

# MODÉLISATION ET GESTION DE FLUX PAR SYSTÈME MULTIAGENTS :

Application à un système d'aide à la  
décision en épidémiologie

Présenté par Alexandre WEBER  
(alexandre.weber@ec-lille.fr)

# SOMMAIRE

- **Partie I : Concepts de la modélisation / simulation**
  - I.1 Système et modèle
  - I.2 Systèmes complexes et émergence
  - I.3 Systèmes Multi-Agents
- **Partie II : Gestion de Flux par Système Multi-Agents**
  - II.1 Application en épidémiologie
  - II.2 Modélisation
  - II.3 Simulation et validation
- **Partie III : Monitoring de Simulation Orientée Agents**
  - III.1 Optimisation et métaheuristiques
  - III.2 Méthodologie : simplexe et méta-système
  - III.3 Procédures de test et résultats
- **Partie IV : Conclusion et perspectives**

# Première Partie

- **Partie I : Concepts de la modélisation / simulation**

- 1.1 Système et modèle
- 1.2 Systèmes complexes et émergence
- 1.3 Systèmes Multi-Agents

- **Partie II : Gestion de Flux par Système Multi-Agents**

- II.1 Application en épidémiologie
- II.2 Modélisation
- II.3 Simulation et validation

- **Partie III : Monitoring de Simulation Orientée Agents**

- III.1 Optimisation et métaheuristiques
- III.2 Méthodologie : simplexe et méta-système
- III.3 Procédures de test et résultats

- **Partie IV : Conclusion et perspectives**

# I. MODÉLISATION ET SIMULATION

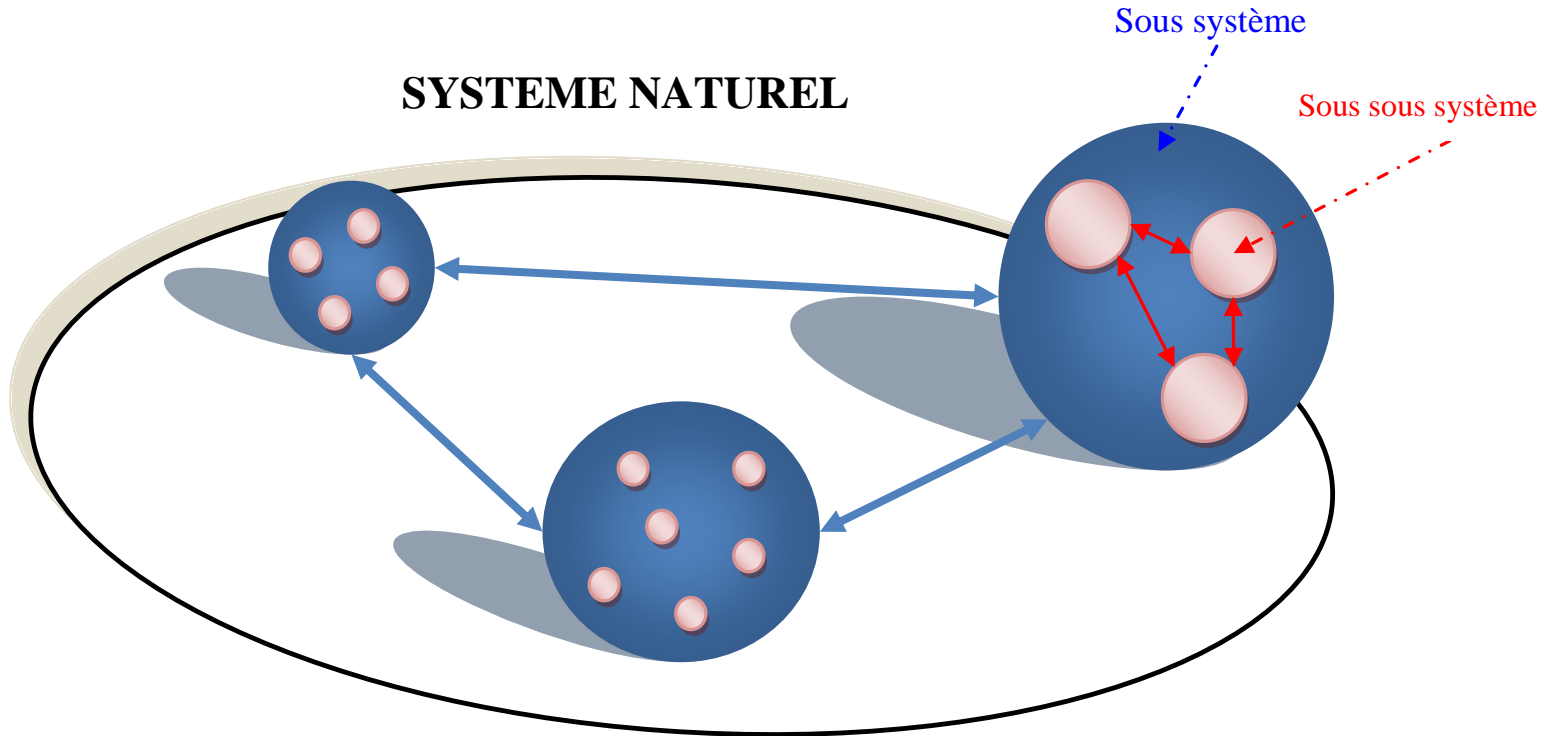
Concepts et Outils

# I.1 SYSTÈME ET MODÈLE

Limites des méthodes usuelles

# SYSTÈME

## SYSTEME NATUREL

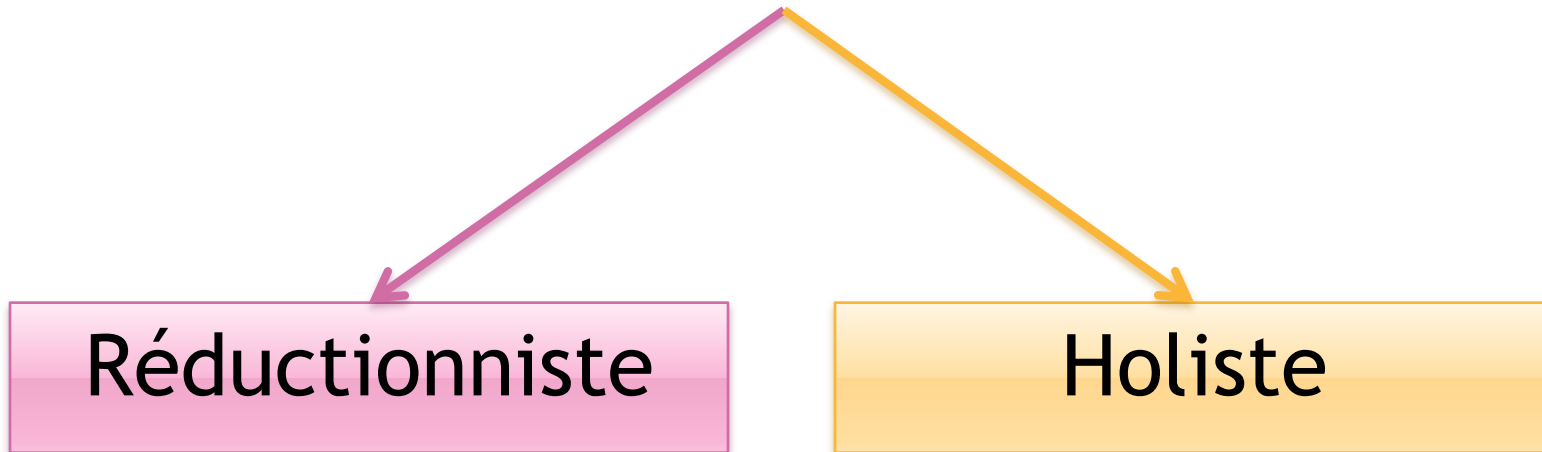


# MODÈLE : CONCEPT

- ◉ Image simplifiée, abstraction de la réalité
- ◉ Construit à partir d'une question
- ◉ Choix du niveau d'abstraction
- ◉ Choix du niveau de détail

# MODÈLE : MÉTHODES ANALYTIQUES

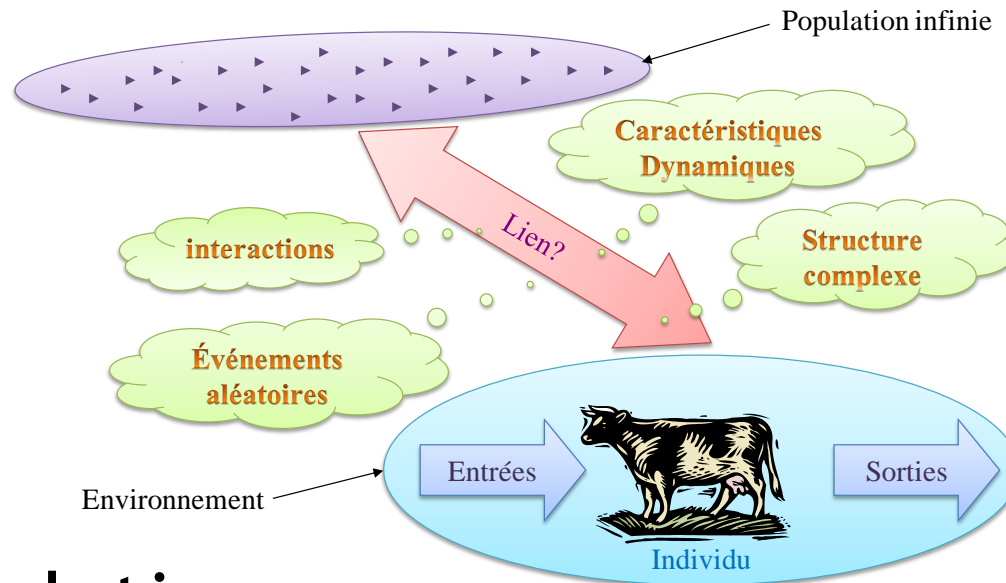
Deux points de vue



Le *réductionnisme* est le principe d'explication d'un phénomène par une seule de ses composantes

Le *holisme* considère chaque phénomène comme un tout.

# VERS UNE MODÉLISATION PAR SIMULATION



## Simulation :

- Evolution d'une abstraction au cours du temps
- Comprendre le comportement du système
- Appréhender ses caractéristiques dynamiques
- Permet d'évaluer différentes décisions



# I.2 SYSTÈME COMPLEXE ET ÉMERGENCE

L'exemple des systèmes naturels

# SYSTÈME COMPLEXE : DÉFINITION

« *Le tout est plus que la somme de ses parties* »

## Systemes naturels

- Représenter et intégrer un grand nombre d'informations simultanées
- Synthétiser les conséquences de l'interaction d'une quantité importante d'éléments

Evolution peu prédictible

Évaluer les effets de ces interactions

## Systemes complexes

Ensemble considérable d'entités et d'interactions

Évolution de l'organisation du système

# LES INSECTES SOCIAUX : PROBLÉMATIQUE

Génèrent des comportements de groupe complexes



Intelligence collective



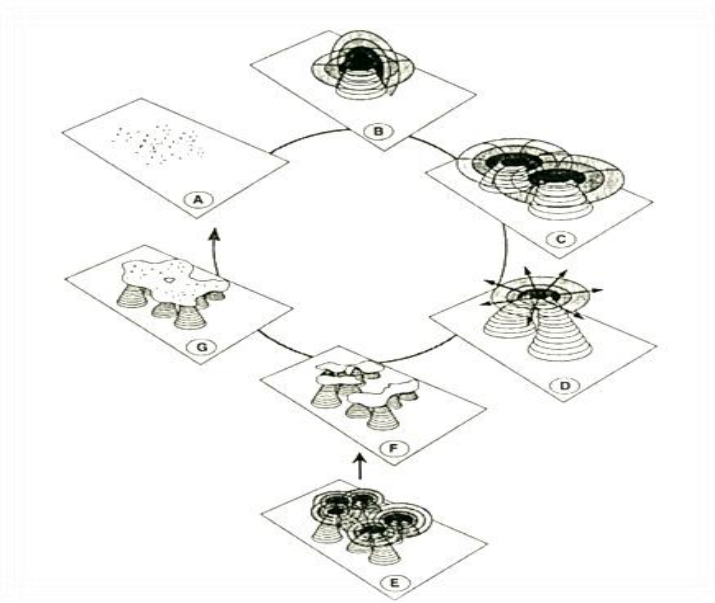
Division du travail ?

Entité supérieure ?

Comment expliquer l'*émergence* d'une capacité cognitive collective alors que les aptitudes de chaque entité prise individuellement semblent très limitées ?

# LES INSECTES SOCIAUX : EXEMPLE

## ○ Les termites



Le « complexe » peut naître du « simple »

Auto-organisation et émergence

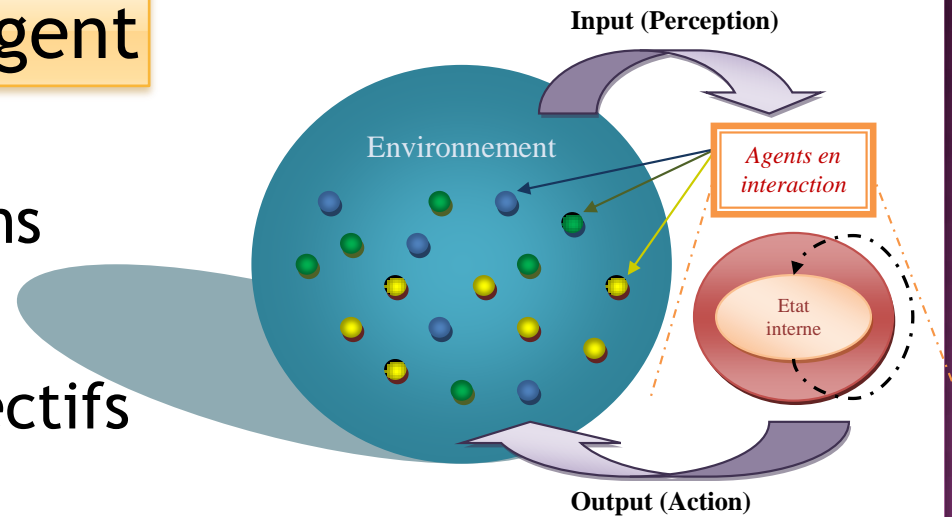
# I.3 LES SYSTÈMES MULTI-AGENTS

Intelligence Artificielle Distribuée

# SMA : CONCEPTS ET DÉFINITION

## Notion d'agent

- Multitude de définitions
- « Entité qui agit »
- Gouverné par des objectifs  
⇒ Autonome
- Perception de son environnement
- Comportement social
- Différentes granularités



# LIMITES DES SMA

Difficulté de dissocier les SMA de leur domaine d'application

SMA  $\neq$  Simulation Orientée Agents

Difficulté de mettre en place une simulation qui corresponde aux besoins

Difficulté de valider les résultats obtenus

# Deuxième Partie

- **Partie I : Concepts de la modélisation / simulation**
  - I.1 Système et modèle
  - I.2 Systèmes complexes et émergence
  - I.3 Systèmes Multi-Agents
- **Partie II : Gestion de Flux par Système Multi-Agents**
  - II.1 Application en épidémiologie
  - II.2 Modélisation
  - II.3 Simulation et validation
- **Partie III : Monitoring de Simulation Orientée Agents**
  - III.1 Optimisation et métaheuristiques
  - III.2 Méthodologie : simplexe et méta-système
  - III.3 Procédures de test et résultats
- **Partie IV : Conclusion et perspectives**

## II. GESTION DE FLUX PAR SOA

Du concept à l'application

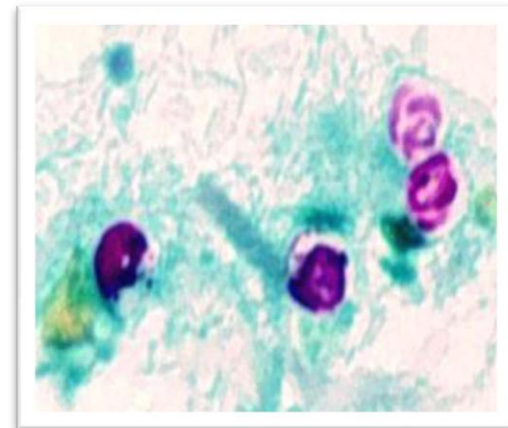
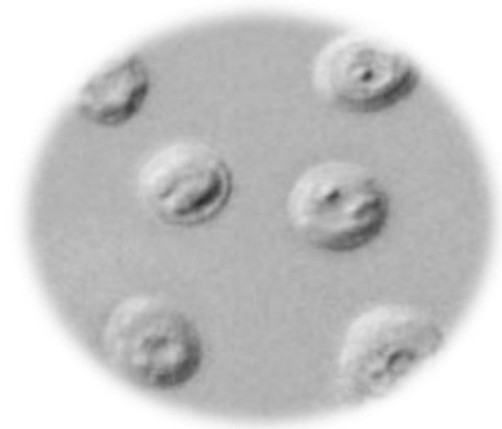


# II.1 APPLICATION EN ÉPIDÉMIOLOGIE

Le contexte du problème

# L'APPLICATION : *CRYPTOSPORIDIUM*

- Protozoaire parasite intestinal
- Maladie intestinale grave chez l'homme et les mammifères domestiques
- Touche particulièrement les individus immunodéprimés
- Contamination par voie féco-orale
- Véhiculé par l'eau



# MODE DE CONTAMINATION

- Eau contaminée
- Denrées souillées
- Contacts étroits
  - entre animaux
  - homme - animal
- Conditions d'hygiène
- Rôle des insectes ?



## II.2 MODÉLISATION

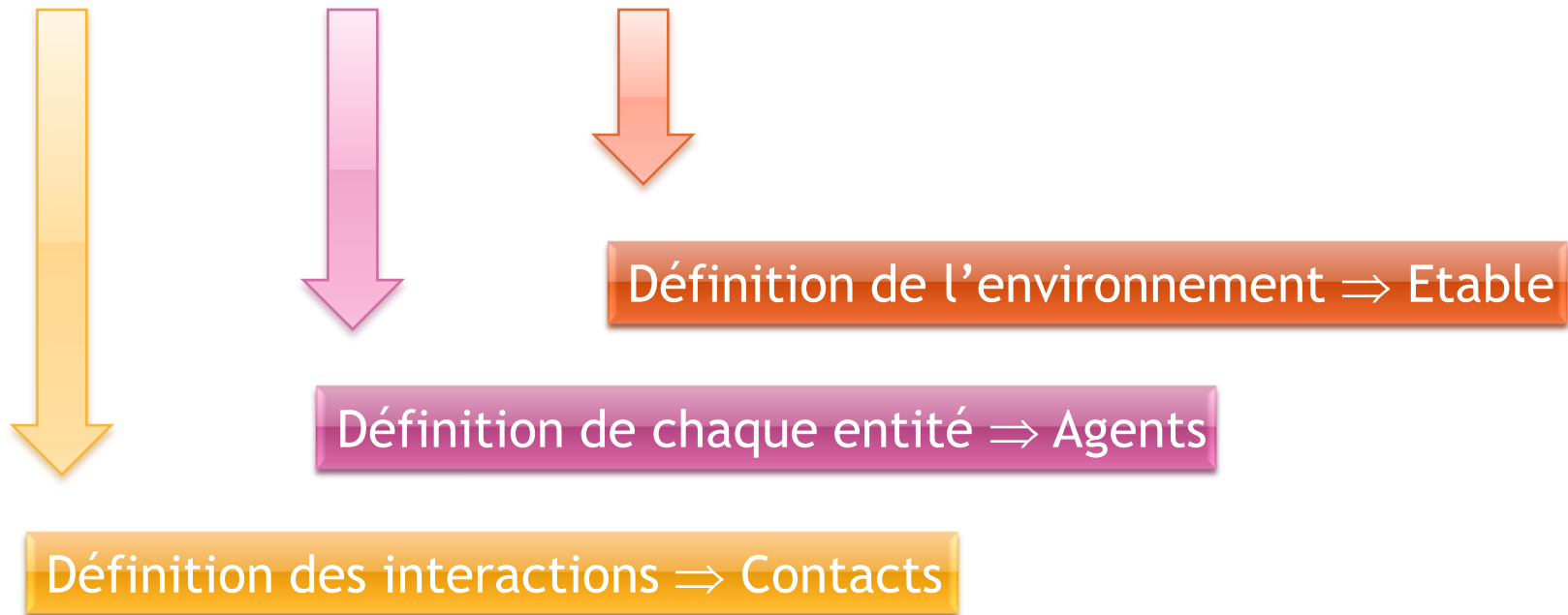
Circulation de *Cryptosporidium*

# LES RAISONS DE CE PROJET

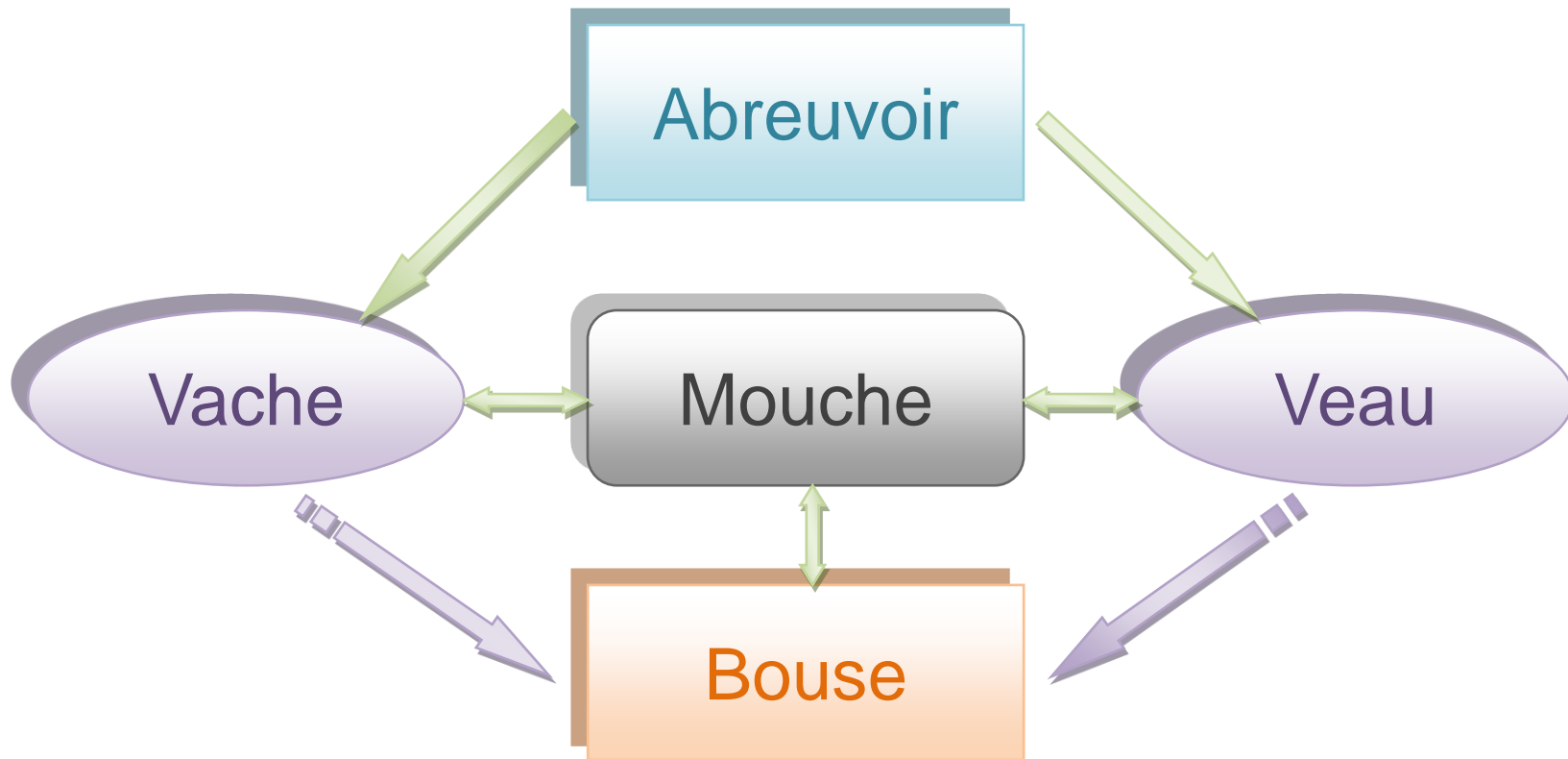
- ◉ Santé publique et environnement
- ◉ Pertes économiques dans les élevages
- ◉ Rôle complémentaire à la biologie moléculaire
- ◉ Simulation d'épisodes d'infection auprès de populations d'hôtes (animales ou humaines)

# CONCEPTION

- ◉ Choix d'une étude sur les bovins
- ◉ SMA  $\Rightarrow$  lois comportementales locales



# AGENTS ET INTERACTIONS



# CAS CONCRET : LA VACHE

- Détermination du nombre d'oocystes viables infectieux initial
- Détermination du déclenchement de la maladie
- Détermination si la dose ingérée est létale
- Evolution du nombre d'oocystes présents chez les bovins
- Détermination de la mort de la vache
- Détermination de la guérison de la vache
- La vache défèque



# II.3 SIMULATION ET VALIDATION

Les scenarii

# MISE EN PLACE DES SCENARII

## Trois types de scénario



- Variation des caractéristiques des entités composant le système
  - Variations des oocystes
  - Variation de l'état d'immunocompétence ( $0 > EIC > 1$ )

# RÉSULTATS

## ⊙ Contamination de tout le troupeau

- « Bruit de fond » chez les vaches
- Doses mortelles chez les veaux

## ⊙ Rôle déterminant de l'EIC

- Contamination et développement parasitaire
- Détermination d'un seuil

## ⊙ Mouches = vecteurs mécaniques

# SOA ET GESTION DE FLUX

- Validation du comportement qualitatif du modèle
- SOA applicable à de nombreux domaines
- Intérêts  $\Rightarrow$  3 points principaux :
  - Génération de phénomènes émergents
  - Description « naturelle » du système
  - Flexibilité
- Limitations  $\Rightarrow$  3 caractéristiques délicates :
  - Niveaux détail / abstraction par rapport aux objectifs
  - Demande importante en ressources informatiques
  - Stochasticité  $\rightarrow$  entrées variables = sorties variables

Difficulté d'analyser les résultats obtenus

# Troisième Partie

- Partie I : Concepts de la modélisation / simulation

- 1.1 Système et modèle
- 1.2 Systèmes complexes et émergence
- 1.3 Systèmes Multi-Agents

- Partie II : Gestion de Flux par Système Multi-Agents

- II.1 Application en épidémiologie
- II.2 Modélisation
- II.3 Simulation et validation

- Partie III : Monitoring de Simulation Orientée Agents

- III.1 Optimisation et métaheuristiques
- III.2 Méthodologie : simplexe et méta-système
- III.3 Procédures de test et résultats

- Partie IV : Conclusion et perspectives

# MONITORING DE SOA

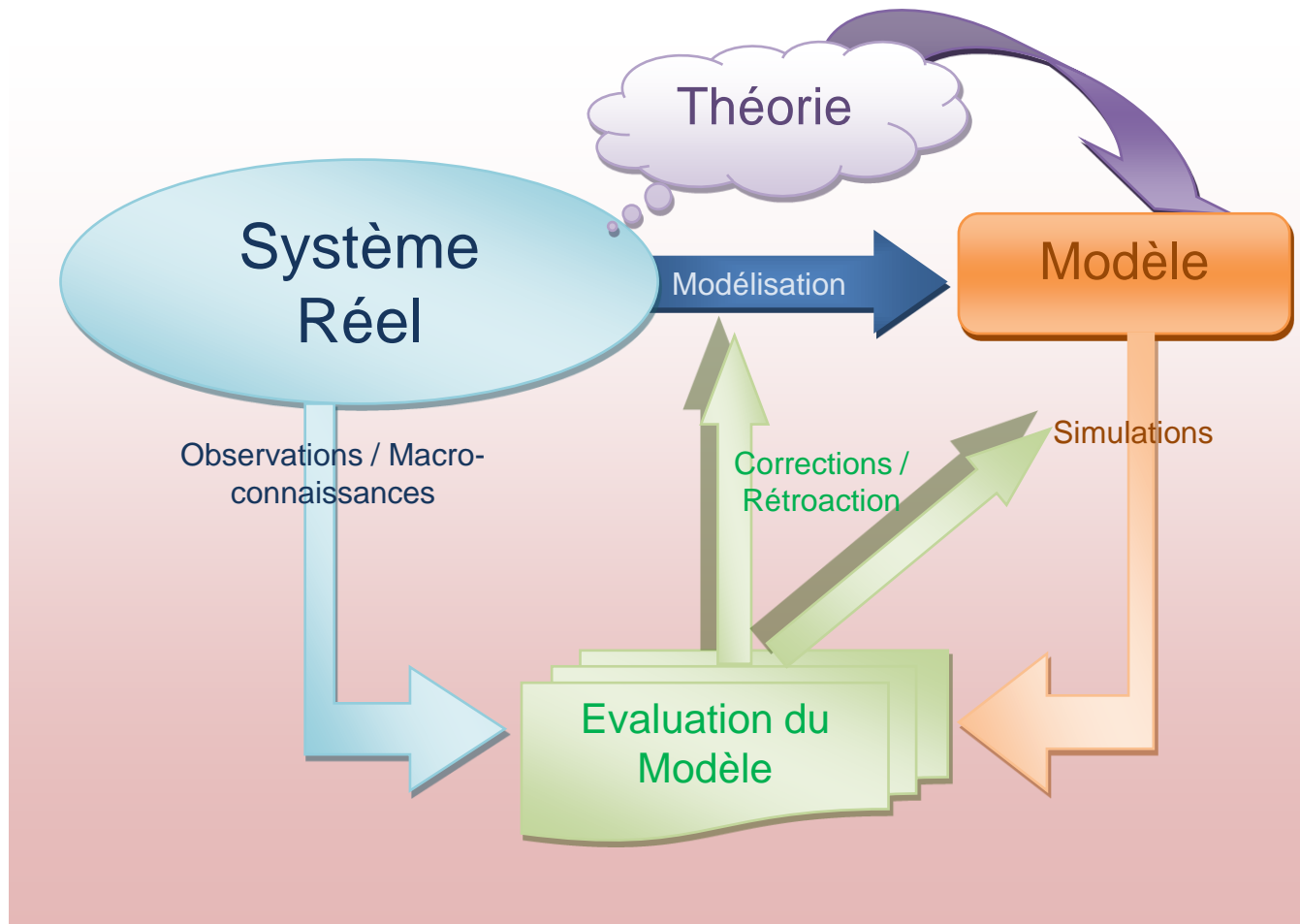
De la simulation à l'aide à la décision

# III.1 OPTIMISATION ET MÉTAHEURISTIQUES

Concepts

# LA DÉMARCHE

- S'apparente à la démarche de l'esprit humain face à un problème particulier



# DES SOA VERS L'AIDE À LA DÉCISION

Prendre une décision = une démarche pragmatique régie par des règles déterminées

Choix à effectuer dans le but d'optimiser la situation

But = Atteindre la *solution optimale*

Maximiser ou minimiser (optimiser) une *fonction objectif*

Concepts de **Métaheuristique**



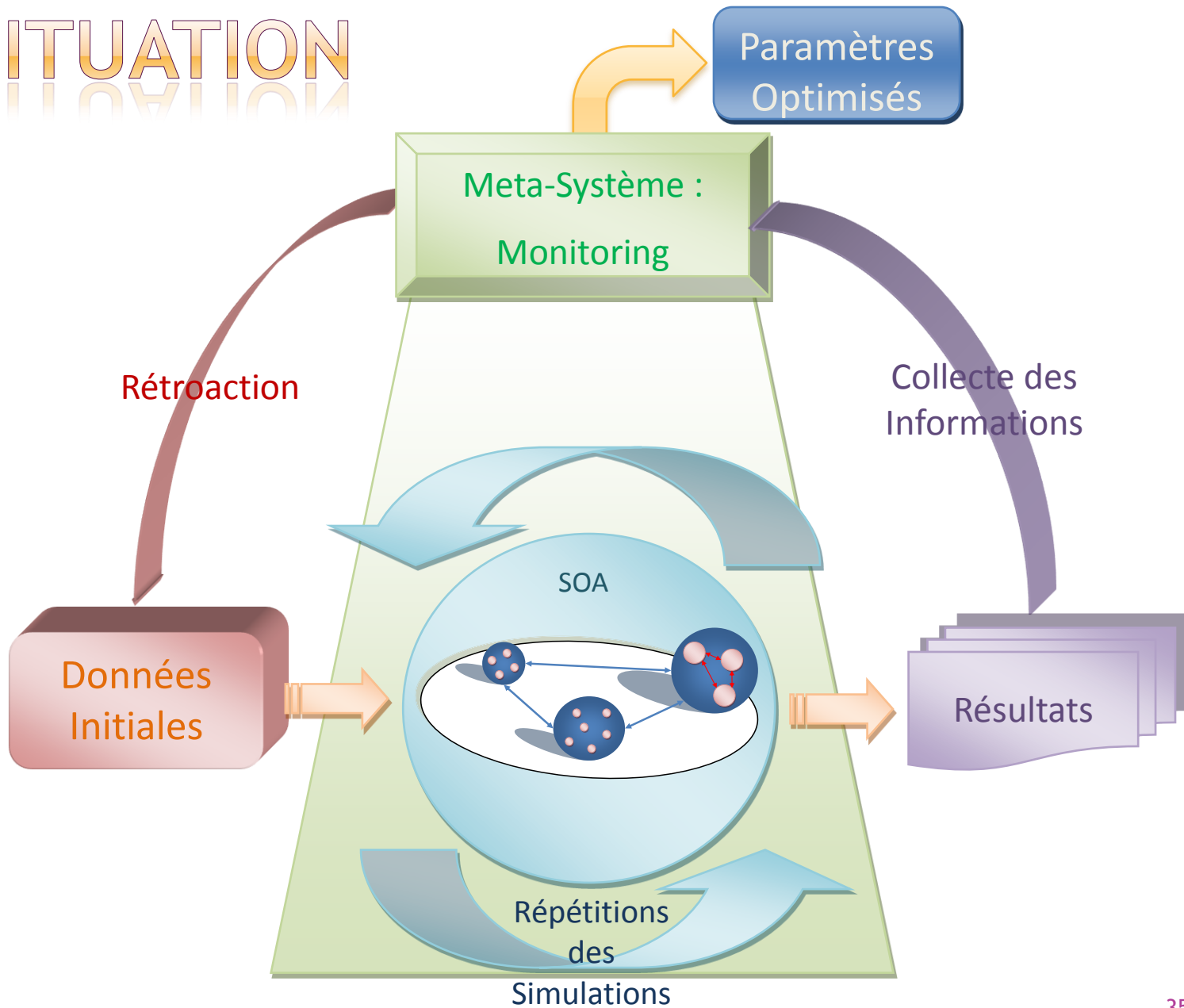
# MÉTAHEURISTIQUE

- Algorithme itératif d'optimisation
- Echantillonnage d'une fonction objectif (adaptable)
  - Fonction objectif décrit la qualité de la solution trouvée dans l'espace de recherche limité par un ensemble de contraintes
- Recherche de la meilleure solution
  - Augmentation progressive de la qualité de la solution jusqu'à atteindre un critère d'arrêt
  - Compromis entre vitesse et précision  $\Rightarrow$  approximation
- Différents degrés de complexité
- Adaptable à une large gamme de problèmes

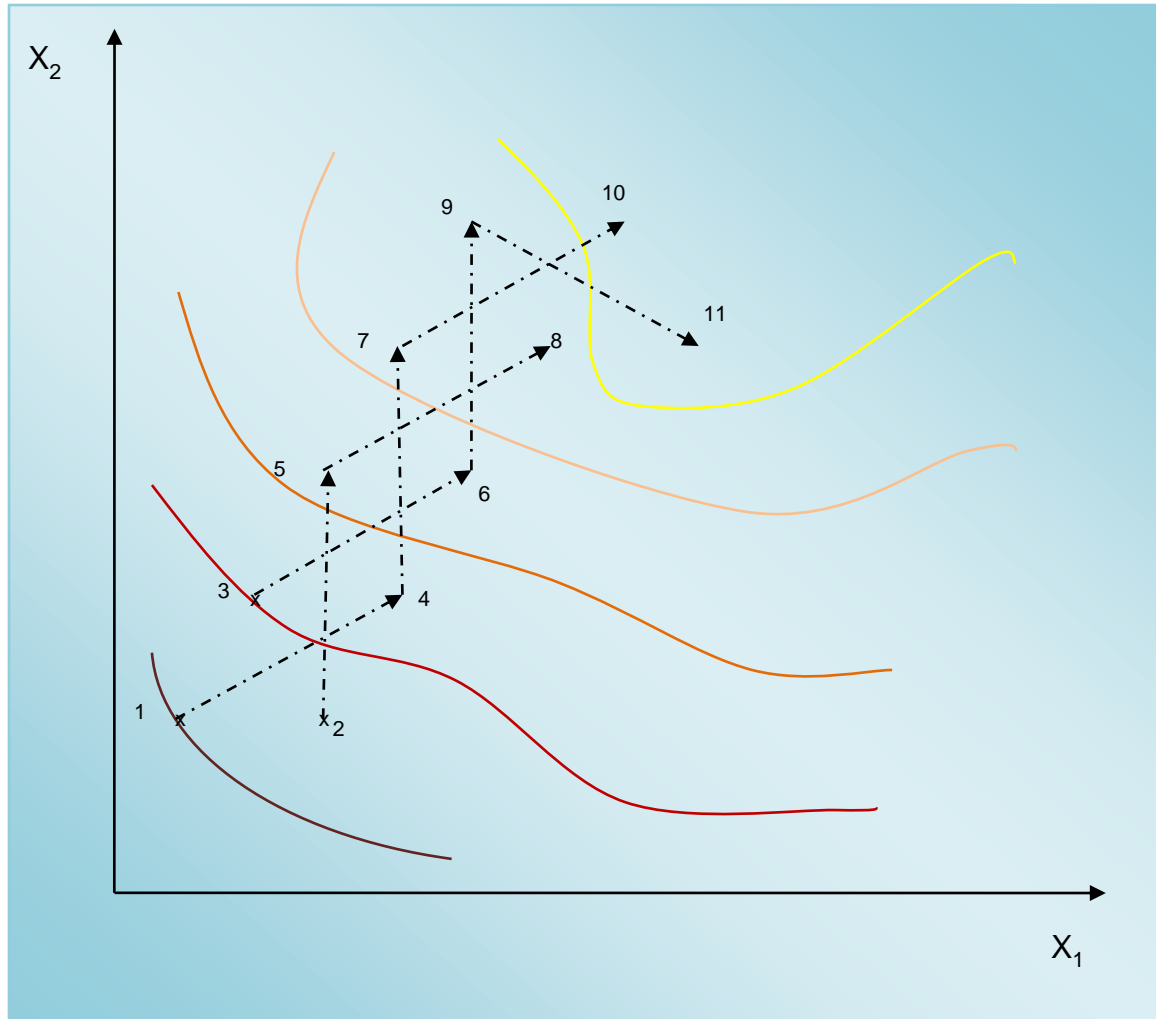
# III.2 APPLICATION AU MONITORING DE SOA

Simplexe et méta-système

# SITUATION



# LA MÉTHODE : PRINCIPE DU SIMPLEXE



# APPLICATION AU MODÈLE

## ◉ Fonction objectif

- Minimiser le nombre de parasites présents en moyenne dans l'organisme des bovins

## ◉ Trois facteurs significatifs = trois critères :

- Contamination de l'eau
- Nombre de mouches
- Fréquence de nettoyage dans l'étable

## ◉ Etude d'un cas intuitif

- Conforter les hypothèses faites dans la partie II
- Outil d'aide à la décision autonome

# III.3 RÉSULTATS

Les méta-scenarii

# PROCÉDURE DE TEST

## 4 types de méta-scenario

Méta-scenario A

Basé sur les scénarii de la partie II

Méta-scenario B

Variation du nombre d'individus et de l'EIC

Méta-scenario C

Variation de la position du simplexe de départ

Méta-scenario D

Variation du vecteur initial (veau externe)

# RÉSULTATS

## Méta-scénario A

Importance de l'eau puis de l'hygiène  $\Rightarrow$  le nombre de mouches a peu d'importance si ces deux facteurs sont maîtrisés (Effet de « palier »)

## Méta-scénario B

Le nombre d'individus:

- n'influence pas la prédominance du facteur « eau »;
- = plus de déjections  $\Rightarrow$  influence plus marquée de la fréquence de nettoyage

Si EIC faible, pandémie inévitable...

## Méta-scénario C

Influence positive d'une bonne configuration de départ = Importance d'un entretien régulier.  
A nouveau prédominance de l'eau. Notion de palier très visible pour les mouches et la fréquence.

## Méta-scénario D

Importance de déterminer le vecteur principal d'infection dans l'efficacité d'une action corrective



# CONCLUSION SUR LE MONITORING

- Le méta-système joue son rôle d'aide à la décision
  - Optimisation du nombre de parasites en circulation
  - Emergence des facteurs prédominants en fonction de différentes configurations de départ
  
- Confirmation de la partie II + Hypothèses quant aux actions à mettre en œuvre :
  - Contamination de l'eau = facteur de plus grand poids
  - Hygiène = facteur clé pour la pérennisation du système

# Quatrième Partie

- **Partie I : Concepts de la modélisation / simulation**
  - 1.1 Système et modèle
  - 1.2 Systèmes complexes et émergence
  - 1.3 Systèmes Multi-Agents
- **Partie II : Gestion de Flux par Système Multi-Agents**
  - II.1 Application en épidémiologie
  - II.2 Modélisation
  - II.3 Simulation et validation
- **Partie III : Monitoring de Simulation Orientée Agents**
  - III.1 Optimisation et métaheuristiques
  - III.2 Méthodologie : simplexe et méta-système
  - III.3 Procédures de test et résultats
- **Partie IV : Conclusion et perspectives**

# CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Générales

# CONCLUSION GÉNÉRALE

- Concepts de la modélisation / simulation
  - Système et modèle
  - Système complexe et émergence
  - SMA et SOA
- Application
  - Gestion de flux en épidémiologie
  - Modélisation
  - Simulation et validation
- Monitoring de SOA
  - Optimisation et méta-heuristiques
  - Méthodologie : simplexe et méta-système
  - Procédures de test et résultats

# PERSPECTIVES CONCERNANT LA SOA

## L'environnement

Reproduction des mouches

Saisonnalité

Adaptabilité des paramètres

Représentation spatiale

## L'organisme des bovins

Etat d'ImmunoCompétence

Symptomatologie

## Aspects quantitatifs du modèle

# PERSPECTIVES CONCERNANT LE MÉTA-SYSTÈME

- Etude d'autres cas de monitoring
  - Influences d'autres facteurs
  - Augmenter le nombre et la pertinence des facteurs à optimiser
  - Changement de la fonction objectif / problématique
- Etude du méta-système sur des cas réels:
  - Tests à partir de données réelles
  - Validation des actions préconisées sur le terrain
- Etude dans d'autres domaines
  - Trafics
  - Acteurs économiques
  - Insectes sociaux
  - Etc...
- Amélioration du degré d'analyse
  - Analyse factorielle
  - Agentification
  - Data mining
  - Etc...