes fournis
- Deux types de preuve
 - graph based ant system and convergence (Gutjahr 2002)
 - Ant colony optimization and stochastic gradient descent (Meuleau, Dorigo 2002)

Gutjahr 2002 – Graph ant system

- En deux mots
 - Mémorisation du meilleur chemin global visité
 - Mise à jour uniquement sur le meilleur chemin

- Preuve
 - Probabilité de prendre ce chemin augmente avec le temps
 - Ce chemin sera donc pris à un instant
 - Et le système se stabilise

Meuleau, Dorigo 2002

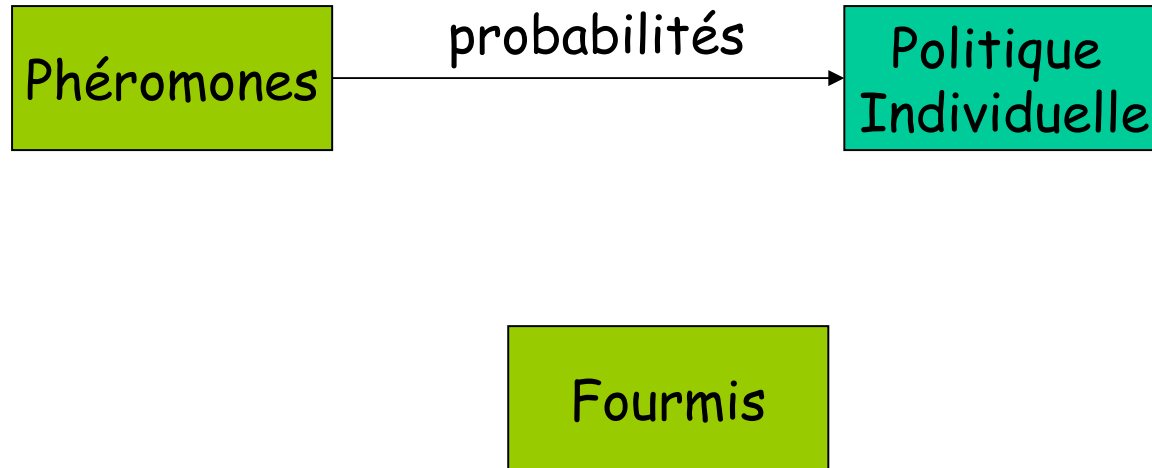
- Principe ACO
 - Transforme un probleme statique en probleme dynamique
- Idée
 - Comprendre comment controleur est construit

Meuleau, Dorigo 2002

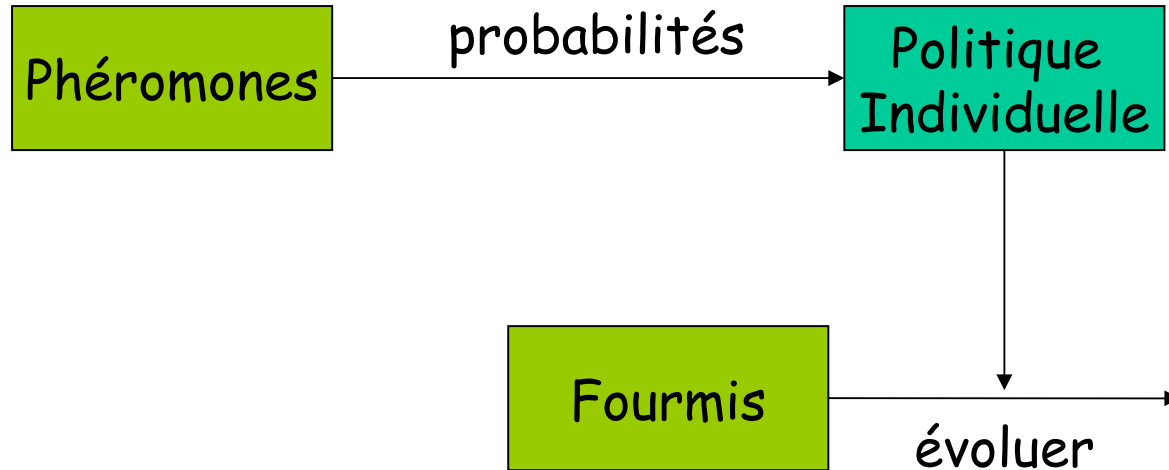
Phéromones

Fourmis

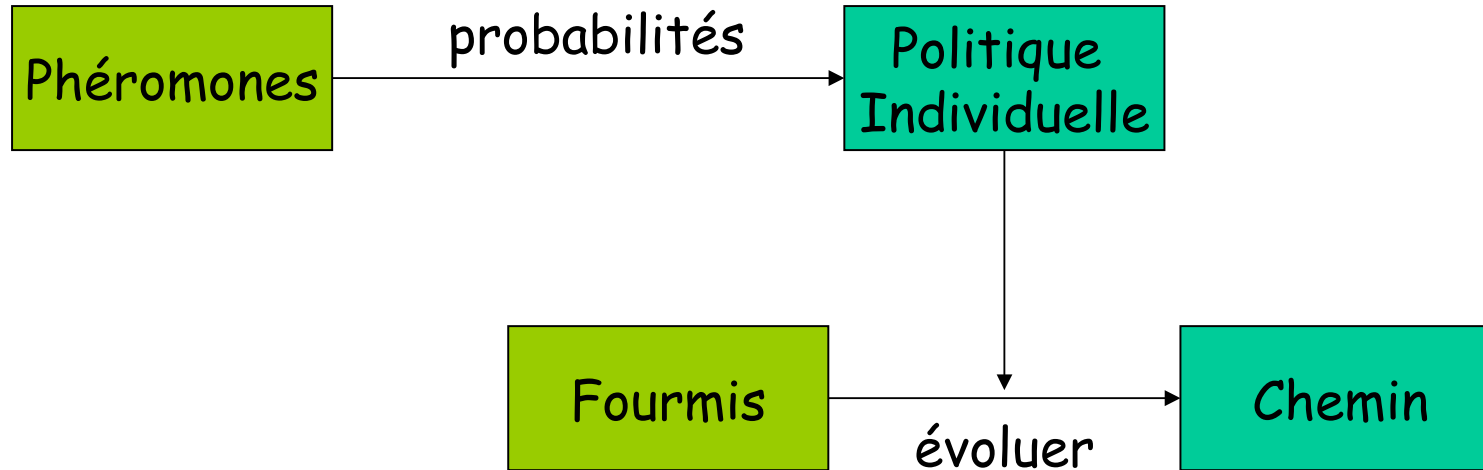
Meuleau, Dorigo 2002



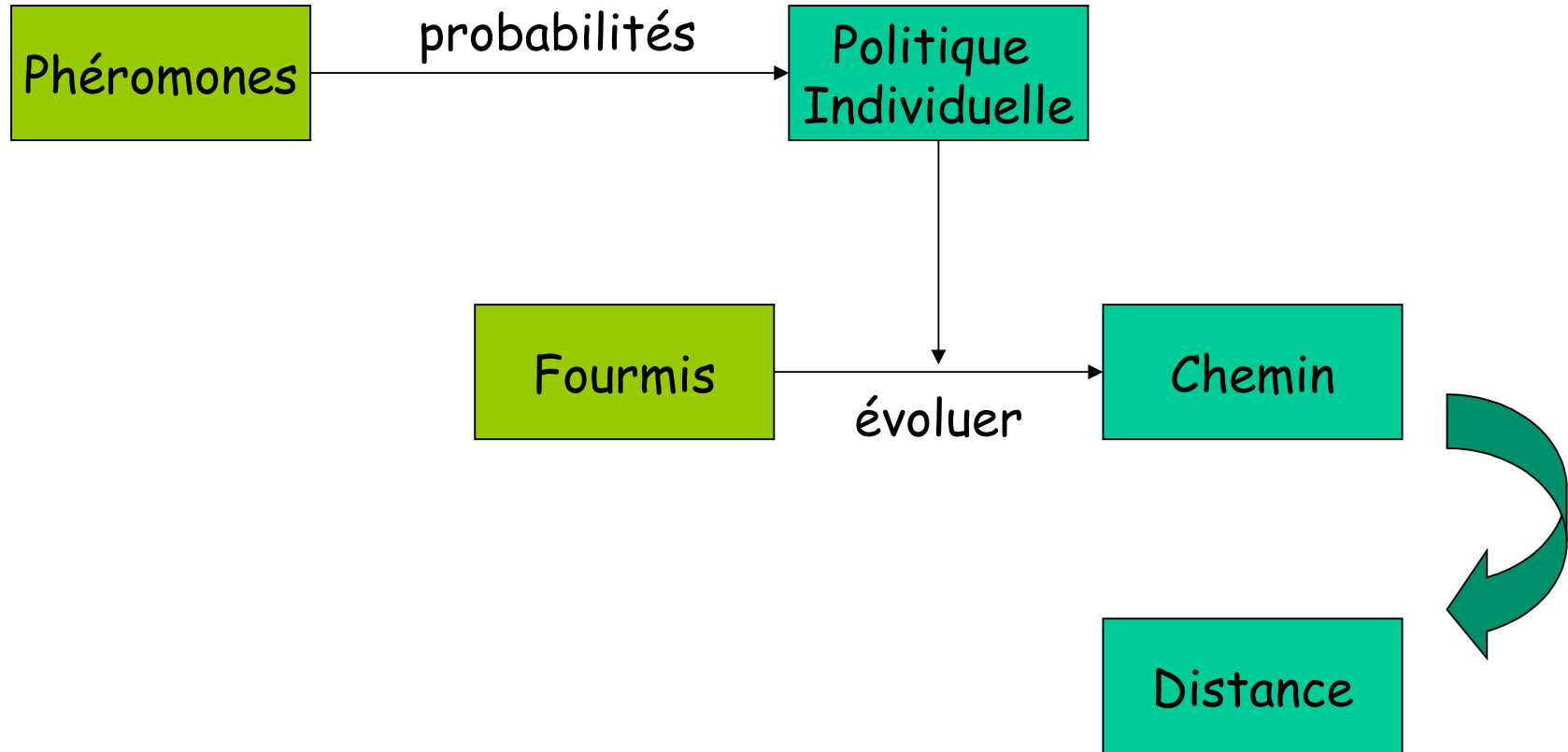
Meuleau, Dorigo 2002



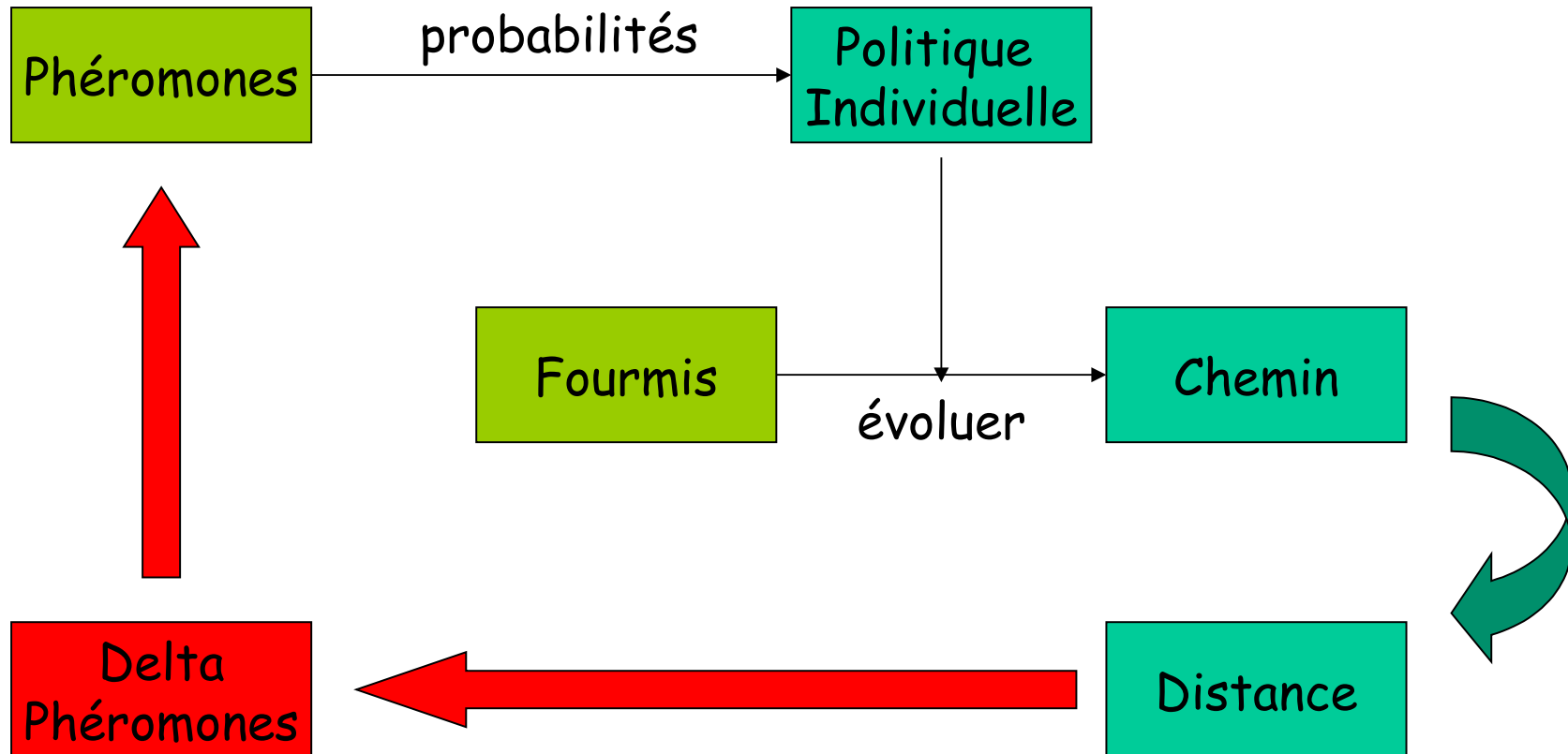
Meuleau, Dorigo 2002



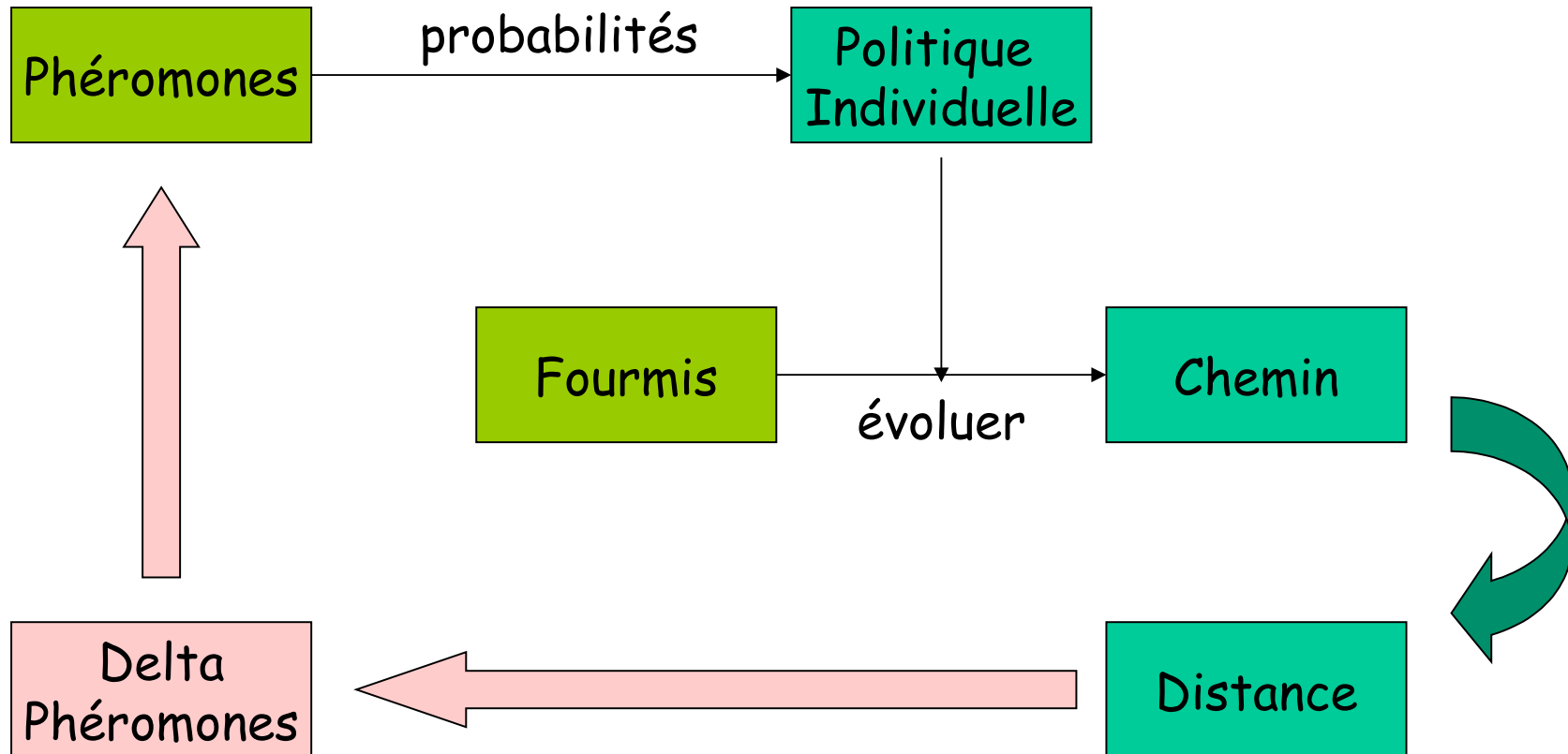
Meuleau, Dorigo 2002



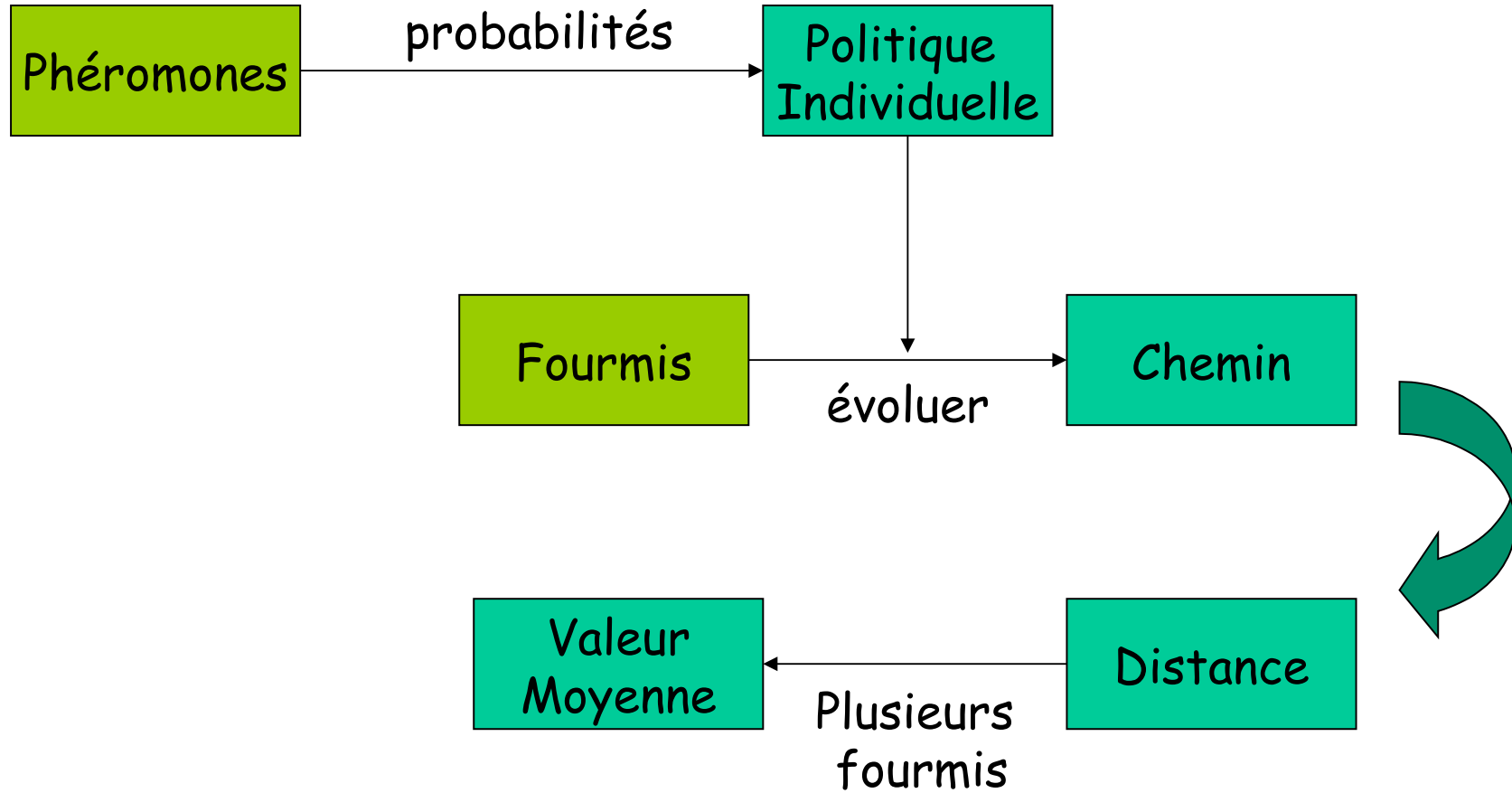
Meuleau, Dorigo 2002



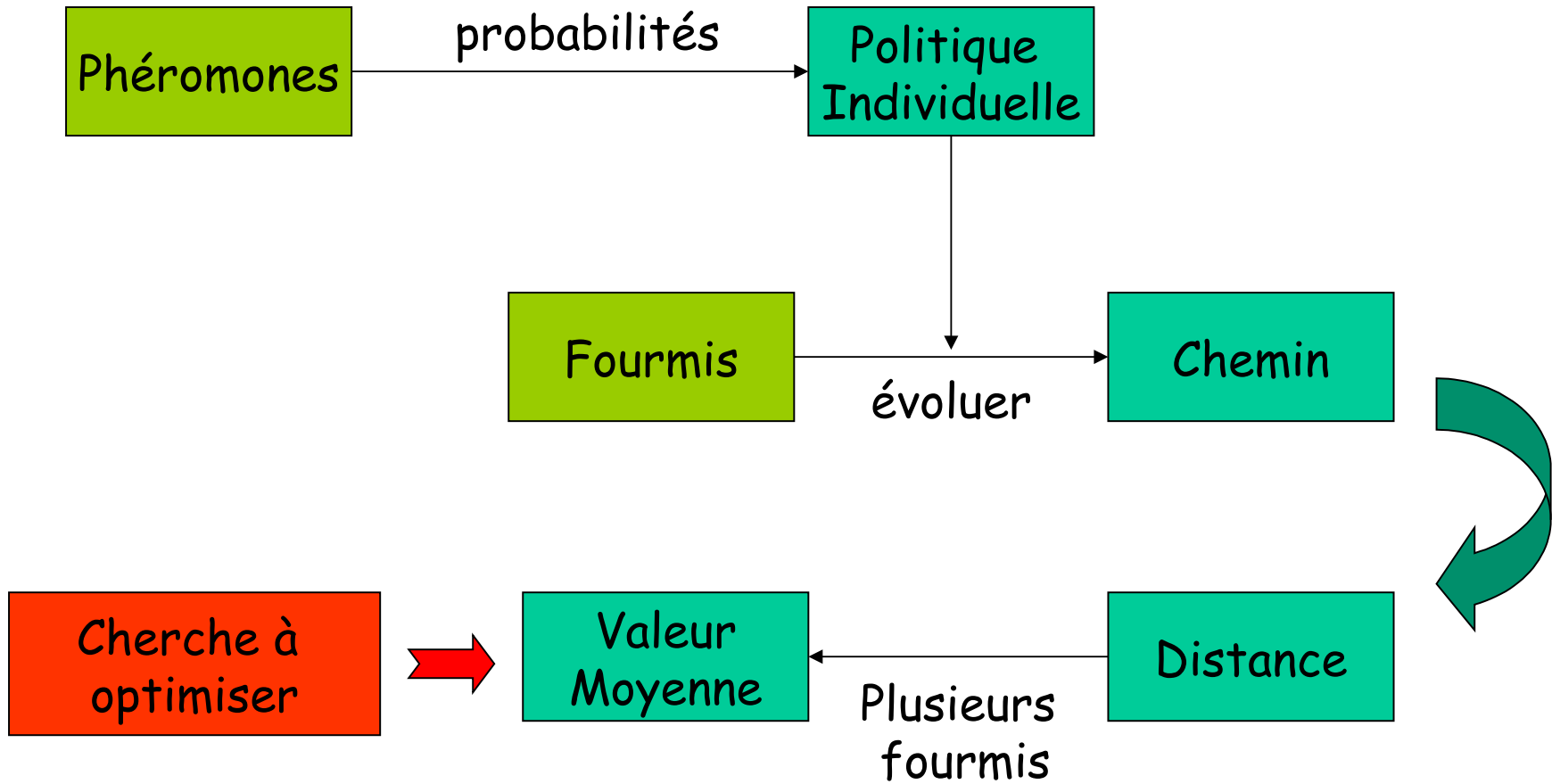
Meuleau, Dorigo 2002

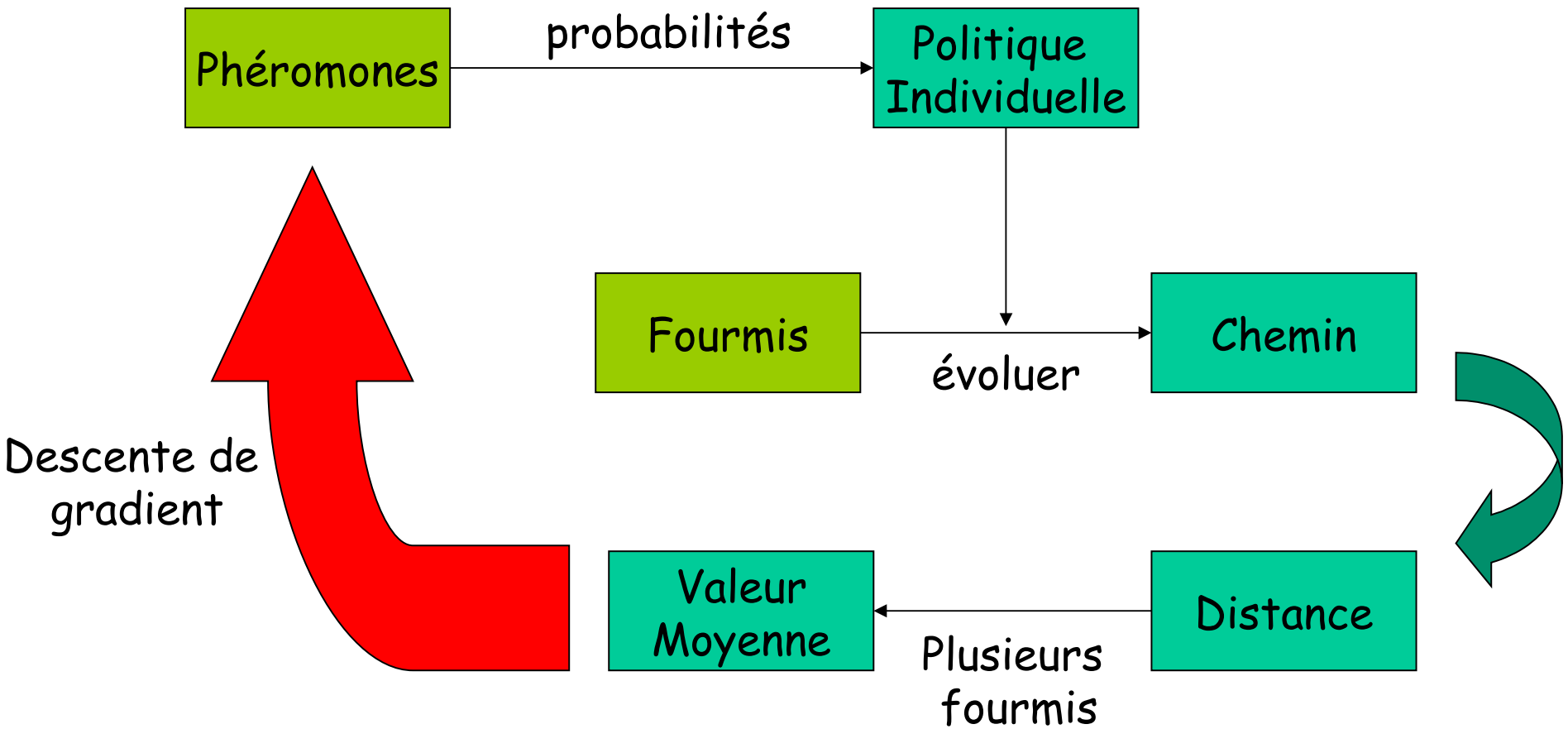


Meuleau, Dorigo 2002

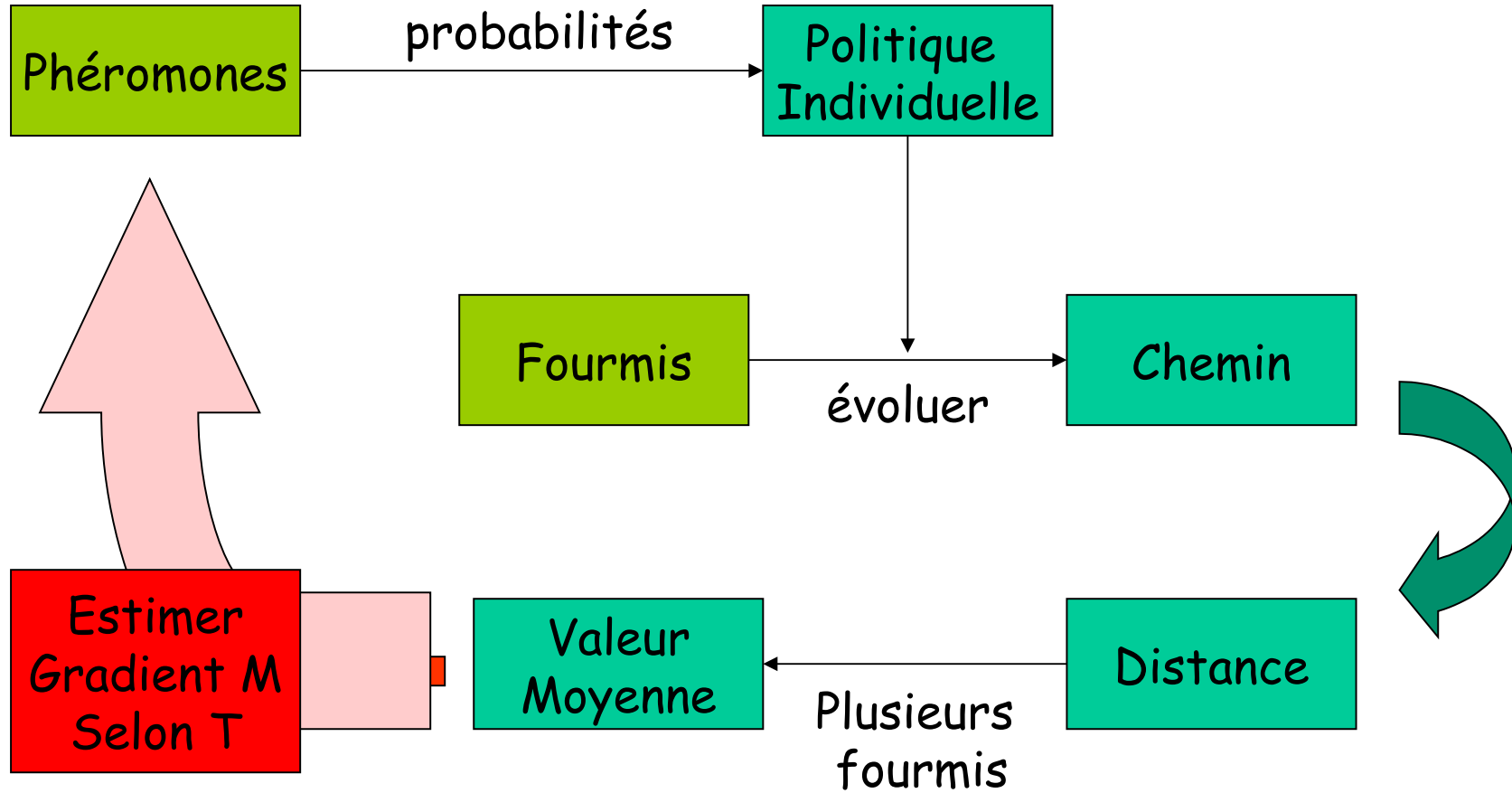


Meuleau, Dorigo 2002





Meuleau, Dorigo 2002



Meuleau, Dorigo 2002

- Démarche
 - Dans l'espace des phéromones
 - Optimiser la valeur moyenne
 - Modifier phéromones
 - Descente de gradient :
 - Évaluer la variation de v en fonction de $T(x,y)$
 - Bouger dans cette direction

Meuleau, Dorigo 2002

- Ce qu'on cherche à optimiser
 - Erreur: = moyenne de $1/\text{distance}$
- Gradient
 - $D_e/dT(x,y) = E(T_{x,y}/\text{distance})$ sur chemin sachant T
 - $T_{x,y} = \text{eligibility}$
- Evaluer ce gradient
 - Monte carlo : forward : je lance fourmi
 - Sur chemin, somme $T_{x,y}/\text{distance}$ (estimation du gradient)
 - Je modifie pheromones en fonction de cela

Plan

- Fourragement fourmis
- Algorithmes fourmis
- Ant Colony Optimisation appliqué au TSP
- Analyse de l'algorithme
- **Exemple applications**

Utilité des algorithmes fourmis

- Mise à jour **dynamique**
 - Plein de questions sur l'adaptabilité
- Exemple
 - Fourragement
 - disparition de sources
 - Recherche de nouvelles sources
 - Routage dans les réseaux (antnet – Di Caro, Dorigo)
 - Reconnaissance d'images (ramos – Digital image habitats)
 - Etc ...

Autres exemples

Autres exemples inspiration biologique

- PSO
 - Particule swarm optimization
- Brood sorting
 - Tri (lumer et faieta)
- Systèmes immunitaires artificiels
- Etc ...