

La simulation à base d'agents



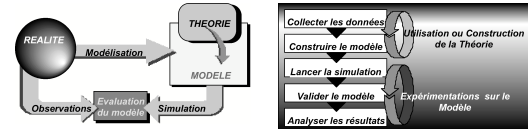
Guillaume Hutzler

IBISC (Informatique Biologie Intégrative et Systèmes Complexes)
LIS (Langage Interaction et Simulation)
prenom.nom@ibisc.univ-evry.fr
<http://www.ibisc.univ-evry.fr/~hutzler/Cours/SMA.html>

Introduction

Simulation (1)

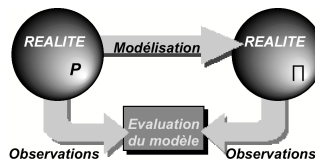
- Simuler: reproduire un phénomène afin de
 - Tester des hypothèses permettant d'expliquer le phénomène
 - Prévoir l'évolution du phénomène
- Toute simulation se base sur une **théorie** préalable



Introduction

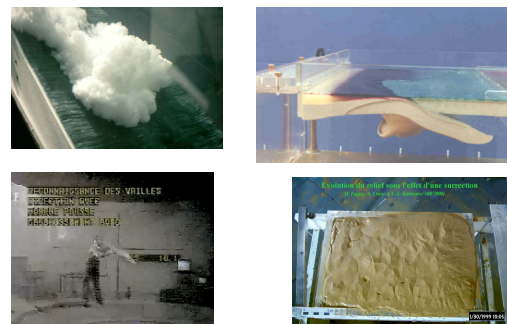
Simulation (2)

- Simulation analogique
 - Maquettes d'avions en soufflerie
 - Modèles homéostatiques électriques
 - Modèles climatologiques



Introduction

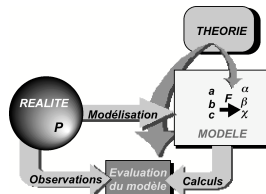
Exemples de modèles analogiques



Introduction

Simulation (3)

- Simulation numérique
 - théories mathématiques
 - introduction de phénomènes stochastiques (simulation de Monte-Carlo)



- Exemple: Lotka-Volterra (1926)

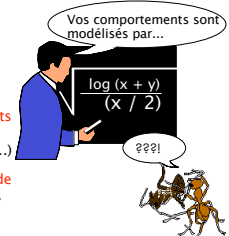
$$\frac{dN_1}{dt} = r_1 N_1 - P N_1 N_2 \quad \frac{dN_2}{dt} = a P N_1 N_2 - d_2 N_2$$

P : coefficient de prédation
N₁ et N₂ : effectifs des deux populations
a : efficacité avec laquelle les prédateurs convertissent la nourriture en descendance
r₁ : taux de fécondité des proies
d₂ : taux de mortalité des prédateurs.

Introduction

Limites des simulations classiques

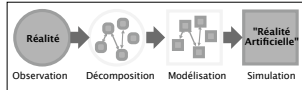
- Modèle équationnel à grand nombre de paramètres, différent des théories utilisées en biologie, sociologie, etc.
- Difficulté du **passage micro/macro**, impossibilité de représenter des niveaux différents.
- Pas de **représentation des comportements** mais de leurs résultats (nb de descendants, quantité de nourriture, etc.)
- Ne permet pas d'expliquer l'**émergence de structures** spatio-temporelles (ex: bancs de poissons, colonnes chez les fourmis)



Introduction

Simulation multi-agent (1)

- Créer un monde artificiel composé d'agents en interaction
- Trois composantes
 - les agents
 - les règles de comportement
 - l'environnement
- Les agents agissent et modifient l'environnement
- On observe le résultats de leurs interactions comme si l'on était dans un laboratoire (notion de **laboratoire virtuel**)



Introduction

Simulation multi-agent (2)

- Etude des sociétés humaines et naturelles
 - Possibilité de modéliser de façon isomorphe les objets d'études des sciences humaines et naturelles
 - Possibilité de choisir le niveau d'analyse du domaine, ainsi que de combiner plusieurs types d'expertise
 - Possibilité de modéliser les comportements, pas seulement leur résultante
- Apports pour la réalisation de sociétés d'agents artificiels
 - Possibilité d'étudier des modes d'organisation, des méthodes de résolution collective de problème existant dans la réalité
 - Possibilité de découvrir de nouvelles analogies, de nouvelles métaphores, qui ne soient pas simplement des métaphores «de surface»
 - pas inépuisables
 - difficiles de les enrichir car souvent intuitives
 - difficiles à opérationnaliser

Introduction

Simulation multi-agent (3)

- Autres dénominations
 - Simulation individu-centrée (Individual Based Modelling)
 - Agent-based Modelling
 - Simulation comportementale (behavioural simulation)
 - Simulation corpusculaire (physique)
- Références
 - "Growing Artificial Societies", Axtell et Epstein, 1996.
 - "Artificial Societies", Gilbert et al., 1993

Introduction

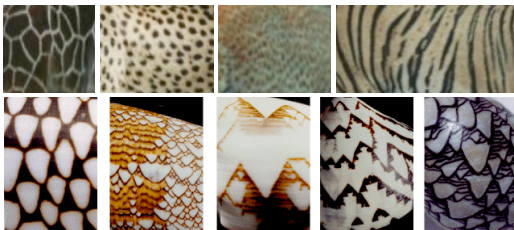
Simulation multi-agent (4)

- Caractéristiques fondamentales
 - Modélisation des actions et interactions **locales**
 - Modélisation de l'**espace**

Simulation multi-agent

Il est important de modéliser l'espace...

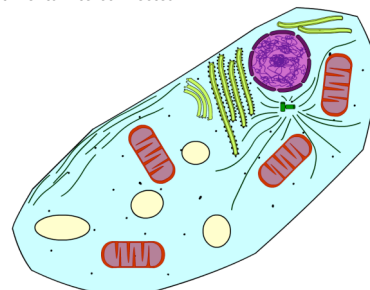
... parce que certains phénomènes complexes sont de nature spatiale



Simulation multi-agent

Il est important de modéliser l'espace...

... parce que certains phénomènes se produisent dans des compartiments interconnectés



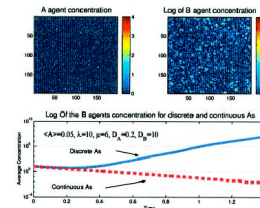
Il est important de modéliser l'espace...

... parce que certains systèmes sont le produit d'un processus de morphogenèse



Il est important de modéliser l'espace...

- ... parce que l'espace est hétérogène
 - Des interactions localisées ou un calcul global peuvent conduire à des dynamiques qualitativement différentes
 - « Dans des conditions où les équations continues prédisent l'extinction de la population, les individus s'auto-organisent en zones adaptatives spatio-temporellement localisées, ce qui assure leur survie et leur développement » [Shnerb et al., PNAS 2000]



Biologie – le projet MANTA [Drogoul 93 (LIP6)]

Simuler une fourmilière

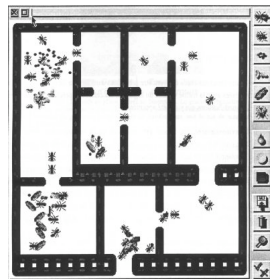
- étudier le comportement individuel des fourmis
- comprendre la dynamique globale de la fourmilière

Etudier les principes d'intelligence collective

- spécialisation
- répartition des tâches
- adaptation à un environnement changeant

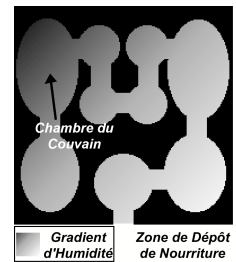
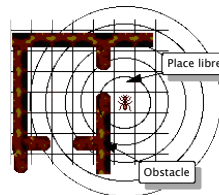
Concevoir des algorithmes distribués de résolution de pb

- tri collectif
- fourragement
- etc.



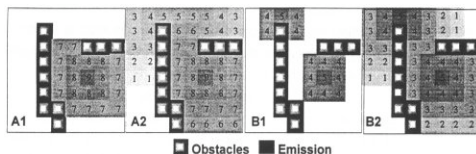
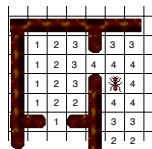
L'environnement (1)

- Elaboré d'après les nids en plâtre utilisés en laboratoire.
- A la fois espace topologique et medium de communication entre les agents

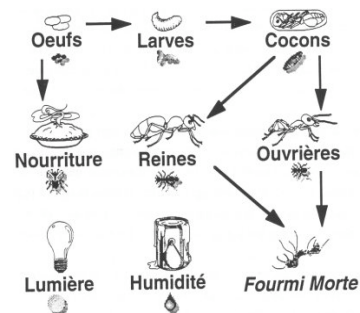


L'environnement (2)

- Chaque agent possède des stimuli qu'il propage sous forme de gradients dans l'environnement
- Les stimuli sont perçus et interprétés par les autres agents



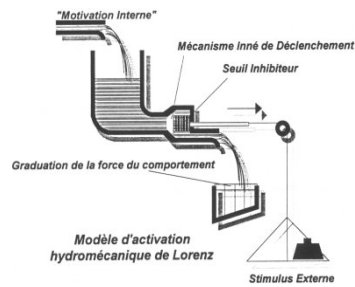
Les agents fourmis



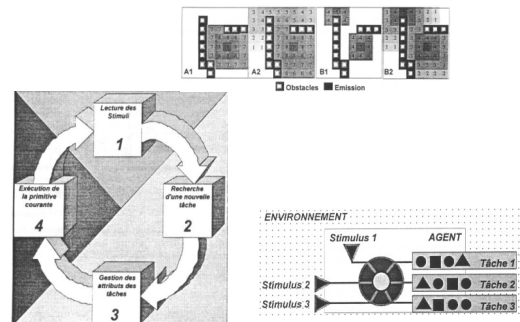
[Drogoul 93]

Modèle de comportement (1)

- Innate Releasing Mechanism (Konrad Lorenz ~50)
- Modèle d'activation de comportement

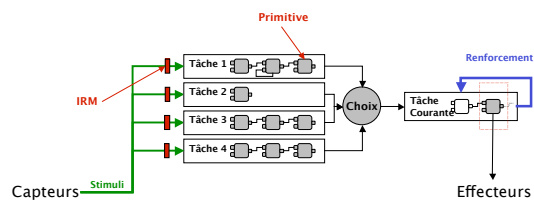


Modèle de comportement (2)

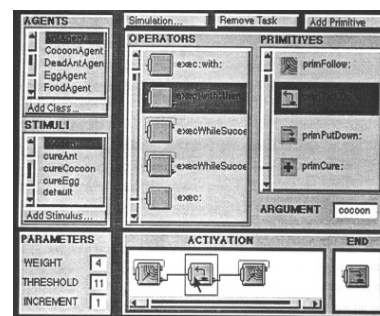


Modèle de comportement (3)

- Etho-Modelling Framework
 - Modèle **non hiérarchique** de sélection de tâches (*IRM + fixed action patterns*)



Programmation des comportements



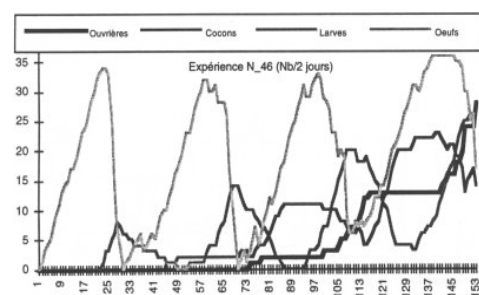
Tâches

- Les tâches des ouvrières sont au nombre de 15 (de 10 à 17 suivant les espèces)

Agents	Primitives
Eggs	Put Down...
Larvae	Pick Up...
Cocoon	Has Food ?
Ants	Follow/Flee...
Food	Eat
Humidity	Kill...
Light	Cure...

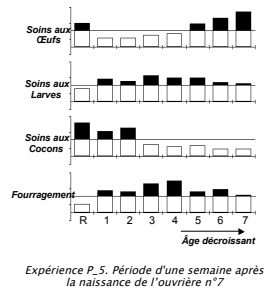
Propagateur	Stimulus	Séquence de Primitives	Interruption
move egg	move egg	move egg	
cure egg	cure egg	cure egg	
move larva	move larva	move larva	
cure larva	cure larva	cure larva	
hungry larva	hungry larva	hungry larva	
move cocoon	move cocoon	move cocoon	
cure cocoon	cure cocoon	cure cocoon	
ant	ant	ant	
kill ant	kill ant	kill ant	
kill egg	kill egg	kill egg	
kill larva	kill larva	kill larva	
kill cocoon	kill cocoon	kill cocoon	
kill ant	kill ant	kill ant	
kill egg	kill egg	kill egg	
kill larva	kill larva	kill larva	
kill cocoon	kill cocoon	kill cocoon	

Sociogénèse et dynamique des populations



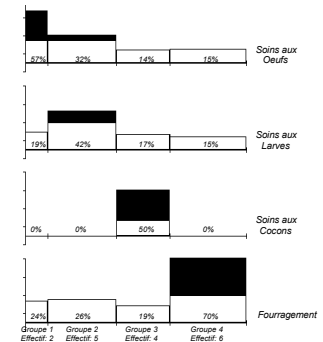
Division du travail (1)

- Différenciation des Profils Comportementaux Individuels (Exemple)
- Obtenue par l'analyse du comportement de chaque ouvrière et leur regroupement en catégories abstraites.
- Apparition d'un **polyéthisme d'âge** "émergent".



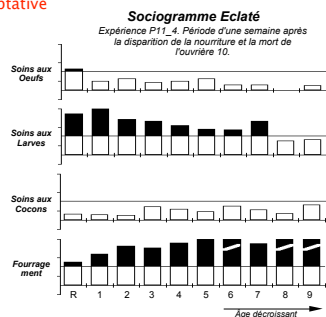
Division du travail (2)

- Répartition en groupes fonctionnels (exp. P_5, 17 individus)
- Structuration classique (pour E. Ruidum) en diagonale



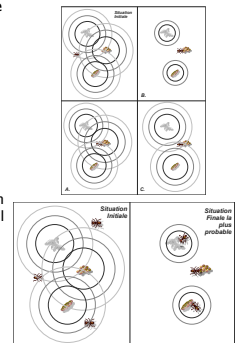
Division du travail (3)

- Obtention d'une structure sociale robuste et **adaptative**



Division du travail (4)

- Obtenue par un double processus de structuration (**feedback positifs**)
- Structuration du niveau "macro" par le niveau "micro": la spécialisation individuelle et la compétition inter-individuelle accentuent la différenciation des profils comportementaux et donc la création de groupes fonctionnels
- Structuration du niveau "micro" par le niveau "macro": l'appartenance à un groupe confirme l'agent dans son profil comportemental, les tâches dans lesquelles il n'est pas spécialisé étant prises en charge par d'autres agents



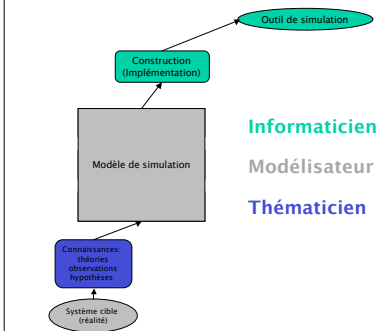
Conclusion

- Capacité démontrée à
 - simuler des phénomènes collectifs émergeant de l'interaction entre individus
 - proposer des modèles de comportement, des hypothèses vérifiables dans la réalité
 - interroger la biologie sur ses interprétations (polyéthisme d'âge, fondations polygynes, etc.)
- La simulation multi-agent devient un outil essentiel pour la construction de modèles explicatifs des phénomènes complexes

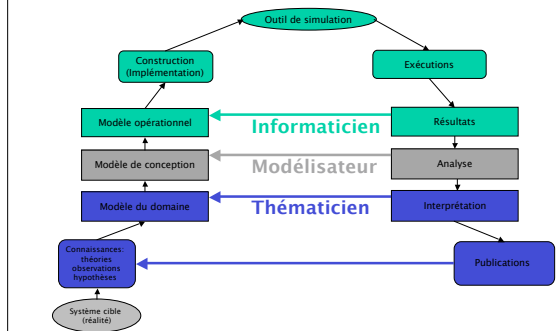
Mais...

- Quelle modélisation?
- Quelle implantation?
- Quelle validation?

Cycle de modélisation/simulation (1)



Cycle de modélisation/simulation (2)

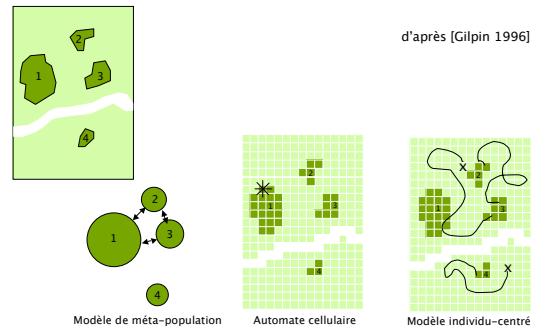


Questions de modélisation

- **Modèle du domaine**
 - Quels sont les concepts et abstractions manipulées?
- **Modèle de conception**
 - Quel niveau de granularité?
 - Quelles entités élémentaires?
 - décomposition spatiale/objet/fonctionnelle?
 - entités homogènes/hétérogènes?
 - Quelles interactions entre les entités?
 - Système ouvert/fermé?
- **Modèle opérationnel**
 - Gestion du temps
 - horloge/événements
 - synchrone/asynchrone
 - Gestion des comportements
 - Gestion de l'espace

Simulation Multi-Agent – Modèle de conception

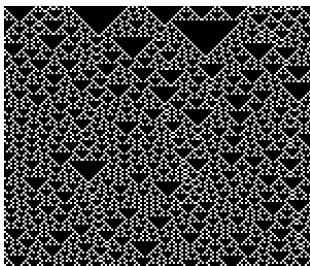
Approches de représentation



Simulation Multi-Agent – Les automates cellulaires

Les automates cellulaires : un premier exemple

- L'automate élémentaire à 1 dimension



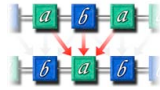
Simulation Multi-Agent – Les automates cellulaires

Les automates cellulaires : un premier exemple

- **L'automate élémentaire à 1 dimension**
 - **Modèle à 1 dimension**
 - Tableau de cellules à une dimension
 - **Espace d'états limité**
 - Chaque cellule prend ses valeurs dans l'ensemble {0, 1}
 - **Voisinage réduit**
 - Le voisinage d'une cellule se réduit aux deux cellules adjacentes
 - **Règles de transition simples**
 - L'automate progresse par générations successives
 - L'état d'une cellule à la génération suivante est fonction de son état et de l'état de ses voisins à la génération courante
 - Toutes les cellules changent d'état de manière synchrone
 - Étudié de manière systématique par S. Wolfram

Les règles de transition

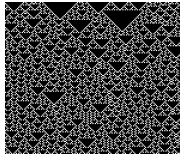
Principe de base



Pour une cellule donnée

- 8 configurations possibles (2^3)
- 2 nouveaux états possibles pour chaque configuration
- Au total 256 automates possibles (2^8)
- ex. : règle 18
 - $f(111)=0$
 - $f(101)=0$
 - $f(011)=0$
 - $f(001)=1$
 - $f(110)=0$
 - $f(100)=1$
 - $f(010)=0$
 - $f(000)=0$

Diagramme espace-temps



n° règle = $f(111) f(110) f(101) f(100) f(011) f(010) f(001) f(000)$

Un modèle de morphogénèse?

Observation

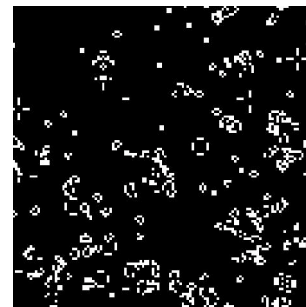
- Les patterns obtenus par certains automates ressemblent aux motifs exhibés par certains coquillages
- Peut modéliser un processus de diffusion simple [Meinhardt & Klingler 1987]
 - « Shell patterns are time records of a one-dimensional pattern forming process along the growing edge. Oblique lines result from travelling waves of activation (pigment production). Branches and crossing result from a temporary shift from an oscillatory into a steady mode of pigment production... »



Considérations générales

- Domaine très expérimental
 - un automate est entièrement décrit par sa spécification
 - Mais : impossible de prédire a priori l'état d'un automate sans l'exécuter
- Mais également des résultats théoriques
 - Classes de complexité
 - Réversibilité
 - Jardins d'Eden et ensembles limites
 - Lois de conservation
 - Universalité
- Applications
 - simulation de phénomènes spatio-temporels (physique, chimie, biologie mais aussi ingénierie, trafic, sociologie, etc.)
 - traitement d'image et classification

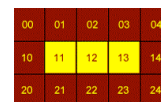
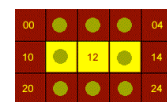
Un deuxième exemple : le jeu de la vie



Le jeu de la vie [Conway 1970]

- Présenté à l'origine comme un jeu mathématique
 - grille carrée de cellules
 - chaque cellule est dans l'état « vivante » ou « morte »
 - l'état des cellules est initialisé de manière aléatoire
 - à l'instant $t+1$, l'état de chaque cellule dépend de son propre état et de l'état de ses 8 voisins à l'instant t
 - une cellule naît si elle possède trois cellules voisines vivantes (reproduction)
 - une cellule meurt si elle possède
 - moins de deux cellules voisines vivantes (mort par isolement)
 - plus de trois cellules voisines vivantes (mort par sur-population)
- Résultat
 - apparition de structures dynamiques émergentes
 - variantes : différentes règles pour l'évolution des cellules

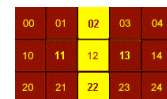
Un exemple simple

Cellules numérotées
(vivantes en jaune, mortes en rouge)

Voisinage de la cellule 12



Nombre de voisins par cellule



Etat de l'automate à la génération suivante

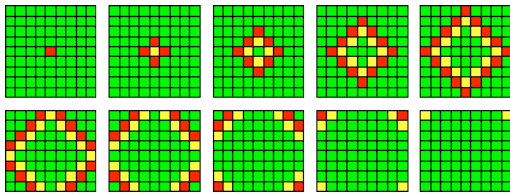
Description informelle

- Framework pour une large classe de modèles discrets à interactions homogènes
- Ces modèles ont les propriétés suivantes:
 - ▶ Discretisation
 - spatiale : espace décomposé en une grille de cellules
 - temporelle : évolution par pas de temps discrets
 - ▶ Parallélisme
 - les cellules évoluent simultanément et de manière indépendante
 - ▶ Localité
 - chaque cellule évolue en fonction de son propre état et de celui d'un ensemble fini de cellules voisines
 - ▶ Homogénéité
 - la topologie des cellules est régulière
 - la relation de voisinage est uniforme
 - les règles de transition sont identiques pour toutes les cellules

Exemple simple : Greenberg-Hastings

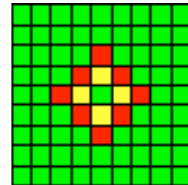
- Modèle de milieu excitable
 - ▶ état de repos (0) 
 - ▶ état d'excitation (2) 
 - ▶ état réfractaire (ou de rémission) 
- Paramètres de l'automate
 - ▶ réseau carré 
 - ▶ voisinage 4 voisins 
 - ▶ règles
 -  si pas de voisin 
 -  si au - 1 voisin 
 - 
 - 

Evolution avec 1 cellule excitée



Choix de conception

- Géométrie du réseau
- Voisinage
- Conditions aux bords
- Conditions initiales
- Ensemble d'états
- Règles de transition



Automates cellulaires -> Simulation à base d'agents

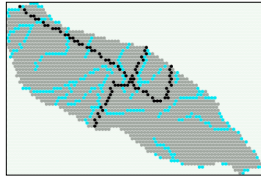
- Automates cellulaires
 - ▶ entités homogènes
 - ▶ cellules réparties selon une grille régulière
 - ▶ évolution synchrone par pas de temps discrets
 - ▶ cellule caractérisée par son état (parmi un ensemble fini)
 - ▶ règles de transition homogènes
 - ▶ relation de voisinage locale et uniforme
- Simulation à base d'agents
 - ▶ pas de contraintes particulières
 - + possibilités de modélisation plus importantes
 - validation beaucoup plus délicate...

Questions de modélisation

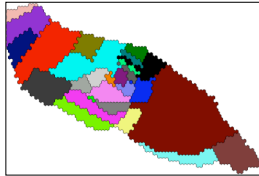
- Modèle du domaine
 - ▶ Quels sont les concepts et abstractions manipulées?
- Modèle de conception
 - ▶ Quelle niveau de granularité?
 - ▶ Quelles entités élémentaires?
 - décomposition spatiale/objet/fonctionnelle?
 - entités homogènes/hétérogènes?
 - ▶ Quelles interactions entre les entités?
 - ▶ Système ouvert/fermé?
- Modèle opérationnel
 - ▶ Gestion du temps
 - horloge/événements
 - synchrone/asynchrone
 - ▶ Gestion des comportements
 - ▶ Gestion de l'espace

Le choix du niveau (1) [Le Page, Etienne, Bousquet]

- Certaines données ne sont disponibles qu'à un niveau donné

Données éthologiques
issues de la littérature

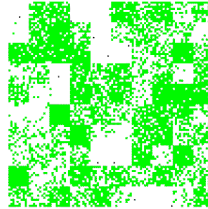
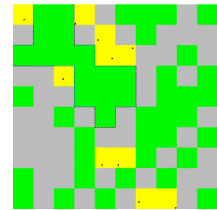
cellule = territoire animal

Données socio-économiques
issues d'une étude de terrain

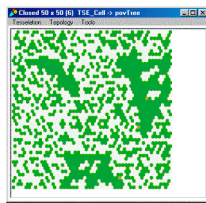
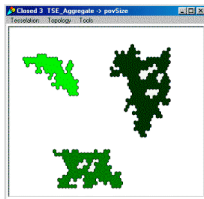
zones de chasse

Le choix du niveau (2) [Le Page, Etienne, Bousquet]

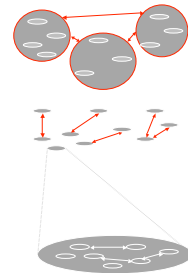
- Certaines dynamiques sont fortement liées au niveau auquel elles sont observées

Dynamique écologique
définie au niveau de la celluleDynamique d'utilisation
des sols**Le choix du niveau (3)** [Le Page, Etienne, Bousquet]

- Certains domaines étudient les phénomènes à un niveau donné

L'écosystème du point de vue
des arbresL'écosystème du point de vue
des peuplements arboricoles**Niveaux d'abstraction (1)**

- La SMA permet aux scientifiques de choisir le niveau d'abstraction auxquels ils souhaitent se placer.
- Pas de niveau obligatoire ou prédéfini pour l'"agentification" (ou réification)
- Permet de vérifier la pertinence du niveau habituellement choisi
- Proche du problème de l'analyse orientée objet

**Niveaux d'abstraction (2)**

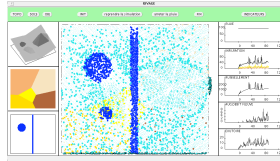
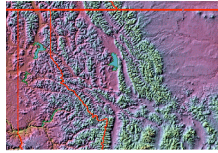
- Le niveau choisi doit correspondre
 - aux **objectifs** de la simulation
 - au **niveau de détail** souhaité
 - au **niveau de réalisme** souhaité
 - aux **données** disponibles
 - aux **ontologies** manipulées par les experts
- Le niveau choisi est un **biais**
 - simplification** (idéalisation) de l'organisation sous-jacente
 - ne correspond pas forcément à une **entité** réelle

Niveaux d'abstraction (3)

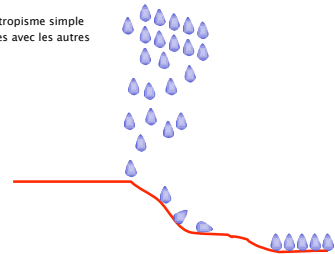
- Coexistence de niveaux différents
 - Echelles de temps, d'espace
 - Quelles inter-relations définir ?
 - Comment les définir ?
 - Quelles interactions définir ?
 - Problèmes de frontières entre les agents
- Différence** avec la simulation orientée-objet
 - un seul niveau d'abstraction

RIVAGE : écoulements hydrologiques

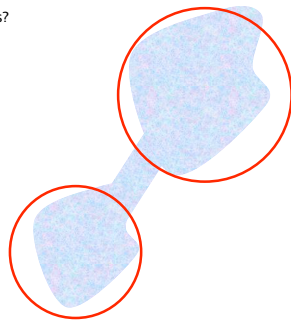
- Problématique de base
 - ▶ simuler les phénomènes de ruissellement, d'infiltration, d'érosion des sols, etc.
 - ▶ pour comprendre et prédire les phénomènes hydrologiques **intéressants** : formation de mares, débordements, accumulations, etc.

**RIVAGE (2)**

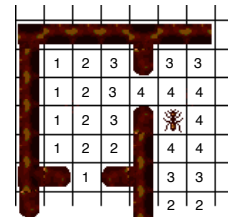
- Hypothèse: simuler le comportement d'agents "boules d'eau"
 - ▶ comportement de tropisme simple
 - ▶ interactions limitées avec les autres agents

**RIVAGE (3)**

- Comment prendre en compte les abstractions hydrologiques?
 - ▶ mares, ravines, réseaux, etc...
- Comment les créer dynamiquement ?
 - ▶ observateur global ?
- Comment réduire le temps de calcul ?
 - ▶ beaucoup de boules d'eau
 - ▶ beaucoup de boules "inactives"

**Représentation de l'espace**

- Les rôles de l'espace
 - ▶ la modélisation de l'environnement
 - ▶ la diffusion de l'information
 - ▶ La mobilité des agents

**Espace : choix de représentation**

- Géométrie de l'environnement
- Relations de voisinage des zones de l'environnement
- Granularité de représentation
- Couplage environnement / agents

Représentation de l'environnement (Le Page, Etienne, Bousquet)

- Plusieurs entités avec leurs caractéristiques propres
 - ▶ connexion avec des Systèmes d'Information Géographique (SIG)



- Une grille spatiale
 - ▶ support topologique pour les agents
 - ▶ les cellules peuvent également être le support de dynamiques propres



Voisinage spatial entre cellules



Grille rectangulaire

- ▶ avantage = simplicité d'implantation (tableau 2D)
- ▶ inconvénient = anisotropie



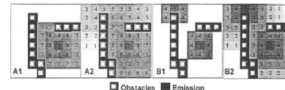
Grille hexagonale

- ▶ avantage = isotropie
- ▶ inconvénient = plus complexe à manipuler

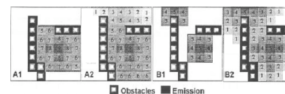
Diffusion des signaux (1)

Diffusion discrétisée

- ▶ le signal se diffuse de patch en patch
- ▶ inconvénients :
 - diffusion en carré ou en losange (dans une grille rectangulaire)
 - temps de calcul de la propagation
- ▶ avantage :
 - prise en compte des obstacles



en carré = diffusion vers les 8 voisins

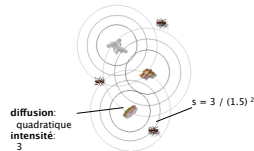


en losange = diffusion vers les 4 voisins

Diffusion des signaux (2)

Diffusion continue

- ▶ principe :
 - l'intensité du signal correspond à une formule
 - ex: $s = \text{intensité}(\text{source}) / \text{distance}^2$
 - l'intensité du signal à un endroit donné est calculée
 - par les agents
 - au moment de la perception
- ▶ inconvénient :
 - non prise en compte des obstacles
 - temps de calcul de la perception
- ▶ avantage :
 - diffusion instantanée



Déplacement des agents

Discretisé

- ▶ déplacement de patch en patch
- ▶ inconvénient : manque de précision
- ▶ avantage : cohérence avec environnement discrétisé

Continu

- ▶ calcul de la position dans un espace continu
- ▶ inconvénient : décalage entre agents et environnement
- ▶ avantage : avantage de précision
- ▶ ex: Netlogo



Simulations à temps discret (Meurisse, Vanbergue)

- ▶ temps
 - ▶ dirigé par horloge
 - ▶ indépendant des entités
- ▶ les changements d'états s'opèrent lors du passage d'une date à une autre
- ▶ ex : Netlogo
- ▶ Avantage : simple à mettre en oeuvre
- ▶ Inconvénients :
 - ▶ importance du choix du pas de temps
 - si grand pas de temps
 - pb de gestion des événements compétitifs
 - faible importance des événements à occurrence rapide
 - si petit pas de temps
 - pb de décomposition des comportements en comportements élémentaires de même granularité que le pas de temps

Simulations à événements discret (Meurisse, Vanbergue)

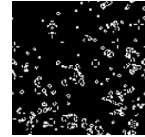
- ▶ découpage du temps orienté événements
 - ▶ à chaque activation, l'entité indique au système la date de la prochaine activation
 - ▶ la progression du temps s'effectue d'événement en événement
- ▶ Avantage :
 - ▶ pas de pb de granularité
 - ▶ si aucun événement pendant une longue période, on passe directement à l'événement suivant
- ▶ Inconvénients :
 - ▶ complexe à mettre en oeuvre
 - ▶ pb de gestion d'événements simultanés
 - ▶ dépendances entre événements
 - au changement d'état d'une entité, l'exécution future d'autres entités risque d'être invalidée

Questions de modélisation

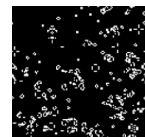
- **Modèle du domaine**
 - ▶ Quels sont les concepts et abstractions manipulées?
- **Modèle de conception**
 - ▶ Quel niveau de granularité?
 - ▶ Quelles entités élémentaires?
 - décomposition spatiale/objet/fonctionnelle?
 - entités homogènes/hétérogènes?
 - ▶ Quelles interactions entre les entités?
 - ▶ Système ouvert/fermé?
- **Modèle opérationnel**
 - ▶ Gestion du temps
 - horloge/événements
 - synchrone/asynchrone
 - ▶ Gestion des comportements
 - ▶ Gestion de l'espace

De l'importance du modèle opérationnel

- **Automates cellulaires**
 - ▶ **Modèle de conception**
 - que représente-t-on par une cellule?
 - quelle topologie?
 - combien d'états?
 - quelles règles de transition?
 - ▶ **Modèle opérationnel**
 - imposé par le modèle des automates cellulaires
 - évolution par pas de temps discrets
 - transition synchrone
- **Que se passe-t-il si perte de synchronisation?**
 - ▶ 2333 (jeu de la vie) 2323 2636
 - ▶ 1323 ou 0323 (pattern fixe)
 - ▶ 0314 ou 1314 ou 1324 (« transition de phase »)
 - ▶ 2334 (« boids »)
 - ▶ 3334 (effets de bord)
 - ▶ 3634 synchrone et 3534 asynchrone

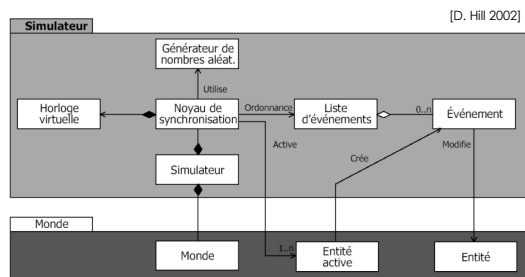


NetLogo 2.1



NetLogo 3.1

Implantation : le simulateur

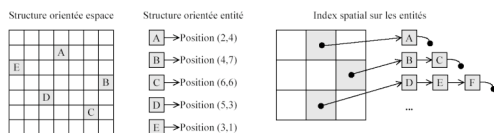


Problématiques d'implantation [D. Hill 2002]

- **Objectifs**
 - ▶ Disposer d'une représentation réaliste
 - ▶ Eviter les biais liés à l'implantation
 - ▶ Minimiser le temps de calcul
 - optimiser la recherche des plus proches voisins
 - paralléliser les calculs
- **Problématiques**
 - ▶ Générateur de nombres aléatoires
 - ▶ Taille de mémoire nécessaire et sa gestion
 - codage spécifique de la gestion de la mémoire
 - ▶ **Gestion des interactions spatiales discrètes**
 - simulation sous contraintes spatiales et couplage avec SIG
 - ▶ **Processus concurrents dans le temps et dans l'espace**
 - développement d'ordonnanceurs dédiés
 - ▶ Performance
 - optimisations locales, méta-programmation, parallélisme

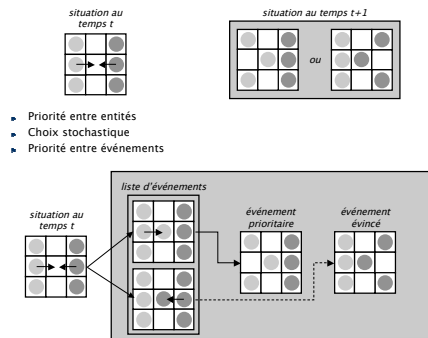
Couplage environnement / agent [Hill 2002]

- Différentes solutions de couplage possibles



Ordonnancement des agents

- Activation des agents à intervalles plus ou moins réguliers
- Gestion du quasi-parallélisme des agents
- Résolution des conflits spatio-temporels
- Différentes solutions
 - ▶ Gestion du temps
 - Simulation à temps discret
 - Simulation à événements discrets
 - ▶ Gestion du quasi-parallélisme
 - Gestion externe
 - Gestion dédiée du quasi-parallélisme

Conflits spatio-temporels [Hill 2002]**Gestion du quasi-parallélisme** [Hill 2002]

- Gestion externe
 - utilisation des threads du langage ou du système d'exploitation
 - gestion de messages asynchrones
 - non prise en compte des compétitions spatiales simultanées
 - générateur de nbs aléatoires de l'OS de mauvaise qualité
- Gestion dédiée
 - conserve le « déterminisme » du programme stochastique : 1 seul générateur de nombres aléatoires
 - permet de mieux gérer les pbs de compétition spatiale
 - considère les actions des agents comme des processus concurrents

Forme générale de l'ordonnanceur [Swarm 1999]

```

get parameters
initialize
for 1 to timesteps do:
  for 1 to num_agents do:
    agent-i-do-something
  end for
  show state
end for
quit

```

Mise en place des structures de données et de l'interface

gestion de l'état interne de l'agent et implémentation de son comportement

Sortie pour le programmeur

Ordre d'activation – solution « naïve »

```

for (int i=0; i<agentVector.getLength(); i++)
  ((Agent) agentVector.getElement(i)).activate();

```

- Problèmes
 - ordre d'activation figé :
 - le 1^{er} agent s'exécute toujours avant le 2^{ème} qui s'exécute toujours avant le 3^{ème} etc.
 - si ressources limitées, problème d'équité entre les agents
 - « premier arrivé, premier servi » -> le 1^{er} agent est toujours servi avant les autres...
- Solution
 - tirage aléatoire de l'ordre d'activation des agents

Ordre d'activation – tirage aléatoire

```

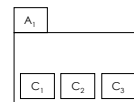
Vector agentVectorBis = agentVector.clone();
while (agentVectorBis.getLength() > 0) {
  int i = agentVectorBis.getLength() * Math.Random();
  ((Agent) agentVector.getElement(i)).activate();
  agentVectorBis.removeElement(i);
}

```

- Avantage
 - l'ordre d'activation des agents change à chaque cycle de manière aléatoire
- Inconvénient
 - moins performant en terme de vitesse d'exécution

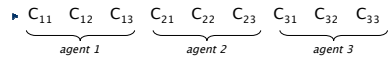
Agents complexes

- Un agent possède un ensemble de comportements qu'il peut exécuter à chaque pas de temps
- ces comportements peuvent être
 - dépendants : ils peuvent s'exécuter dans n'importe quel ordre mais les résultats sont différents suivant l'ordre d'activation
 - ex: évaluer ses besoins / manger
 - séquentiels : un comportement ne peut s'exécuter que si un autre a été exécuté au préalable
 - ex: se déplacer vers la nourriture / manger

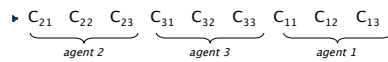


Activation d'agents complexes

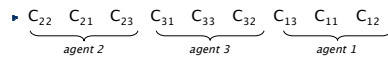
- Ordonnancement simple



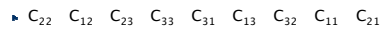
- Non-prédictibilité *inter-agent*



- Non-prédictibilité *intra-agent*

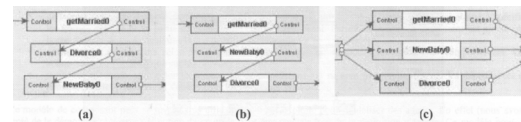


- Enchevêtrement total

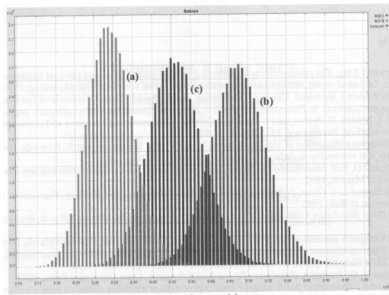


Exemple

- Espèce animale virtuelle
- 3 comportements élémentaires
 - mise en couple
 - séparation du couple
 - reproduction
- Différents choix possibles dans l'ordre d'activation des comportements



Résultats expérimentaux



Plates-formes de simulation

- Plates-formes génériques
 - Fournissent un ensemble de bibliothèques de classes et/ou un langage de programmation de simulations
 - Swarm, Echo, Geamas, MadKit, Netlogo
- Plates-formes orientées écosystème
 - Fournissent des utilitaires pour simuler des écosystèmes ou des problèmes de gestion de ressources
 - grilles spatiales
 - utilitaires pour méthodes de type Monte-Carlo
 - liens vers des SIGs ou des BDs
 - Ecosim, Sugarscape, Cormas
- Plates-formes dédiées
 - S'intéressent à des types d'applications précis
 - Manta, Arborscape, BacSim, Mobydic

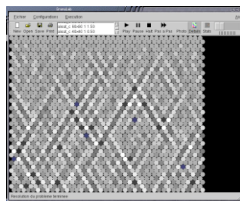
GranuLab : résolution de tas de sables

- Objectif

- éviter les problèmes de formation d'arches dans les silos

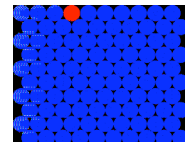
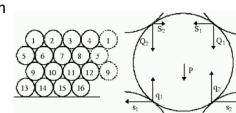
- Démarche

- résolution numérique de tas de sable = calcul des lignes de contraintes qui apparaissent à l'intérieur d'un tas de sable



GranuLab (2)

- Résolution individuelle de chacun de grain du tas pour lui faire atteindre un équilibre statique
- Résolution par couches de profondeur croissante
- Différentes heuristiques possibles pour l'ordre des grains dans la couche
 - de gauche à droite
 - à partir des bords
 - aléatoirement
 - ...



ArchiSim: trafic et comportement routier

- Objectifs
 - raffinement des modèles de comportement des conducteurs
 - étude de dispositifs d'assistance à la conduite (conception, acceptabilité, impact sur la conduite et la trafic)
- Démarche
 - modélisation du comportement du conducteur
 - simulation d'un trafic réaliste

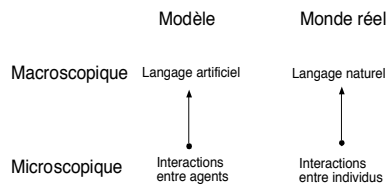


Scène de simulation ArchiSim

Simulation industrielle et économique

- organisation des composants électr(on)iques d'une voiture
 - gestion de la consommation électrique
 - prise en compte de standards différents dans les différents pays
- organisation d'un atelier de production flexible
 - organiser les flux des produits en cours d'élaboration
- simulation d'entreprises et de leurs échanges
 - matières premières, produits finis, informations, argent, etc.

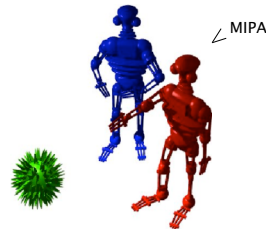
Simulation du langage



Il s'agit de définir les *conditions minimales* pour expliquer l'émergence d'un langage. Ces conditions minimales portent sur la structure des agents (capacités cognitives et interactionnelles) et sur la structure du milieu dans lequel ils évoluent.

Créer un vocabulaire commun

The Naming Game (1996)



- Le locuteur essaie d'identifier un objet à l'interlocuteur en pointant et en utilisant un nom
- Le jeu réussit si l'interlocuteur a bien deviné quel est l'objet désigné par le locuteur
- Si le locuteur n'a pas de nom pour cet objet, il peut en créer un nouveau. L'interlocuteur peut mémoriser l'association objet-mot utilisé par le locuteur
- Les agents s'adaptent de façon à mieux communiquer dans les jeux futurs
- Plus une association entre un objet et un mot conduit à des succès en communication, plus elle a de chances d'être utilisée dans le futur. Cette boucle de rétroaction positive permet au groupe de construire un lexique cohérent