

# Intégration de l'émergence au sein des systèmes multi-agent

## Une étude appliquée à la recherche heuristique

JORIS DEGUET

Doctorant de l'Université Joseph Fourier

Sous la direction d'Yves Demazeau et de Laurent Magnin

Financement DGA puis UJF

Thèse préparée au Laboratoire d'Informatique de Grenoble

30 mai 2008

## 1 Introduction

- Problématique
- Thèse défendue
- Démarche de la thèse

- 1 Introduction
  - Problématique
  - Thèse défendue
  - Démarche de la thèse
- 2 Triple restriction
  - Moyen, le Comment
  - But, le Pourquoi
  - Objet, le Quoi

- 1 Introduction
  - Problématique
  - Thèse défendue
  - Démarche de la thèse
- 2 Triple restriction
  - Moyen, le Comment
  - But, le Pourquoi
  - Objet, le Quoi
- 3 Synergies
  - Observation expérimentale
  - Modèles pour l'émergence

- 1 Introduction
  - Problématique
  - Thèse défendue
  - Démarche de la thèse
- 2 Triple restriction
  - Moyen, le Comment
  - But, le Pourquoi
  - Objet, le Quoi
- 3 Synergies
  - Observation expérimentale
  - Modèles pour l'émergence
- 4 Contribution et perspectives
  - Contribution
  - Perspectives

# Systèmes multi-agent (SMA)

- Une manière d'appréhender le monde sous forme d'agents en interaction

# Systèmes multi-agent (SMA)

- Une manière d'appréhender le monde sous forme d'agents en interaction
- Un intérêt particulier pour le collectif, la multitude

# Systèmes multi-agent (SMA)

- Une manière d'appréhender le monde sous forme d'agents en interaction
- Un intérêt particulier pour le collectif, la multitude
- Jusqu'où un système multi-agent peut être considéré comme un agent

# Émergence

Émergence peut décrire :

- l'influence réciproque entre des entités de niveaux différents  
[Forrest 1990, Muller 2004]

# Émergence

Émergence peut décrire :

- l'influence réciproque entre des entités de niveaux différents [Forrest 1990, Muller 2004]
- des systèmes qui dépassent les capacités de leurs composants [AMAS/ADELFE 1998, Kubik 2001]

# Émergence

Émergence peut décrire :

- l'influence réciproque entre des entités de niveaux différents [Forrest 1990, Muller 2004]
- des systèmes qui dépassent les capacités de leurs composants [AMAS/ADELFE 1998, Kubik 2001]
- des systèmes dont on doit observer l'interaction pour savoir comment ils fonctionnent [Searle 1992]  
(composition insuffisante)

# Émergence au sein des SMA

- Distinction entre deux modes collectifs : **composition** et **interaction**

# Émergence au sein des SMA

- Distinction entre deux modes collectifs : **composition** et **interaction**
- L'intuition que la **composition** joue un rôle moindre que l'**interaction**

# Émergence au sein des SMA

- Distinction entre deux modes collectifs : **composition** et **interaction**
- L'intuition que la **composition** joue un rôle moindre que l'**interaction**
- Un objectif commun : mesurer l'impact de la **dynamique collective**

# Thèse défendue

- l'émergence comme un tout supérieur à la somme de ses parties

# Thèse défendue

- l'émergence comme un tout supérieur à la somme de ses parties
- *tout* et *somme des parties* comme deux variantes d'une même description

# Thèse défendue

- l'émergence comme un tout supérieur à la somme de ses parties
- *tout* et *somme des parties* comme deux variantes d'une même description
- ces deux variantes ne se distinguent que par leurs modes d'*interaction*

# Thèse défendue

- l'émergence comme un tout supérieur à la somme de ses parties
- *tout* et *somme des parties* comme deux variantes d'une même description
- ces deux variantes ne se distinguent que par leurs modes d'*interaction*
- ces deux variantes donnent des exécutions distinctes

# Thèse défendue

- l'émergence comme un tout supérieur à la somme de ses parties
- *tout* et *somme des parties* comme deux variantes d'une même description
- ces deux variantes ne se distinguent que par leurs modes d'*interaction*
- ces deux variantes donnent des exécutions distinctes
- le gain obtenu ne peut s'expliquer que par l'*interaction*

## Notions importantes

**composition** les agents et la structure qui les relie, l'organisation

**interaction** ce que les agents échangent au cours de leur exécution

**composite** système composé d'autres agents

**vrai composite** composite dont l'explication du comportement nécessite de considérer l'interaction

**synergie** gain apporté par un surplus d'interaction

- 1 Introduction
- 2 **Triple restriction**
  - Moyen, le Comment
  - But, le Pourquoi
  - Objet, le Quoi
- 3 Synergies
- 4 Contribution et perspectives

# Approche par une triple restriction

L'approche suivie au cours de la thèse repose sur une triple restriction :

# Approche par une triple restriction

L'approche suivie au cours de la thèse repose sur une triple restriction :

- Moyen Les SMA  
des agents hiérarchiques permettant de décrire  
agents atomiques et composites

# Approche par une triple restriction

L'approche suivie au cours de la thèse repose sur une triple restriction :

- Moyen** Les SMA  
des agents hiérarchiques permettant de décrire  
agents atomiques et composites
- But** La résolution de problèmes  
le cas particulier de la recherche heuristique

## Approche par une triple restriction

L'approche suivie au cours de la thèse repose sur une triple restriction :

- Moyen** Les SMA  
des agents hiérarchiques permettant de décrire  
agents atomiques et composites
- But** La résolution de problèmes  
le cas particulier de la recherche heuristique
- Objet** L'émergence  
la possibilité d'un tout supérieur aux composants,  
d'un agent composite exhibant une *synergie*

## SMA → une hiérarchie d'agents

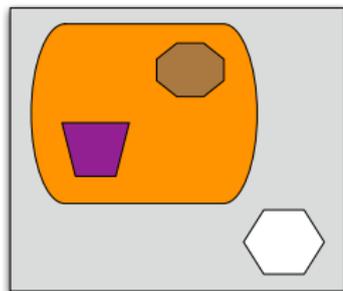
L'idée principale est d'implanter la notion de composition, un SMA est :

- soit un agent seul, **atomique**
- soit un ensemble de SMA, **composite**

SMA défini comme une entité récursive dont le cas de base est l'agent atomique.

# Organisation

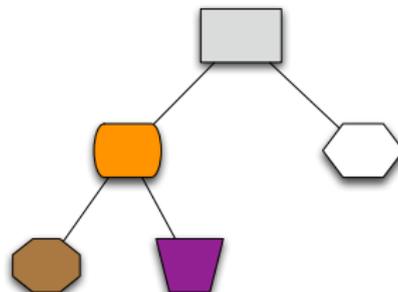
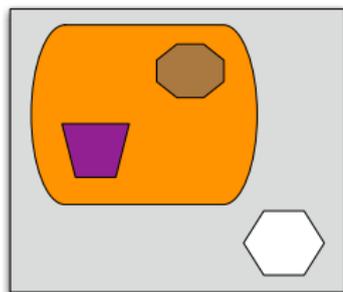
L'organisation décrit la composition du système, quels agents composent quel SMA.



# Organisation

L'organisation décrit la composition du système, quels agents composent quel SMA.

Elle décrit les canaux possibles d'interaction.



# Interaction

- Chaque agent a une file de messages à traiter

# Interaction

- Chaque agent a une file de messages à traiter
- Les messages sont regroupés par types

# Interaction

- Chaque agent a une file de messages à traiter
- Les messages sont regroupés par types
- Un message peut être adressé à :

# Interaction

- Chaque agent a une file de messages à traiter
- Les messages sont regroupés par types
- Un message peut être adressé à :
  - son père

# Interaction

- Chaque agent a une file de messages à traiter
- Les messages sont regroupés par types
- Un message peut être adressé à :
  - son père
  - ses fils

# Interaction

- Chaque agent a une file de messages à traiter
- Les messages sont regroupés par types
- Un message peut être adressé à :
  - son père
  - ses fils
  - l'agent lui-même

# Agent

Une entité située dans l'organisation, impliquée dans des interactions avec d'autres agents.  
L'agent exécute une succession de fonctions de traitement.

- Une mémoire

# Agent

Une entité située dans l'organisation, impliquée dans des interactions avec d'autres agents.

L'agent exécute une succession de fonctions de traitement.

- Une mémoire
- D'éventuels SMA qu'il contient

# Agent

Une entité située dans l'organisation, impliquée dans des interactions avec d'autres agents.

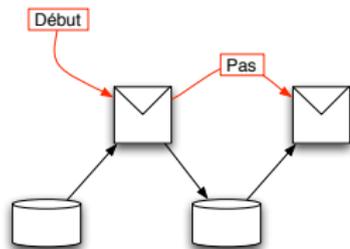
L'agent exécute une succession de fonctions de traitement.

- Une mémoire
- D'éventuels SMA qu'il contient
- Une fonction de traitement par type de messages

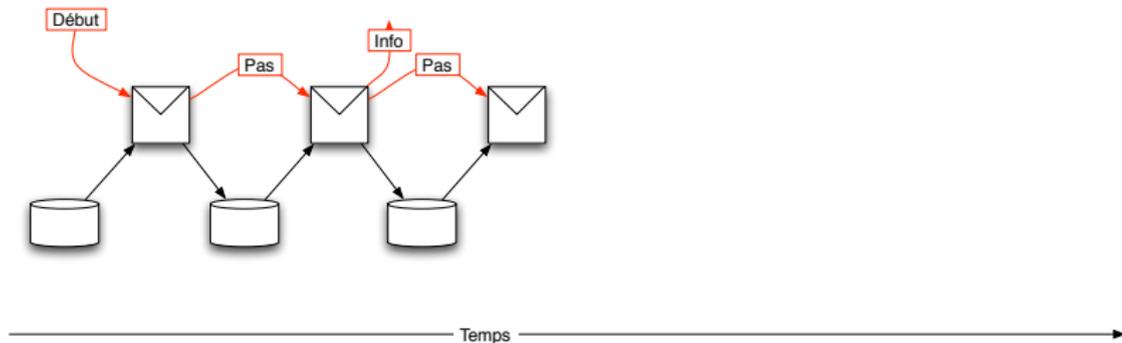
# Exécution d'un agent



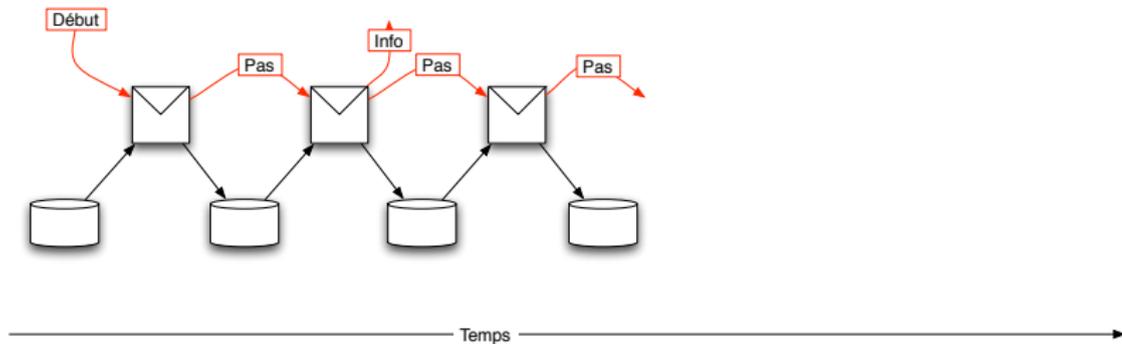
# Exécution d'un agent



# Exécution d'un agent

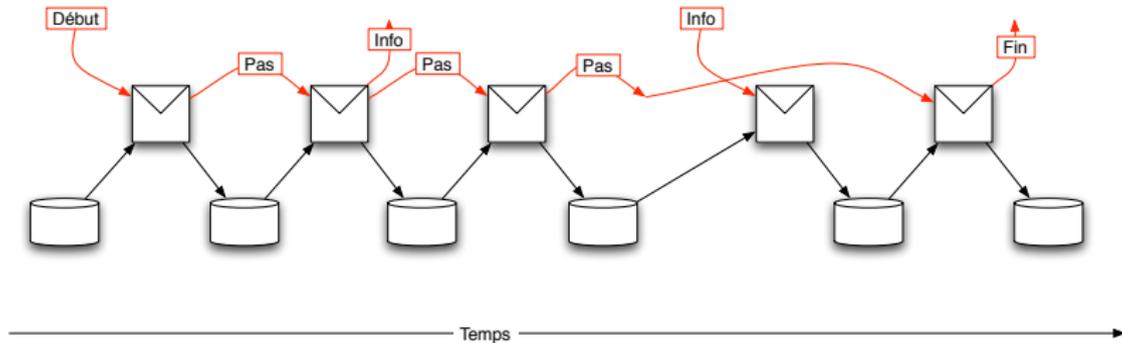


# Exécution d'un agent

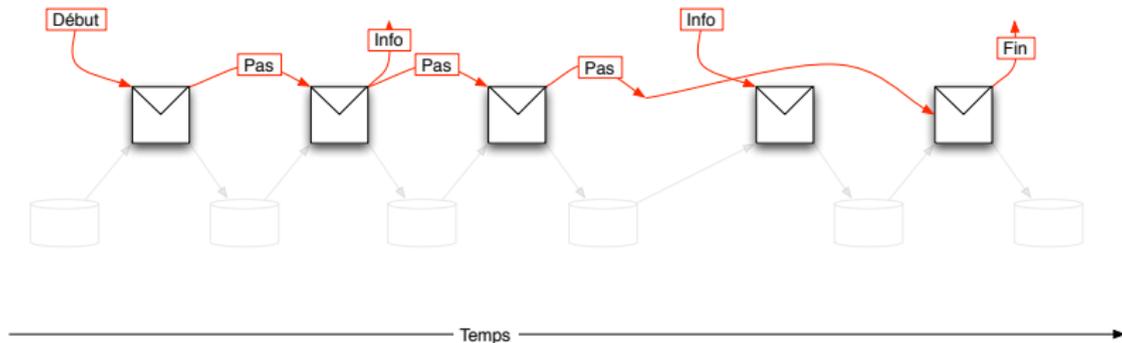




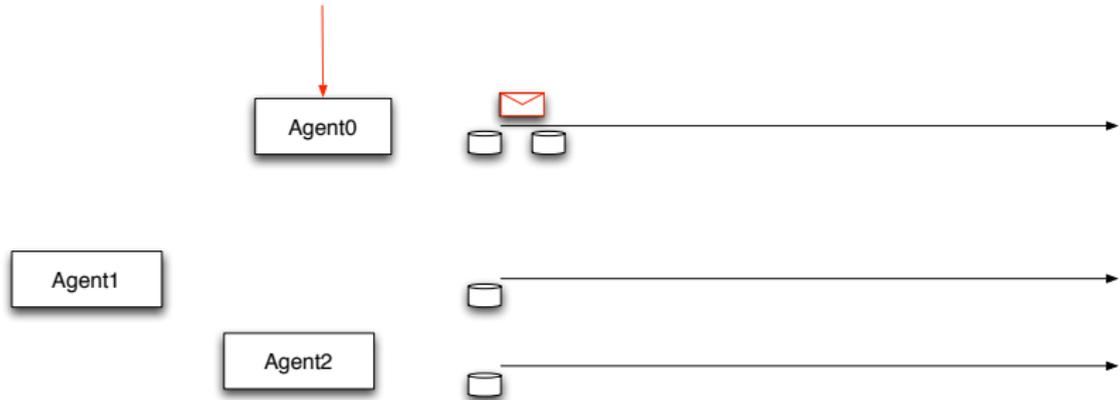
# Exécution d'un agent



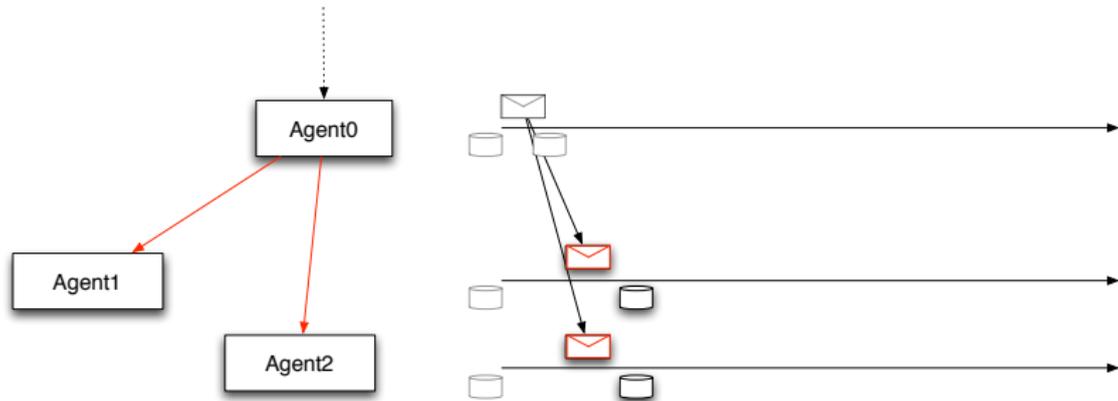
# Exécution d'un agent



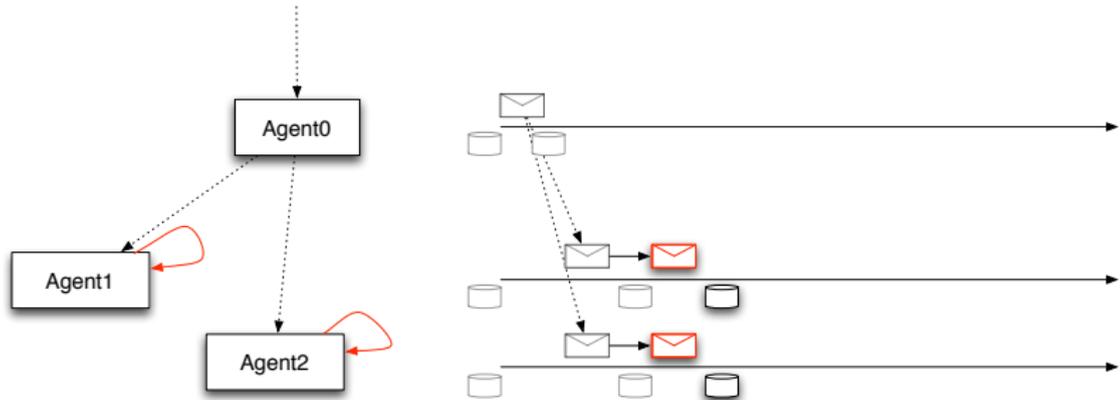
# Exécution d'un SMA



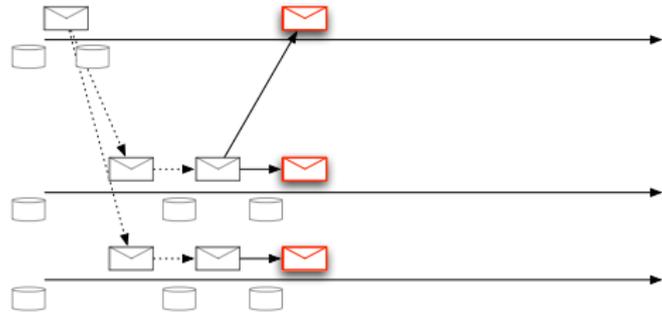
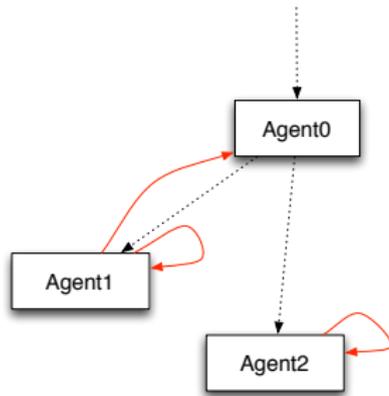
# Exécution d'un SMA



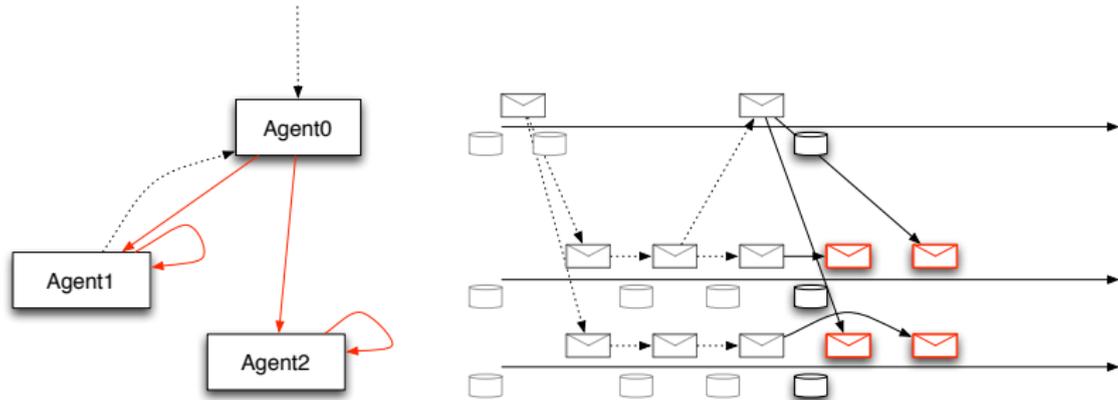
# Exécution d'un SMA



# Exécution d'un SMA



# Exécution d'un SMA



## Retour sur une définition d'agent

Un agent est :

- une entité **physique ou logicielle**
- qui évolue **dans un environnement**,
- qui peut **percevoir et agir dans cet environnement**,
- qui peut communiquer avec **d'autres agents**,
- qui **exhibe un comportement autonome**.

## Retour sur une définition d'agent

Un agent est :

- une entité **logicielle**
- qui évolue **dans un environnement**,
- qui peut **percevoir et agir dans cet environnement**,
- qui peut communiquer avec **d'autres agents**,
- qui **exhibe un comportement autonome**.

## Retour sur une définition d'agent

Un agent est :

- une entité **logicielle**
- qui évolue **dans un SMA**,
- qui peut **percevoir et agir dans cet environnement**,
- qui peut communiquer avec **d'autres agents**,
- qui **exhibe un comportement autonome**.

## Retour sur une définition d'agent

Un agent est :

- une entité **logicielle**
- qui évolue **dans un SMA**,
- qui peut **communiquer avec le système dont il fait partie**,
- qui peut communiquer avec **d'autres agents**,
- qui **exhibe un comportement autonome**.

## Retour sur une définition d'agent

Un agent est :

- une entité **logicielle**
- qui évolue **dans un SMA**,
- qui peut **communiquer avec le système dont il fait partie**,
- qui peut communiquer avec **les systèmes qui le composent**,
- qui **exhibe un comportement autonome**.

## Retour sur une définition d'agent

Un agent est :

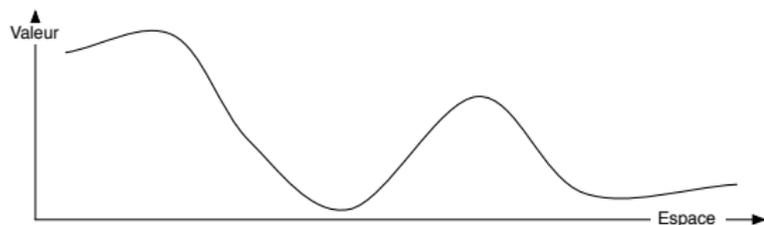
- une entité **logicielle**
- qui évolue **dans un SMA**,
- qui peut **communiquer avec le système dont il fait partie**,
- qui peut communiquer avec **les systèmes qui le composent**,
- qui **modifie sa mémoire et envoie des messages de manière autonome**.

# RDP → la recherche heuristique



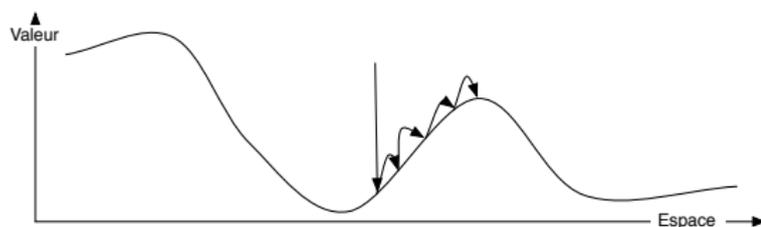
- Le problème est défini par un espace de recherche.

## RDP → la recherche heuristique



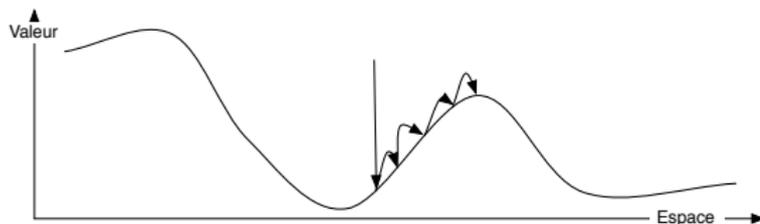
- Le problème est défini par un espace de recherche.
- La qualité de la solution est définie par une valeur.

## RDP → la recherche heuristique



- Le problème est défini par un espace de recherche.
- La qualité de la solution est définie par une valeur.
- L'espace est trop grand pour tout évaluer, on se limite à des trajectoires.

## RDP → la recherche heuristique



- Le problème est défini par un espace de recherche.
- La qualité de la solution est définie par une valeur.
- L'espace est trop grand pour tout évaluer, on se limite à des trajectoires.

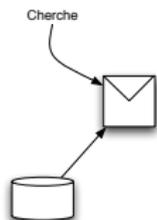
### Heuristique

L'heuristique est une méthode de construction d'une trajectoire.

# Heuristique itérative → Agent

## ① initier

Cherche prendre le point de départ et envoyer un pas

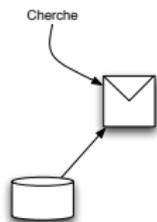


Temps →

# Heuristique itérative → Agent

- 1 initier
- 2 tant que !stop

**Cherche** prendre le point de départ et envoyer un pas  
**Pas** si !stop,



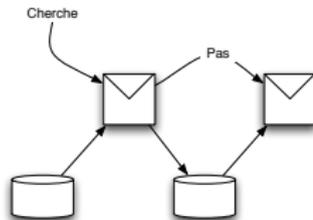
Temps →

# Heuristique itérative → Agent

- 1 initier
- 2 tant que !stop
  - pas de recherche

**Cherche** prendre le point de départ et envoyer un pas

**Pas** si !stop,  
faire un pas et  
envoyer un pas



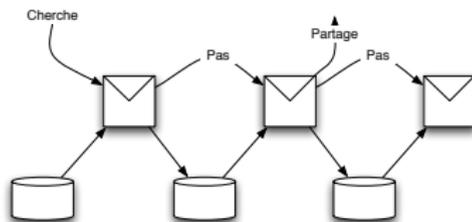
\_\_\_\_\_ Temps \_\_\_\_\_>

# Heuristique itérative → Agent

- 1 initier
- 2 tant que !stop
  - pas de recherche

**Cherche** prendre le point de départ et envoyer un pas

**Pas** si !stop,  
faire un pas et  
envoyer un pas



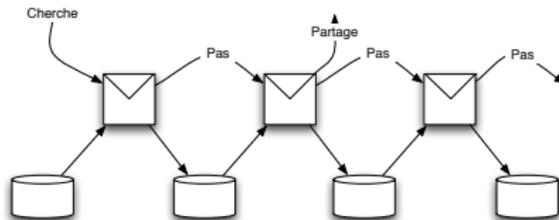
\_\_\_\_\_ Temps \_\_\_\_\_>

# Heuristique itérative → Agent

- 1 initier
- 2 tant que !stop
  - pas de recherche

**Cherche** prendre le point de départ et envoyer un pas

**Pas** si !stop,  
faire un pas et  
envoyer un pas

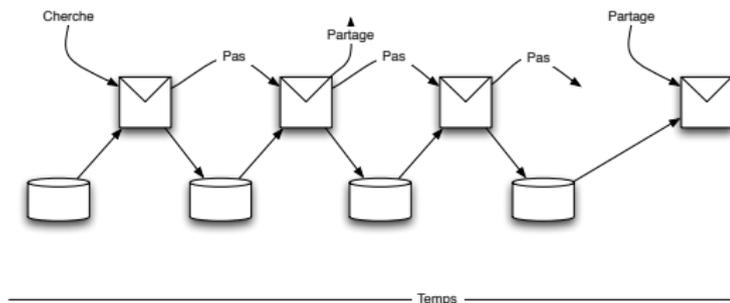


# Heuristique itérative → Agent

- 1 initier
- 2 tant que !stop
  - pas de recherche

**Cherche** prendre le point de départ et envoyer un pas

**Pas** si !stop,  
faire un pas et  
envoyer un pas

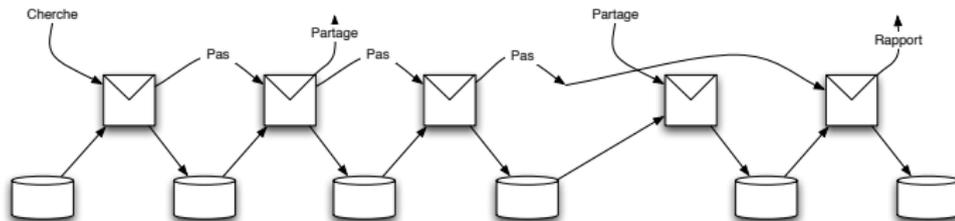


# Heuristique itérative → Agent

- 1 initier
- 2 tant que !stop
  - pas de recherche
- 3 rapporter

**Cherche** prendre le point de départ et envoyer un pas

**Pas** si !stop,  
faire un pas et envoyer un pas  
, sinon rapporter



# Heuristique itérative → Agent

- 1 initier
- 2 tant que !stop
  - pas de recherche
- 3 rapporter

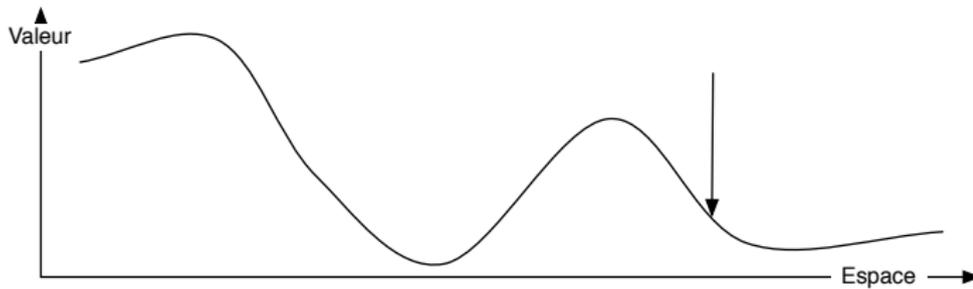
**Cherche** prendre le point de départ et envoyer un pas

**Pas** si !stop,  
faire un pas et envoyer un pas  
, sinon rapporter

## Pas de recherche

Le coeur de la définition d'une heuristique concerne le pas de recherche.

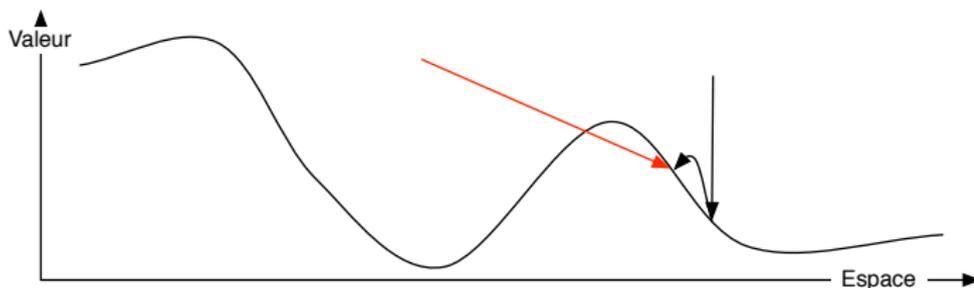
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

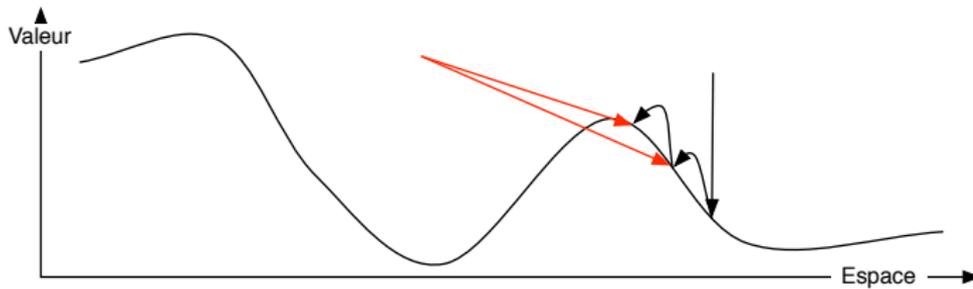
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

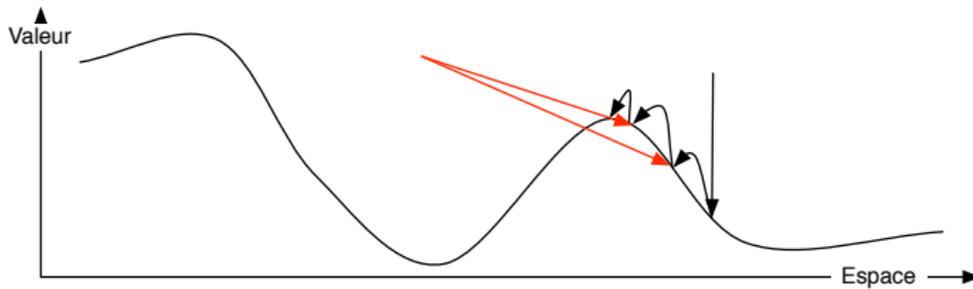
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

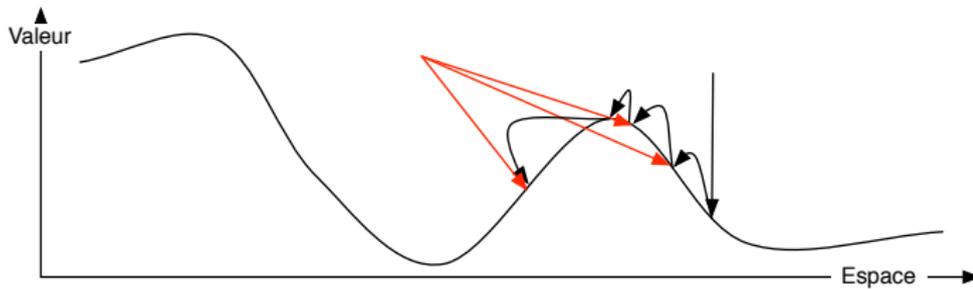
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

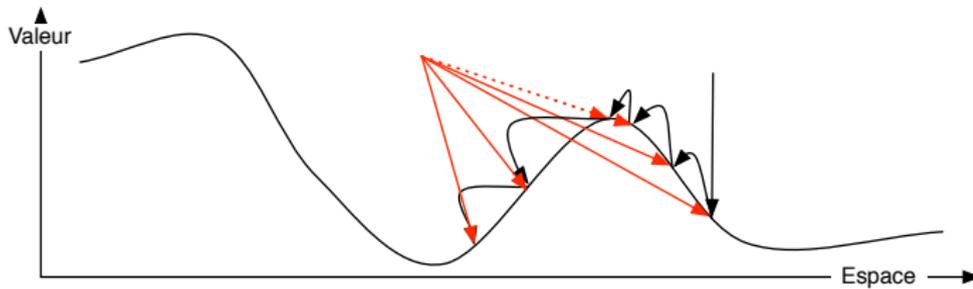
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

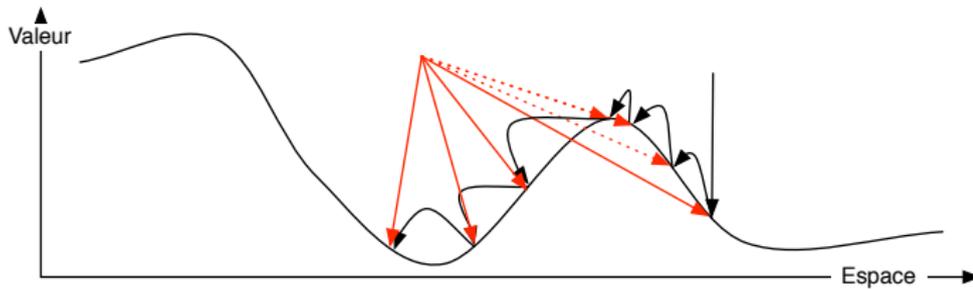
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

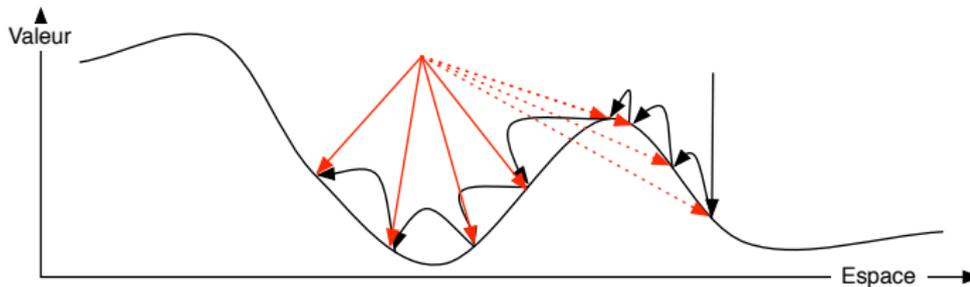
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

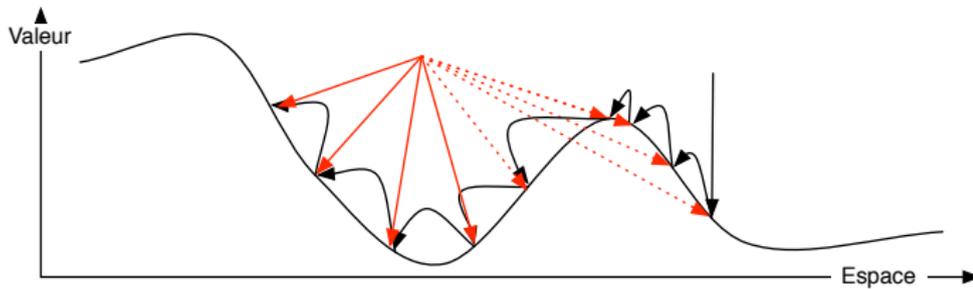
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

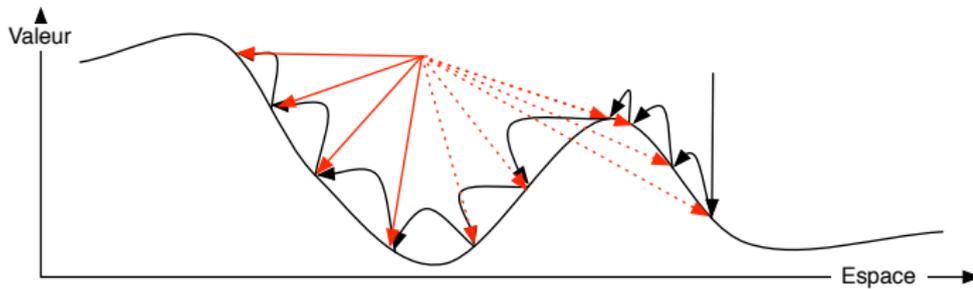
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

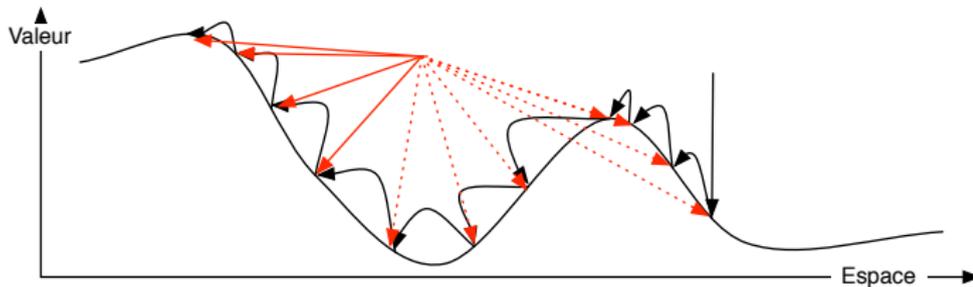
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

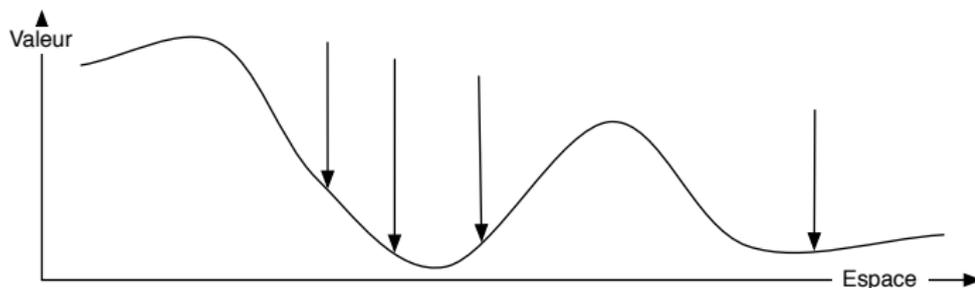
# Recherche avec tabous



## Intuition

Aller au meilleur point pas encore exploré. [Glover 1989]

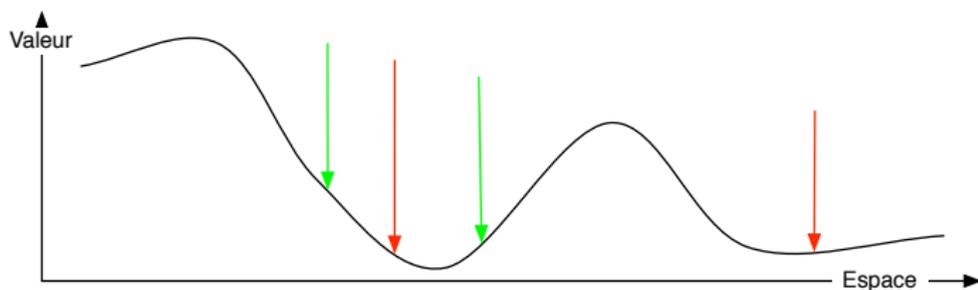
# Algorithme génétique



## Intuition

Laisser les meilleurs points en produire d'autres. [Goldberg 1989]

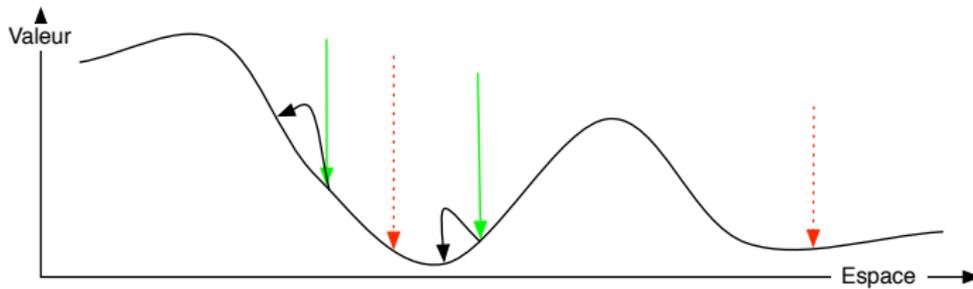
# Algorithme génétique



## Intuition

Laisser les meilleurs points en produire d'autres. [Goldberg 1989]

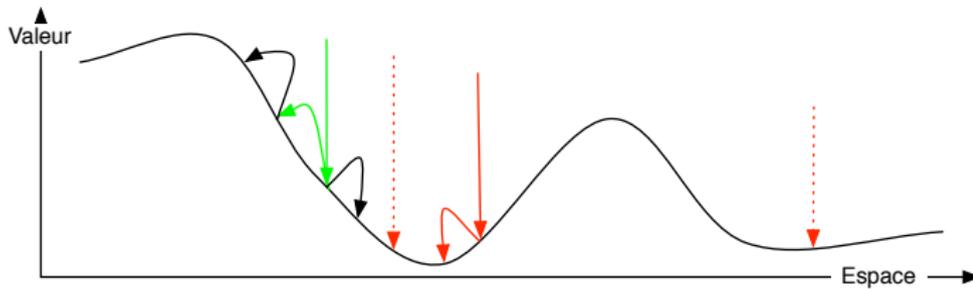
# Algorithme génétique



## Intuition

Laisser les meilleurs points en produire d'autres. [Goldberg 1989]

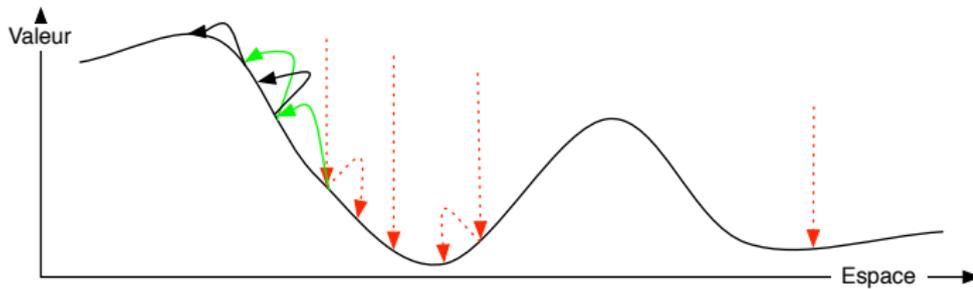
# Algorithme génétique



## Intuition

Laisser les meilleurs points en produire d'autres. [Goldberg 1989]

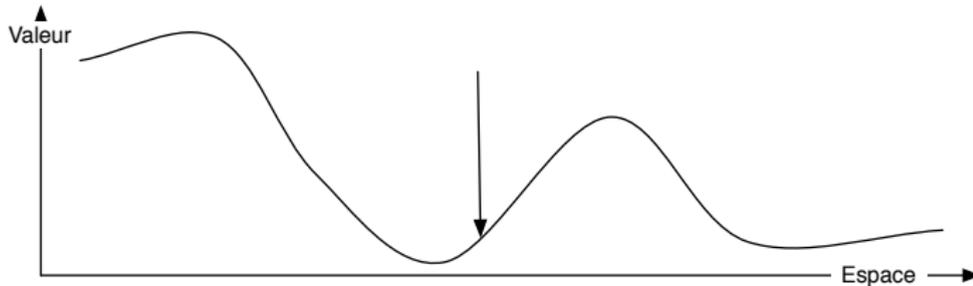
# Algorithme génétique



## Intuition

Laisser les meilleurs points en produire d'autres. [Goldberg 1989]

# Voisinage variable

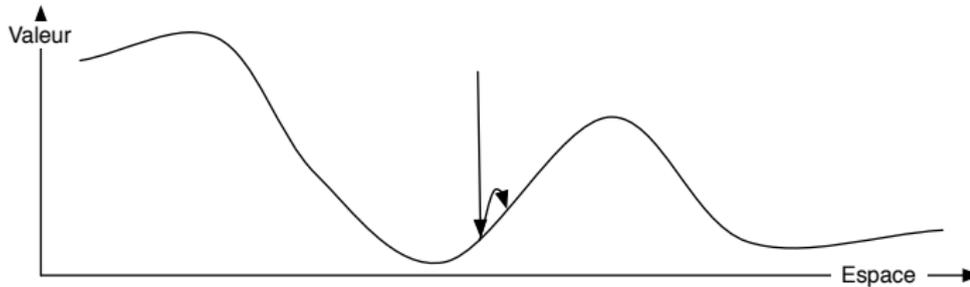


## Intuition

Quand on atteint un maximum local,  
[Mladenovic 1997]

[Hansen,

# Voisinage variable

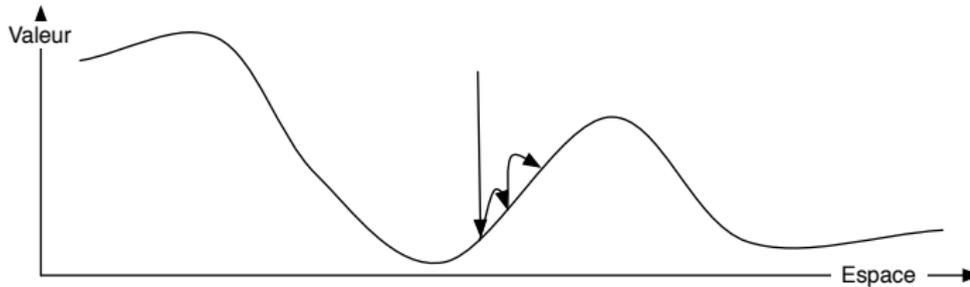


## Intuition

Quand on atteint un maximum local,  
[Mladenovic 1997]

[Hansen,

# Voisinage variable

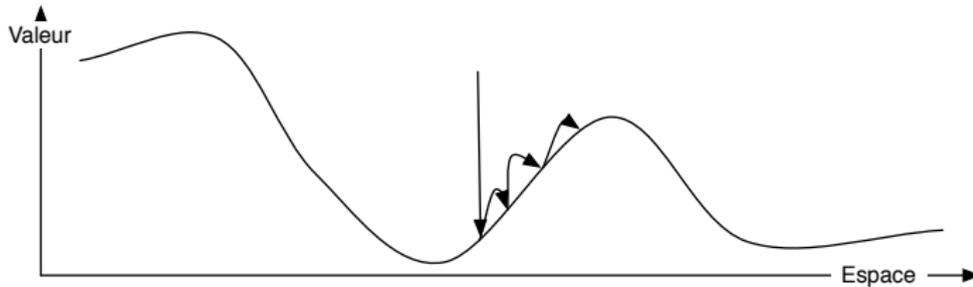


## Intuition

Quand on atteint un maximum local,  
[Mladenovic 1997]

[Hansen,

# Voisinage variable

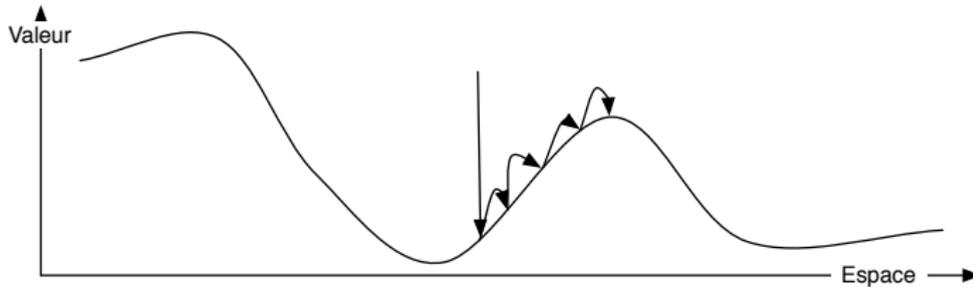


## Intuition

Quand on atteint un maximum local,  
[Mladenovic 1997]

[Hansen,

# Voisinage variable

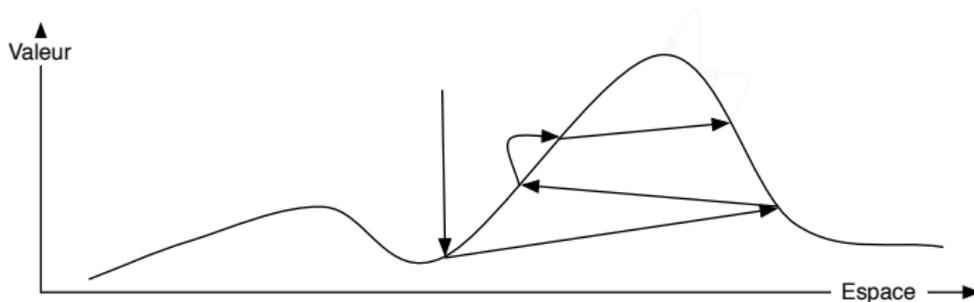


## Intuition

Quand on atteint un maximum local,  
[Mladenovic 1997]

[Hansen,

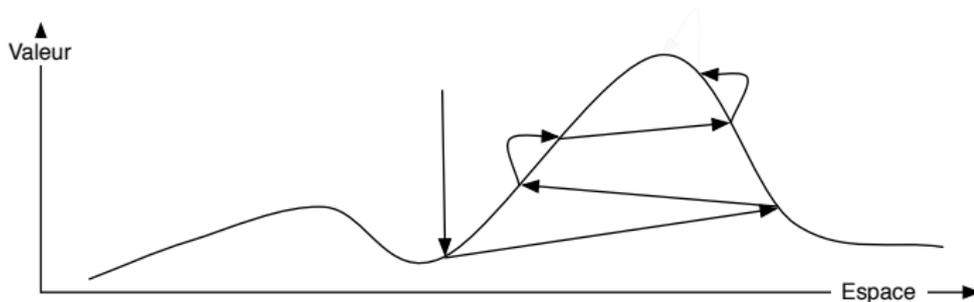
## Voisinage variable



### Intuition

Quand on atteint un maximum local, changer le "local". [Hansen, Mladenovic 1997]

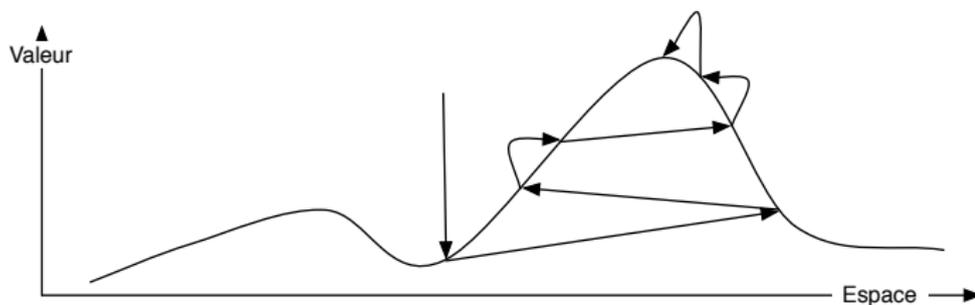
# Voisinage variable



## Intuition

Quand on atteint un maximum local, changer le "local". [Hansen, Mladenovic 1997]

## Voisinage variable



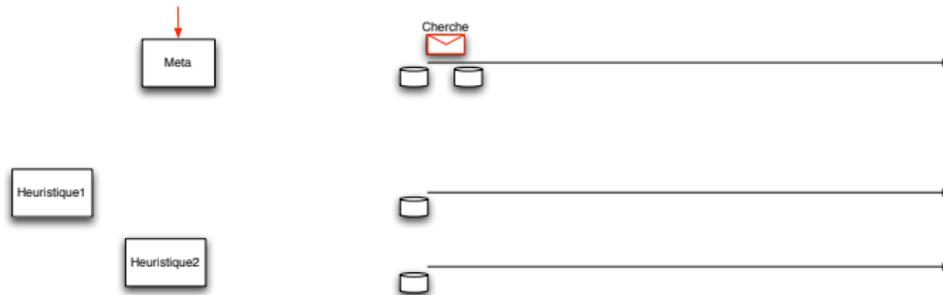
### Intuition

Quand on atteint un maximum local, changer le "local". [Hansen, Mladenovic 1997]

# Metaheuristique → SMA

Définir une heuristique composite :

- plusieurs heuristiques
- partageant leurs progrès au cours de leurs recherches.

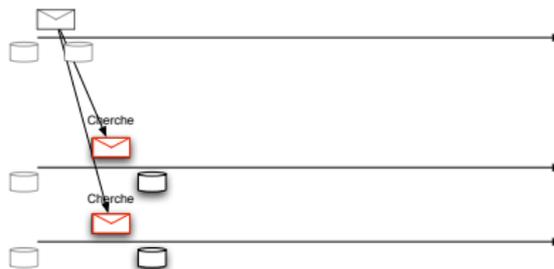
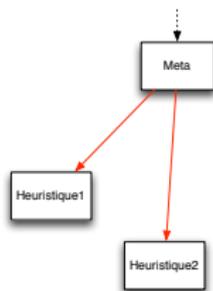


Chaque agent doit :

## Metaheuristique → SMA

Définir une heuristique composite :

- plusieurs heuristiques
- partageant leurs progrès au cours de leurs recherches.

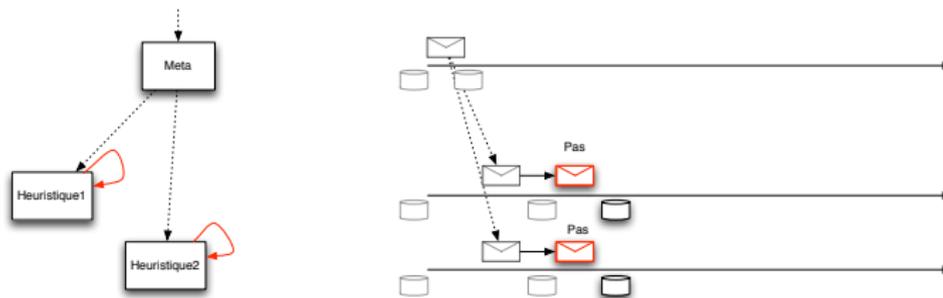


Chaque agent doit :

## Metaheuristique → SMA

Définir une heuristique composite :

- plusieurs heuristiques
- partageant leurs progrès au cours de leurs recherches.

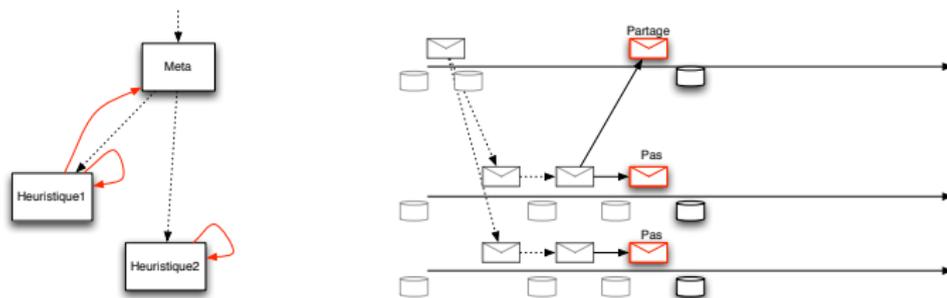


Chaque agent doit :

## Metaheuristique → SMA

Définir une heuristique composite :

- plusieurs heuristiques
- partageant leurs progrès au cours de leurs recherches.



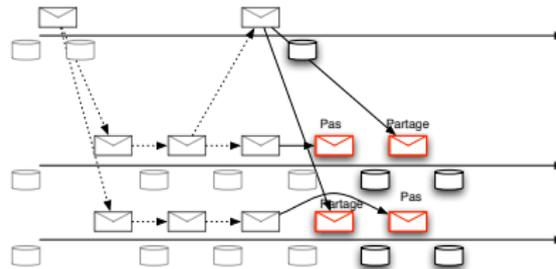
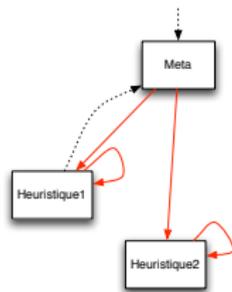
Chaque agent doit :

- envoyer un message dès qu'il progresse

## Metaheuristique → SMA

Définir une heuristique composite :

- plusieurs heuristiques
- partageant leurs progrès au cours de leurs recherches.



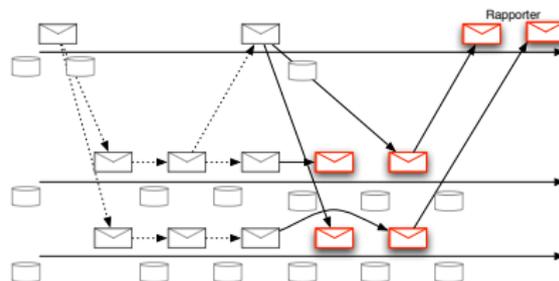
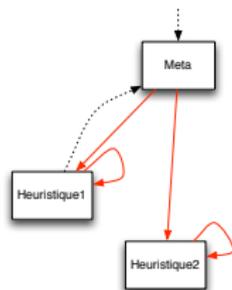
Chaque agent doit :

- traiter les messages de partage

## Metaheuristique → SMA

Définir une heuristique composite :

- plusieurs heuristiques
- partageant leurs progrès au cours de leurs recherches.



Chaque agent doit :

- envoyer un message dès qu'il progresse
- traiter les messages de partage

## Émergence → synergies

*“the interaction or cooperation of two or more organizations, substances, or other agents to produce a combined effect greater than the sum of their separate effects” [Oxford Dictionary]*

Une synergie permet de qualifier un composite de **vrai composite**.

## Émergence → synergies

*“the interaction or cooperation of two or more organizations, substances, or other agents to produce a combined effect greater than the sum of their separate effects” [Oxford Dictionary]*

Une synergie permet de qualifier un composite de **vrai composite**.

**Isoler l'impact de l'interaction.**

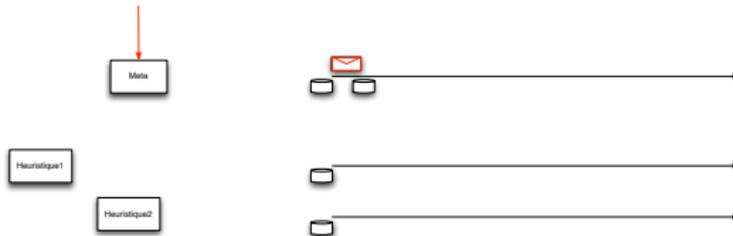
L'identification de l'apport de l'interaction par la comparaison de plusieurs SMA :

- partageant leur composition
- différents par les interactions

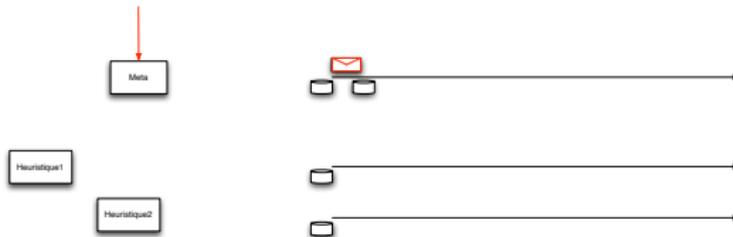
# Interaction entre heuristiques

La recherche d'un bénéfice collectif entre deux systèmes avec la même population d'heuristiques :

Parallèle



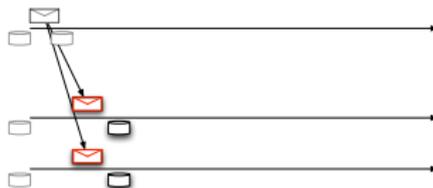
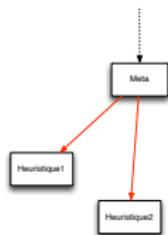
Concurrent



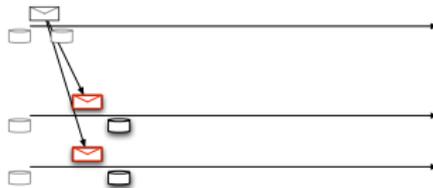
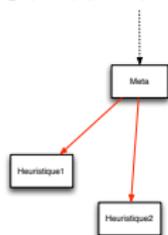
## Interaction entre heuristiques

La recherche d'un bénéfice collectif entre deux systèmes avec la même population d'heuristiques :

Parallèle



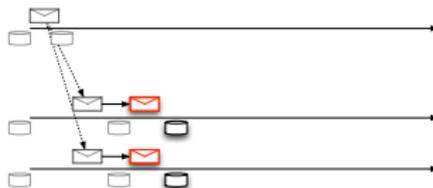
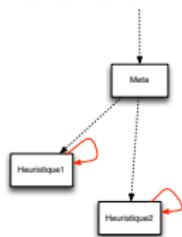
Concurrent



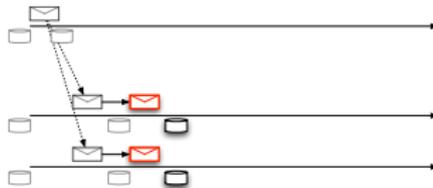
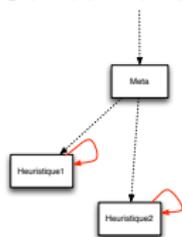
# Interaction entre heuristiques

La recherche d'un bénéfice collectif entre deux systèmes avec la même population d'heuristiques :

Parallèle



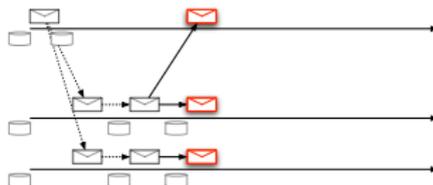
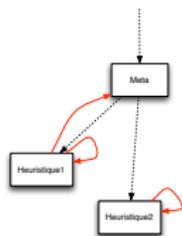
Concurrent



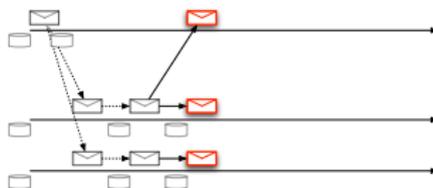
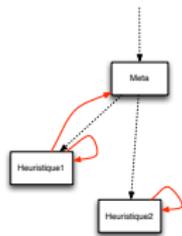
# Interaction entre heuristiques

La recherche d'un bénéfice collectif entre deux systèmes avec la même population d'heuristiques :

Parallèle



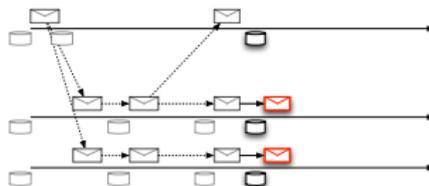
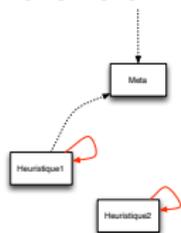
Concurrent



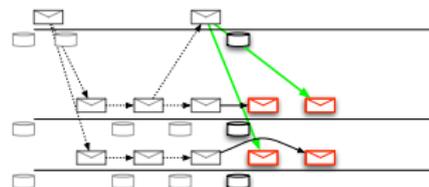
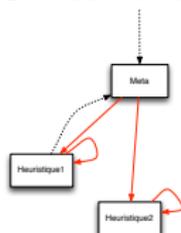
# Interaction entre heuristiques

La recherche d'un bénéfice collectif entre deux systèmes avec la même population d'heuristiques :

Parallèle

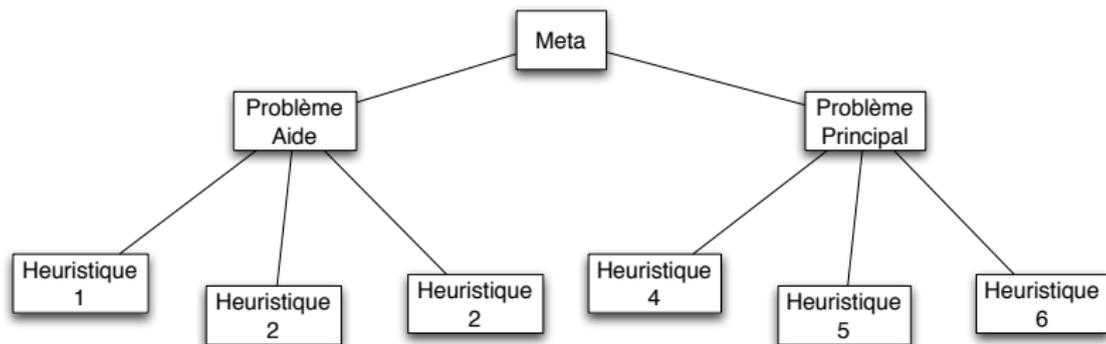


Concurrent



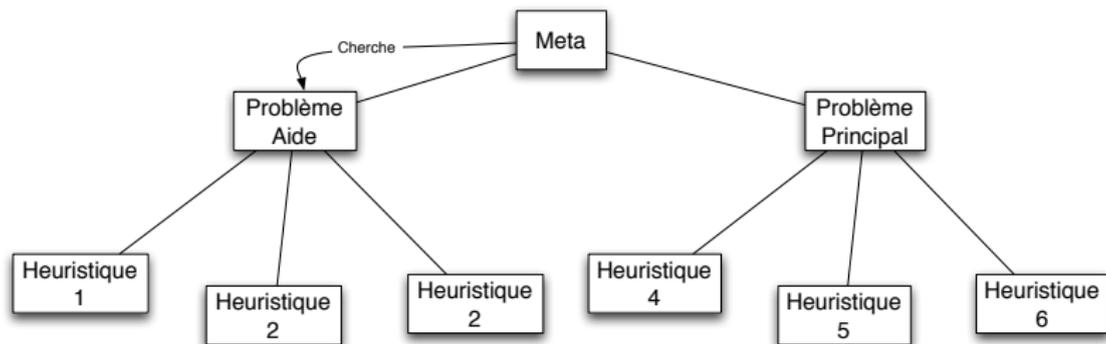
# Interaction entre problèmes

On peut parfois chercher un problème “plus facile” dont on pense qu’il aidera à la résolution.



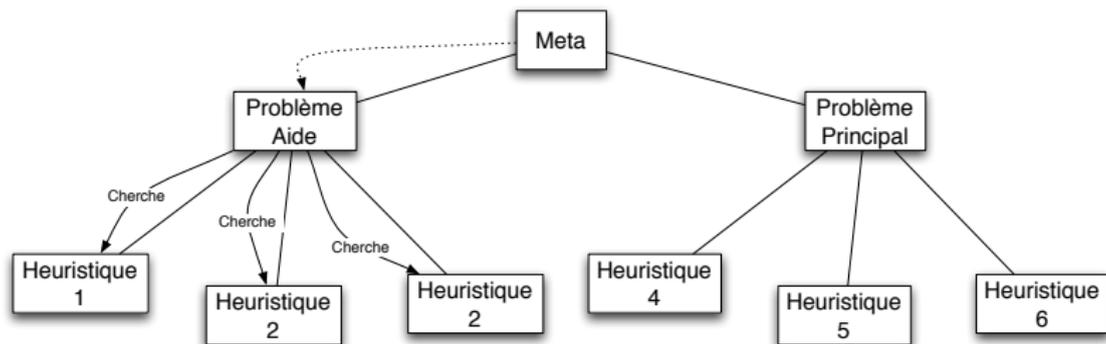
# Interaction entre problèmes

On peut parfois chercher un problème “plus facile” dont on pense qu’il aidera à la résolution.



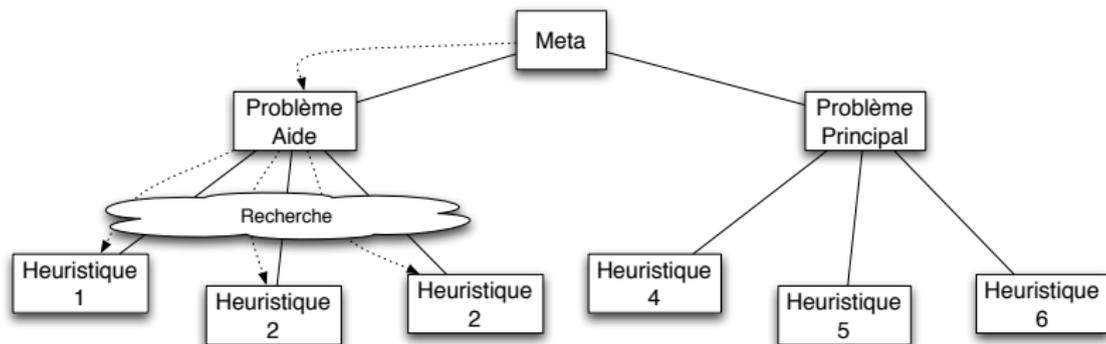
# Interaction entre problèmes

On peut parfois chercher un problème “plus facile” dont on pense qu’il aidera à la résolution.



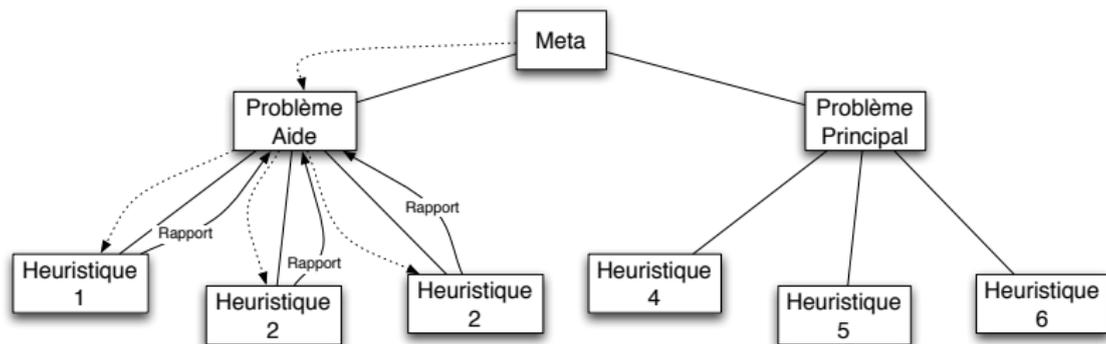
# Interaction entre problèmes

On peut parfois chercher un problème “plus facile” dont on pense qu’il aidera à la résolution.



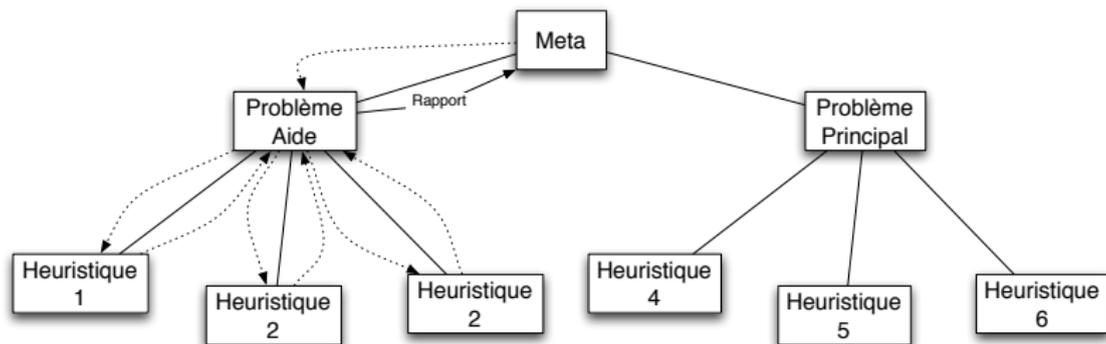
# Interaction entre problèmes

On peut parfois chercher un problème “plus facile” dont on pense qu’il aidera à la résolution.



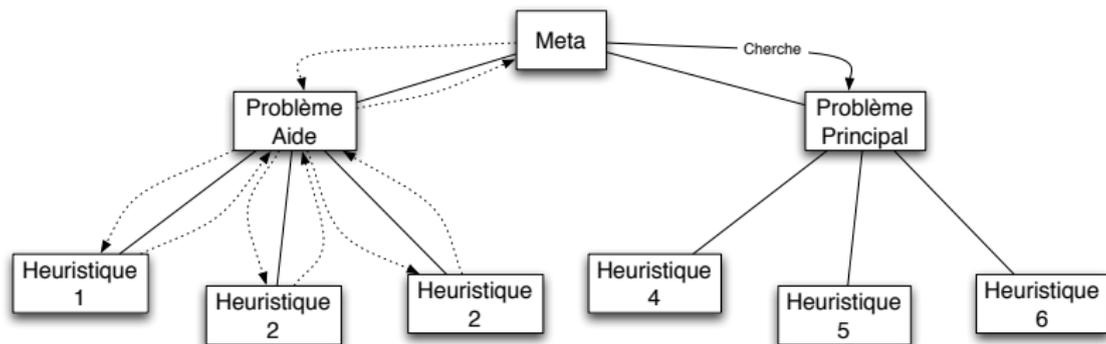
# Interaction entre problèmes

On peut parfois chercher un problème “plus facile” dont on pense qu’il aidera à la résolution.



# Interaction entre problèmes

On peut parfois chercher un problème “plus facile” dont on pense qu’il aidera à la résolution.



# Interaction entre l'utilisateur et le système

Point

# Interaction entre l'utilisateur et le système

Point  $\rightarrow_{simulation}$  Comportement

# Interaction entre l'utilisateur et le système

Point  $\rightarrow_{simulation}$  Comportement  $\rightarrow_{evaluation}$  Valeur

# Interaction entre l'utilisateur et le système

Point  $\rightarrow_{simulation}$  Comportement  $\rightarrow_{evaluation}$  Valeur  
Permet de formuler deux objectifs :

# Interaction entre l'utilisateur et le système

Point  $\rightarrow_{simulation}$  Comportement  $\rightarrow_{evaluation}$  Valeur

Permet de formuler deux objectifs :

- Une valeur maximale  
**optimisation**

# Interaction entre l'utilisateur et le système

Point  $\rightarrow_{simulation}$  Comportement  $\rightarrow_{evaluation}$  Valeur

Permet de formuler deux objectifs :

- Une valeur maximale  
**optimisation**
- Un comportement le plus proche possible d'une référence  
fournie par l'utilisateur  
**imitation**

# Interaction entre l'utilisateur et le système

Point  $\rightarrow_{simulation}$  Comportement  $\rightarrow_{evaluation}$  Valeur

Permet de formuler deux objectifs :

- Une valeur maximale  
**optimisation**
- Un comportement le plus proche possible d'une référence  
fournie par l'utilisateur  
**imitation**

## Nouveau problème d'aide potentiel

Chercher à imiter un comportement fourni pour aider la recherche principale.

## Résumé des synergies

- Synergie d'heuristiques : l'intérêt de la communication des progrès globaux par la distinction entre :
  - mode concurrent
  - mode parallèle

## Résumé des synergies

- Synergie d'heuristiques : l'intérêt de la communication des progrès globaux par la distinction entre :
  - mode concurrent
  - mode parallèle
- Synergie de problèmes : l'intérêt d'un problème pour la résolution d'un autre par la comparaison avec :

## Résumé des synergies

- Synergie d'heuristiques : l'intérêt de la communication des progrès globaux par la distinction entre :
  - mode concurrent
  - mode parallèle
- Synergie de problèmes : l'intérêt d'un problème pour la résolution d'un autre par la comparaison avec :
  - Problème principal seul

## Résumé des synergies

- Synergie d'heuristiques : l'intérêt de la communication des progrès globaux par la distinction entre :
  - mode concurrent
  - mode parallèle
- Synergie de problèmes : l'intérêt d'un problème pour la résolution d'un autre par la comparaison avec :
  - Problème principal seul
  - Problème principal puis problème principalEst-ce vraiment plus facile ?

## Résumé des synergies

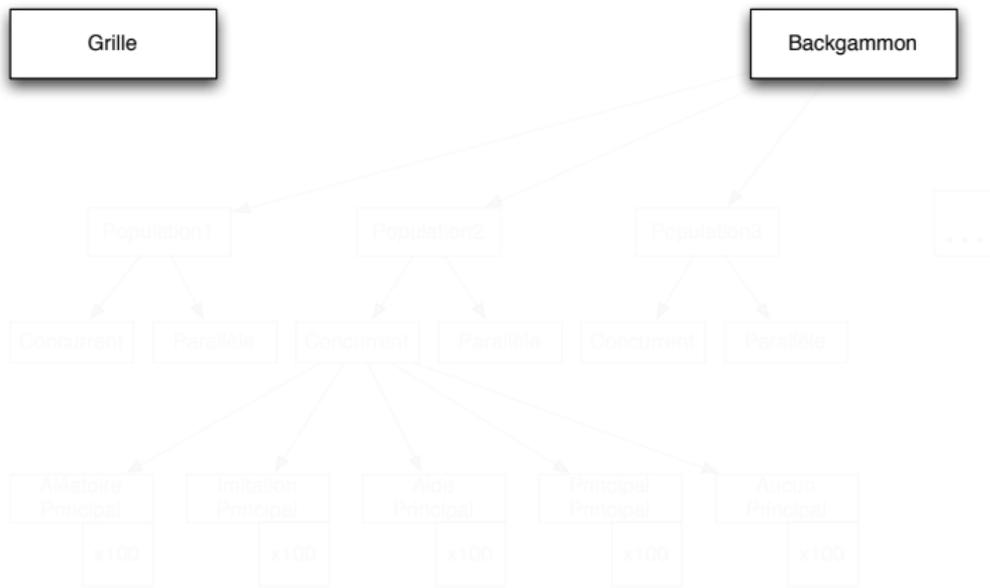
- Synergie d'heuristiques : l'intérêt de la communication des progrès globaux par la distinction entre :
  - mode concurrent
  - mode parallèle
- Synergie de problèmes : l'intérêt d'un problème pour la résolution d'un autre par la comparaison avec :
  - Problème principal seul
  - Problème principal puis problème principal  
Est-ce vraiment plus facile ?
  - Aléatoire puis problème principal  
Est-ce que c'est vraiment le problème qui aide ?

## Résumé des synergies

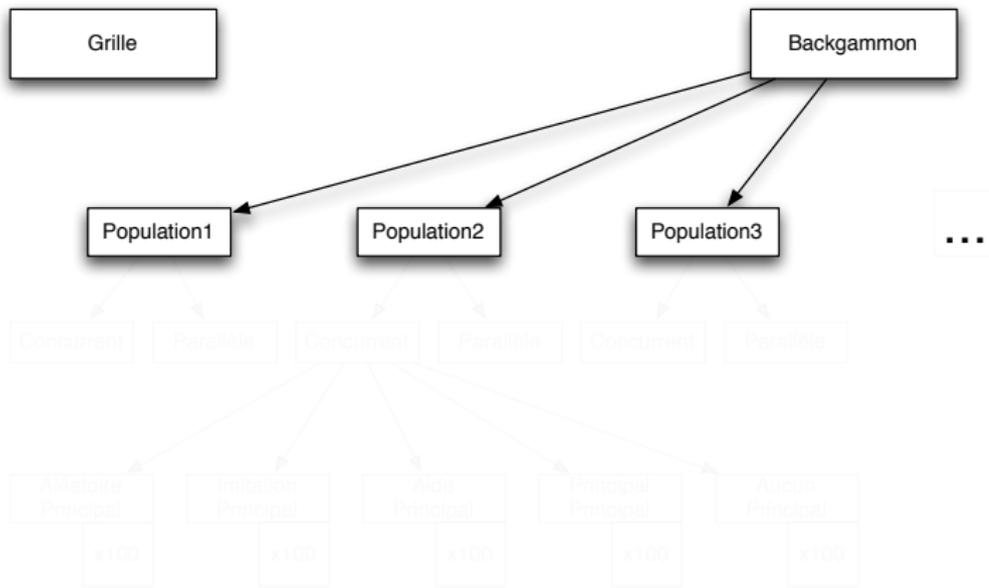
- Synergie d'heuristiques : l'intérêt de la communication des progrès globaux par la distinction entre :
  - mode concurrent
  - mode parallèle
- Synergie de problèmes : l'intérêt d'un problème pour la résolution d'un autre par la comparaison avec :
  - Problème principal seul
  - Problème principal puis problème principal  
Est-ce vraiment plus facile ?
  - Aléatoire puis problème principal  
Est-ce que c'est vraiment le problème qui aide ?
- Synergie agents/utilisateur : l'intérêt de l'imitation pour l'optimisation.

- 1 Introduction
- 2 Triple restriction
- 3 Synergies**
  - Observation expérimentale
  - Modèles pour l'émergence
- 4 Contribution et perspectives

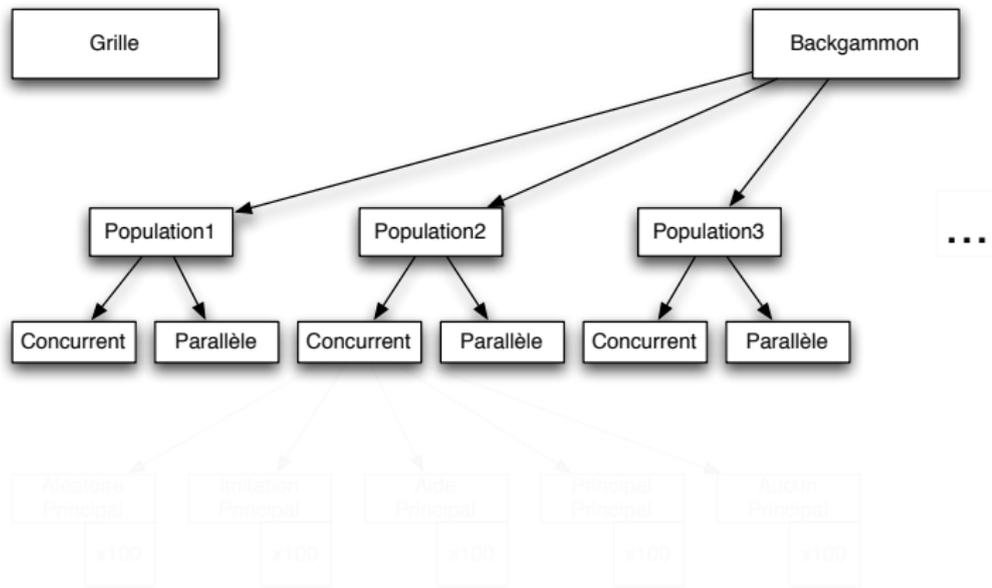
# Déroulement des expérimentations



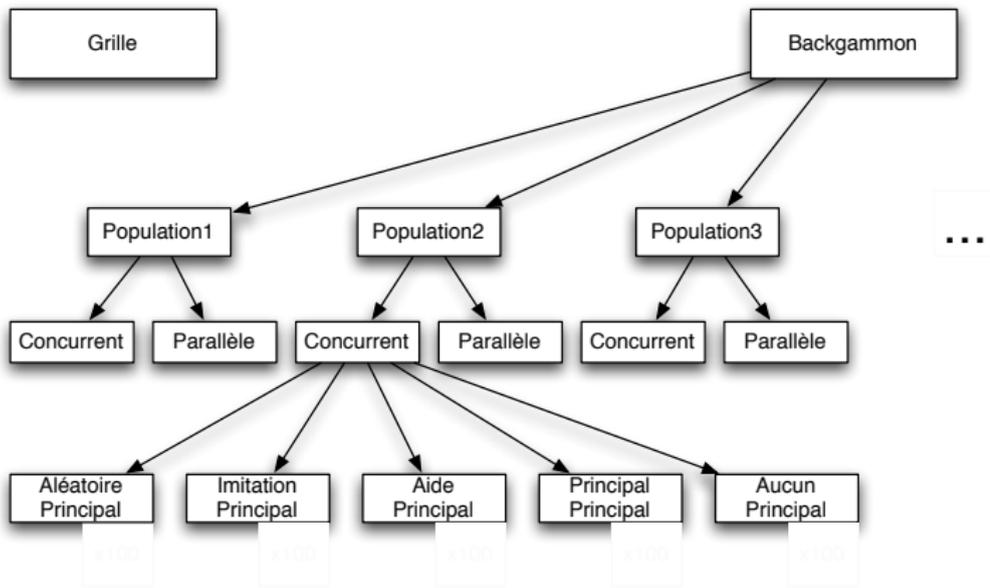
# Déroulement des expérimentations



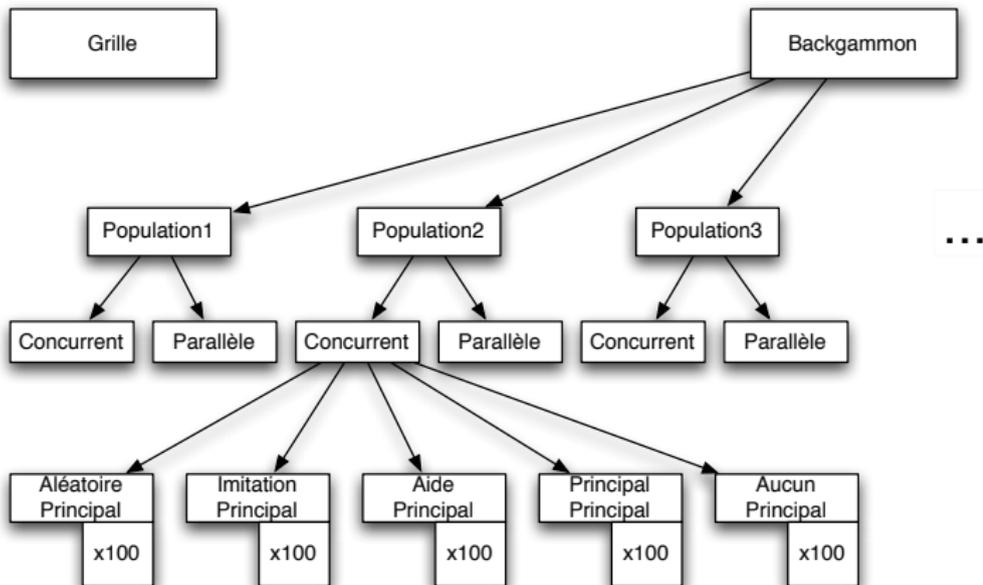
# Déroulement des expérimentations



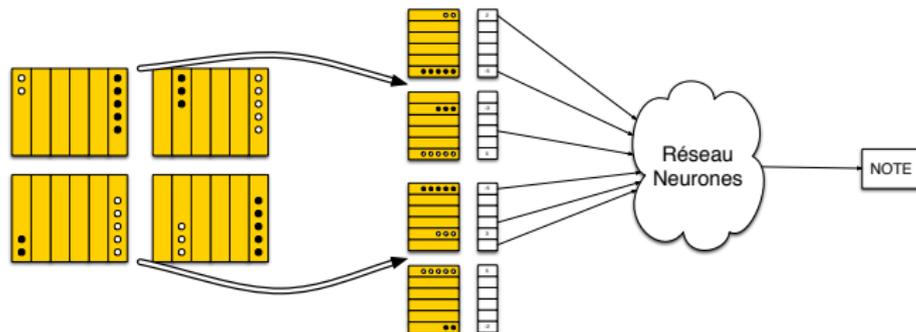
# Déroulement des expérimentations



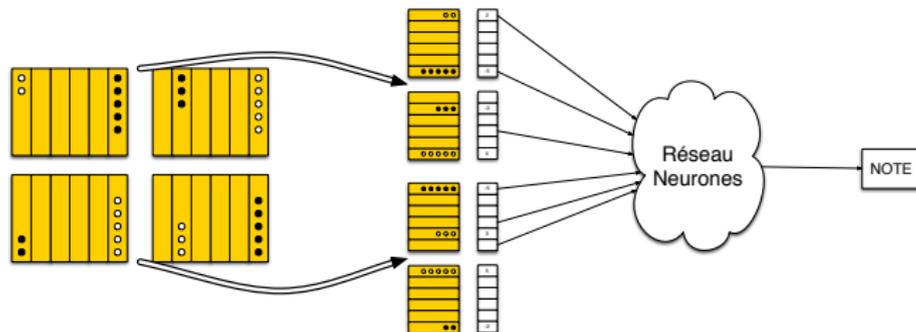
# Déroulement des expérimentations



## Illustration sur le backgammon

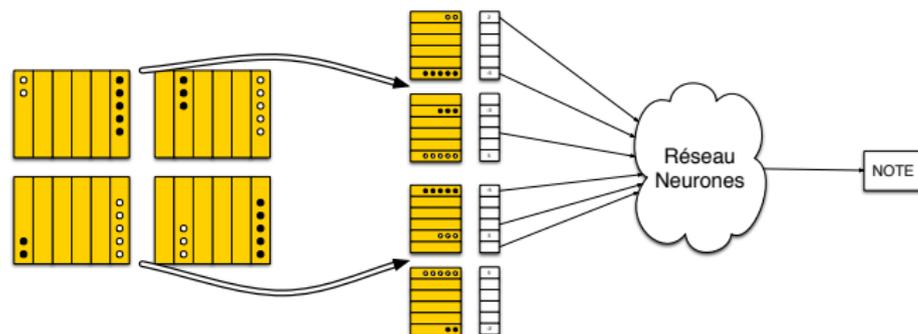


## Illustration sur le backgammon



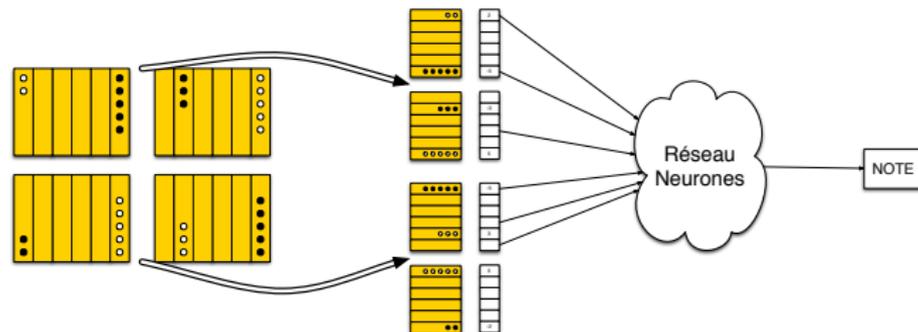
Problème : gagner le plus de rencontres sur 7 contre un étalon.

## Illustration sur le backgammon



Problème : gagner le plus de rencontres sur 7 contre un étalon.  
Problèmes d'aide :

## Illustration sur le backgammon

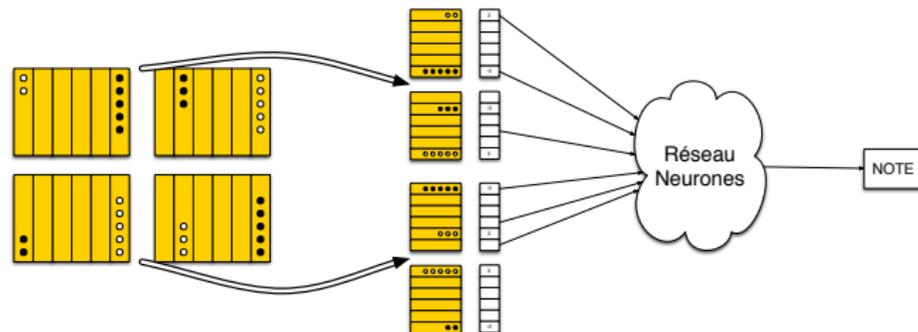


Problème : gagner le plus de rencontres sur 7 contre un étalon.

Problèmes d'aide :

- La distance au gain  
"Même si je perds tout le temps, est-ce que je perds mieux?"

## Illustration sur le backgammon

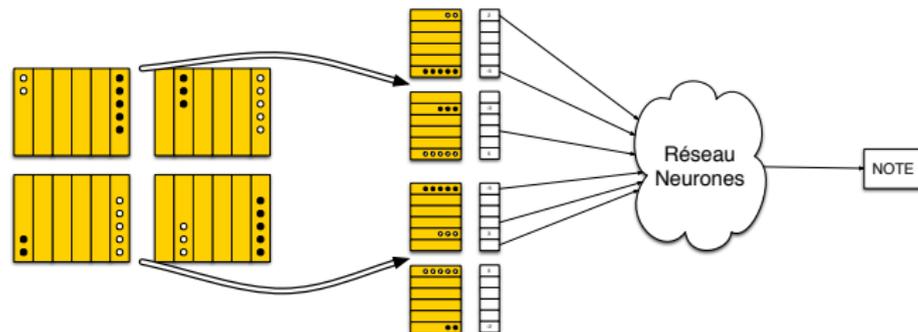


Problème : gagner le plus de rencontres sur 7 contre un étalon.

Problèmes d'aide :

- La distance au gain  
"Même si je perds tout le temps, est-ce que je perds mieux?"
- Gagner ou alors réduire la distance

## Illustration sur le backgammon

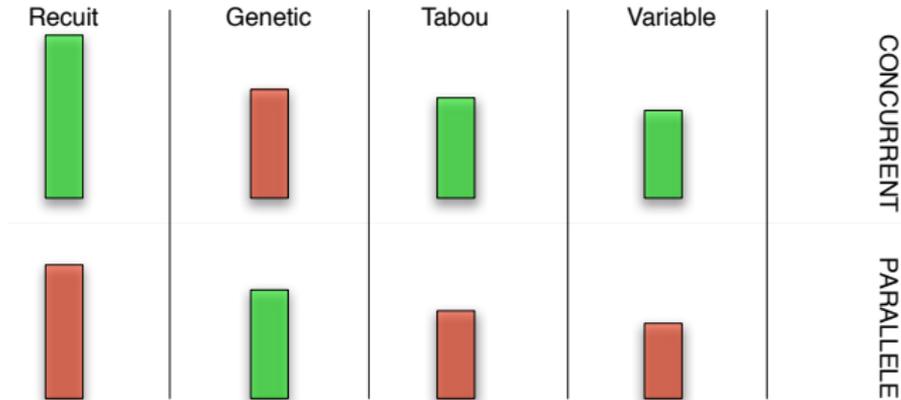


Problème : gagner le plus de rencontres sur 7 contre un étalon.

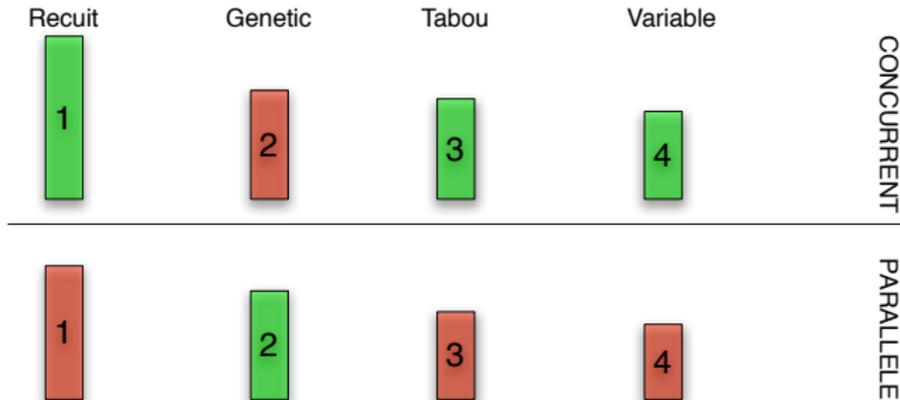
Problèmes d'aide :

- La distance au gain  
“Même si je perds tout le temps, est-ce que je perds mieux ?”
- Gagner ou alors réduire la distance
- Imiter un joueur qui gagne

# Résultats backgammon : heuristiques



# Résultats backgammon : heuristiques



# Résultats backgammon : problèmes

## Classements entre les combinaisons de problèmes

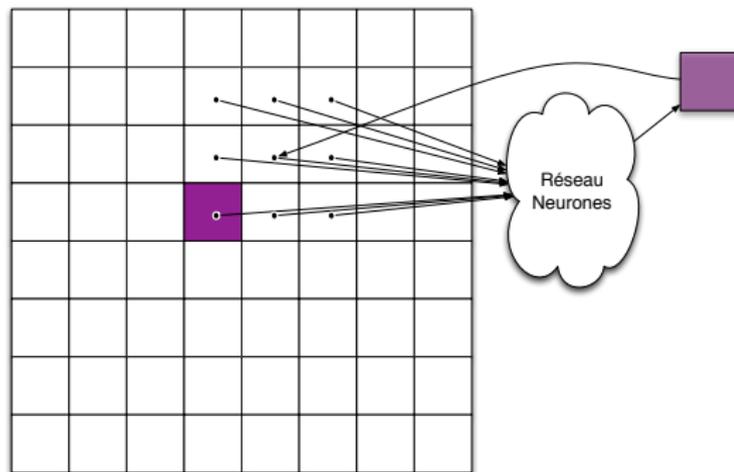


# Résultats backgammon : problèmes

## Classements entre les combinaisons de problèmes



## Illustration sur la diffusion de gradient

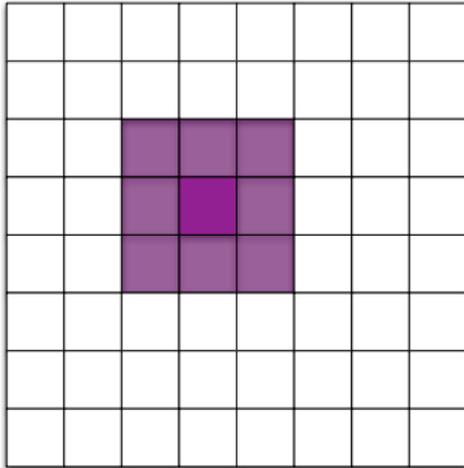


Problème : diffuser un gradient localisant une source.

Problèmes d'aide :

- Diffuser un gradient sur la moitié du scénario principal
- Imiter un comportement de référence

## Illustration sur la diffusion de gradient

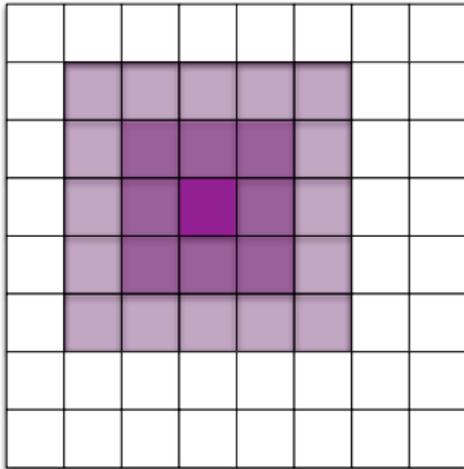


Problème : diffuser un gradient localisant une source.

Problèmes d'aide :

- Diffuser un gradient sur la moitié du scénario principal
- Imiter un comportement de référence

## Illustration sur la diffusion de gradient

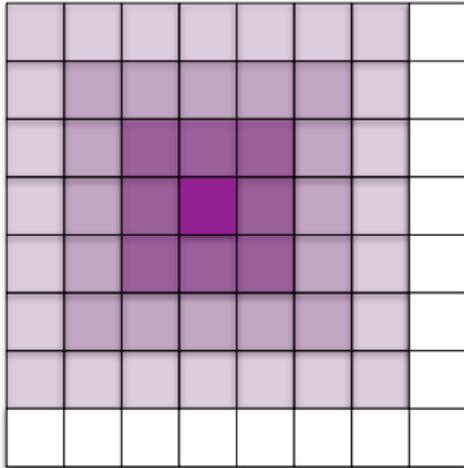


Problème : diffuser un gradient localisant une source.

Problèmes d'aide :

- Diffuser un gradient sur la moitié du scénario principal
- Imiter un comportement de référence

## Illustration sur la diffusion de gradient

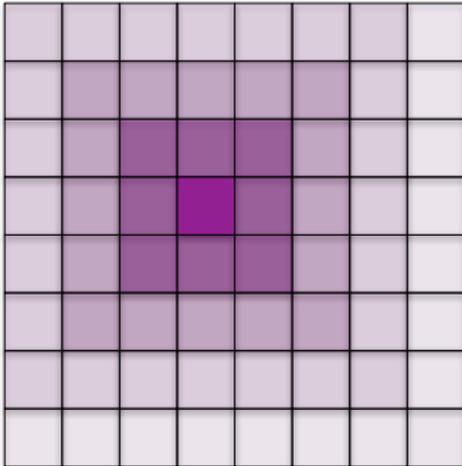


Problème : diffuser un gradient localisant une source.

Problèmes d'aide :

- Diffuser un gradient sur la moitié du scénario principal
- Imiter un comportement de référence

## Illustration sur la diffusion de gradient

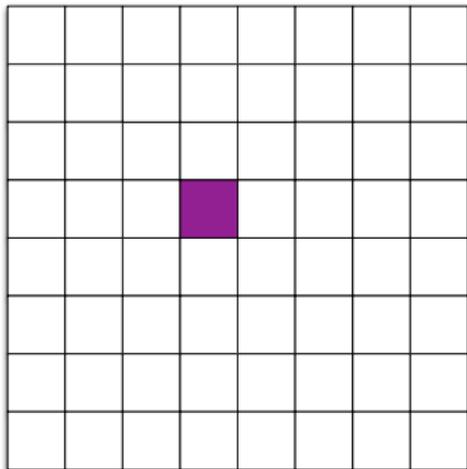


Problème : diffuser un gradient localisant une source.

Problèmes d'aide :

- Diffuser un gradient sur la moitié du scénario principal
- Imiter un comportement de référence

## Illustration sur la diffusion de gradient

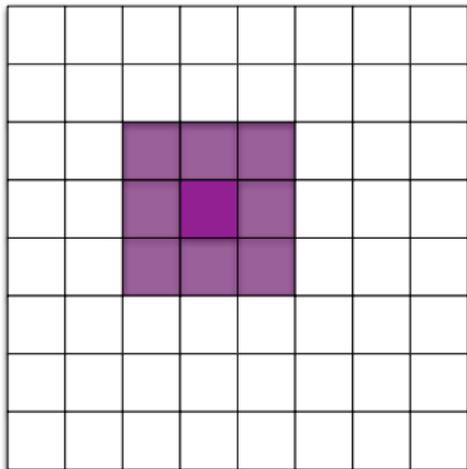


Problème : diffuser un gradient localisant une source.

Problèmes d'aide :

- Diffuser un gradient sur la moitié du scénario principal
- Imiter un comportement de référence

## Illustration sur la diffusion de gradient

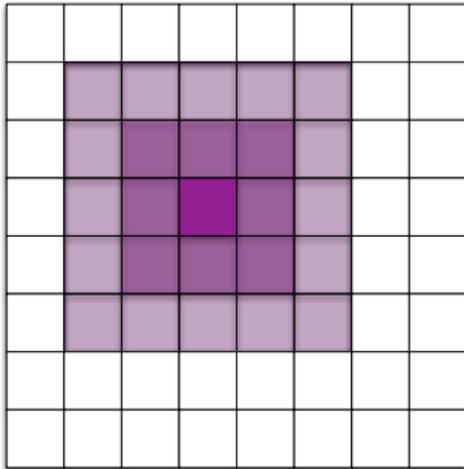


Problème : diffuser un gradient localisant une source.

Problèmes d'aide :

- Diffuser un gradient sur la moitié du scénario principal
- Imiter un comportement de référence

## Illustration sur la diffusion de gradient

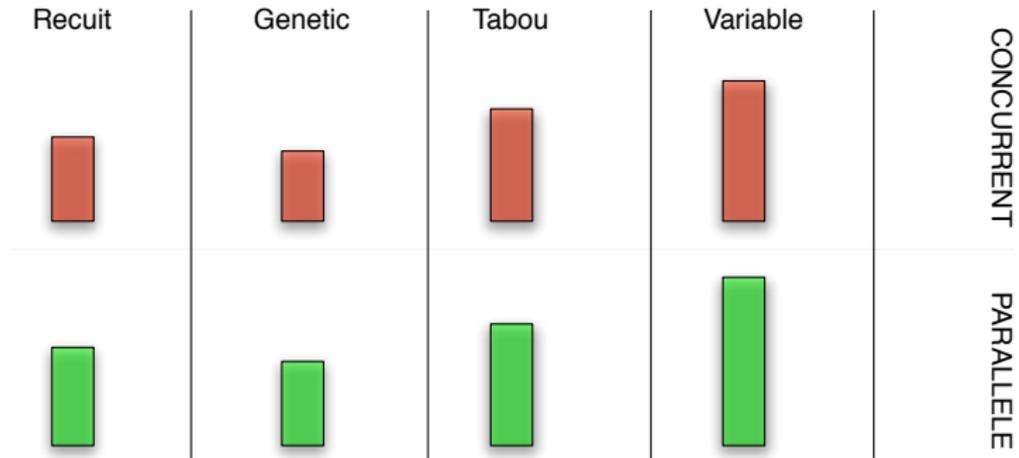


Problème : diffuser un gradient localisant une source.

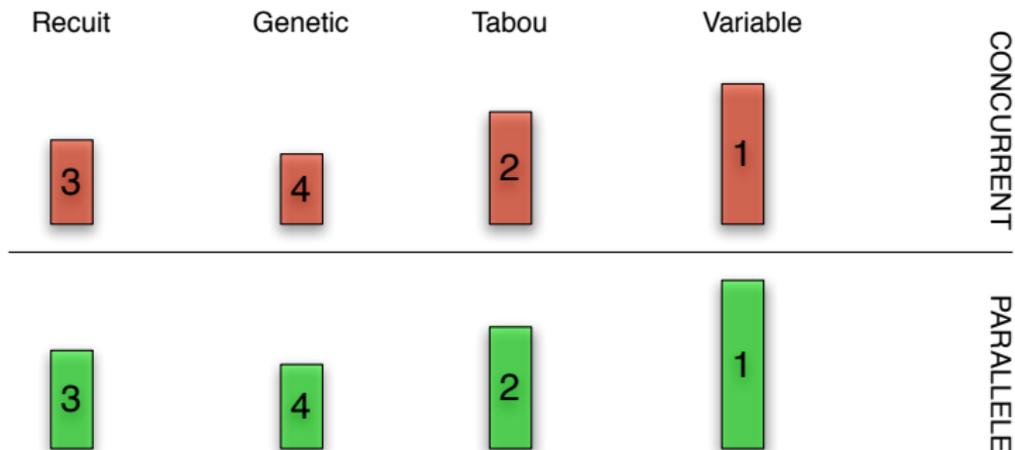
Problèmes d'aide :

- Diffuser un gradient sur la moitié du scénario principal
- Imiter un comportement de référence

# Résultats grille : heuristiques

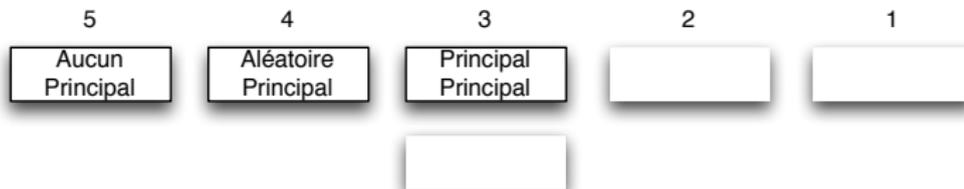


## Résultats grille : heuristiques



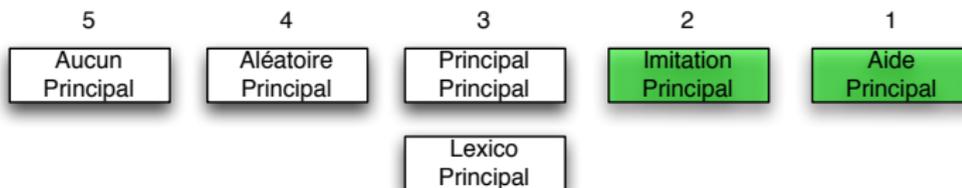
# Résultats grille : problèmes

## Classements entre les combinaisons de problèmes



## Résultats grille : problèmes

### Classements entre les combinaisons de problèmes



## Résumé des résultats

- Partager les progrès en cours de recherche peut améliorer la qualité de recherche : backgammon

## Résumé des résultats

- Partager les progrès en cours de recherche peut améliorer la qualité de recherche : backgammon
- Parfois ce partage handicape la recherche : grille

## Résumé des résultats

- Partager les progrès en cours de recherche peut améliorer la qualité de recherche : backgammon
- Parfois ce partage handicape la recherche : grille
- Une possibilité de caractérisation d'un problème par sa réaction au partage.

## Résumé des résultats

- Partager les progrès en cours de recherche peut améliorer la qualité de recherche : backgammon
- Parfois ce partage handicape la recherche : grille
- Une possibilité de caractérisation d'un problème par sa réaction au partage.

Backgammon concurrent

Grille parallèle

## Résumé des résultats

- Partager les progrès en cours de recherche peut améliorer la qualité de recherche : backgammon
- Parfois ce partage handicape la recherche : grille
- Une possibilité de caractérisation d'un problème par sa réaction au partage.

Backgammon concurrent

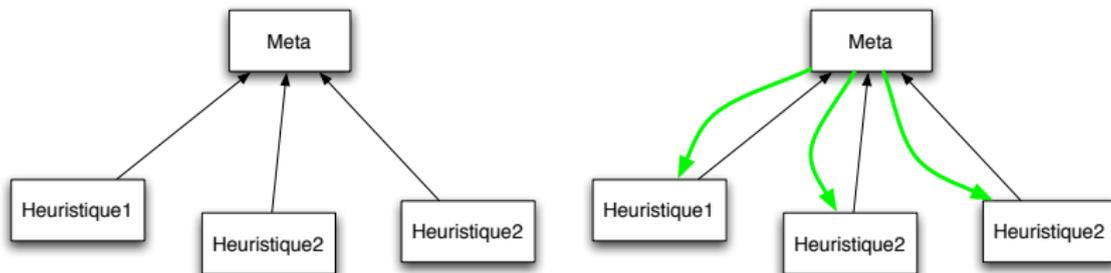
Grille parallèle

- Un problème n'aide pas toujours autant qu'on le pense.

- 1 Introduction
- 2 Triple restriction
- 3 Synergies**
  - Observation expérimentale
  - Modèles pour l'émergence
- 4 Contribution et perspectives

## Rétroaction positive ou négative

La rétroaction distingue les recherches parallèles et concurrentes :



- la distinction des deux cas se fait par l'interaction
- le caractère positif ou négatif apparaît **a posteriori**

## Vrai composite

La hiérarchie définit les **composites**

La nécessaire prise en compte des interactions les rend **vraiment**  
composites

## Vrai composite

La hiérarchie définit les composites

La nécessaire prise en compte des interactions les rend vraiment composites

## Vrai composite

La hiérarchie définit les composites

La nécessaire prise en compte des interactions les rend vraiment composites

*Some system features can be deduced [...] from the features of a,b,c ... just the way these are composed [...]  
But some [...] cannot be figured out just from the composition of the elements, [...] they have to be explained in terms of the causal interactions among the elements.*

## Vrai composite

La hiérarchie définit les composites

La nécessaire prise en compte des interactions les rend vraiment composites

*Some **system features** can be deduced [...] from the features of a,b,c ... just the way these are composed [...]  
But some [...] cannot be figured out just from the **composition** of the elements, [...] they have to be explained in terms of the **causal interactions** among the elements.*

## Vrai composite

La hiérarchie définit les composites

La nécessaire prise en compte des interactions les rend vraiment composites

*Some **system features** can be deduced [...] from the features of a,b,c ... just the way these are composed [...]  
But some [...] cannot be figured out just from the **composition** of the elements, [...] they have to be explained in terms of the **causal interactions** among the elements.*

*Let's call these **causally emergent system features**  
[Searle 1992]*

# Ce qui est émergent

Systeme ou produit du systeme ?

# Ce qui est émergent

Systeme ou produit du systeme ?

- 1 le systeme par comparaison avec des references moins collectives

# Ce qui est émergent

Systeme ou produit du systeme ?

- 1 le systeme par comparaison avec des references moins collectives
- 2 ce que produit ce systeme que les references ne produisaient pas

# Ce qui est émergent

Systeme ou produit du systeme ?

- ① le systeme par comparaison avec des references moins collectives
- ② ce que produit ce systeme que les references ne produisaient pas
- une recherche par une population d'heuristique synergique (gain d'interaction)

# Ce qui est émergent

Systeme ou produit du systeme ?

- 1 le systeme par comparaison avec des references moins collectives
  - 2 ce que produit ce systeme que les references ne produisaient pas
- une recherche par une population d'heuristique synergique (gain d'interaction)
  - une recherche entre deux problemes dont le gain est distingue de l'aleatoire et de la repetition

# Contribution et perspectives

- 1 Introduction
- 2 Triple restriction
- 3 Synergies
- 4 Contribution et perspectives
  - Contribution
  - Perspectives

# Contribution

- Caractérisation et observation de synergies dans un SMA de recherche

# Contribution

- Caractérisation et observation de synergies dans un SMA de recherche
  - Synergie de recherche observée sur le problème du Backgammon

# Contribution

- Caractérisation et observation de synergies dans un SMA de recherche
  - Synergie de recherche observée sur le problème du Backgammon
  - Synergie de problèmes observée sur les deux problèmes envisagés

# Contribution

- Caractérisation et observation de synergies dans un SMA de recherche
  - Synergie de recherche observée sur le problème du Backgammon
  - Synergie de problèmes observée sur les deux problèmes envisagés
- Une metaheuristique composite qui est un vrai composite

# Contribution

- Caractérisation et observation de synergies dans un SMA de recherche
  - Synergie de recherche observée sur le problème du Backgammon
  - Synergie de problèmes observée sur les deux problèmes envisagés
- Une metaheuristique composite qui est un vrai composite  
Un système composé qui doit être considéré comme un agent puisque sa composition ne suffit pas.

# Contribution

- Caractérisation et observation de synergies dans un SMA de recherche
  - Synergie de recherche observée sur le problème du Backgammon
  - Synergie de problèmes observée sur les deux problèmes envisagés
- Une metaheuristique composite qui est un vrai composite  
Un système composé qui doit être considéré comme un agent puisque sa composition ne suffit pas.
- Un modèle multi-agent pour la recherche heuristique  
Une vision agent des metaheuristiques, complémentaire de la vision habituelle

# Perspectives

- Évaluer d'autres critères que la qualité de la solution
  - nombre de messages échangés
  - longueur de la plus longue chaîne de messages

# Perspectives

- Évaluer d'autres critères que la qualité de la solution
  - nombre de messages échangés
  - longueur de la plus longue chaîne de messages
- Trouver automatiquement le meilleur assemblage (meta-recherche)

# Perspectives

- Évaluer d'autres critères que la qualité de la solution
  - nombre de messages échangés
  - longueur de la plus longue chaîne de messages
- Trouver automatiquement le meilleur assemblage (meta-recherche)
- D'autres problèmes : SAT, coloration de graphes

# Merci de votre attention

## Vos questions ?

Revue :

**COMPLEXUS** Elements about the emergence issue, a survey of emergence definitions

**Prévu pour TAAS** Multi-agent systems and metaheuristics synergies in search

Conférences :

**CEEMAS** A complexity feature to support emergence in MAS

**WEIN** Emergence and software development based on a survey of emergence definitions

**ESAW** Engineering emergence through enhanced heuristic search

**Soumis à SASO** Synergies in a multi-agent system for heuristic search

**Prévu pour IAT** A multi-agent platform for metaheuristics