

MIS 1 : Modélisation des systèmes complexes

Partie 1 : Des Systèmes complexes aux écosystèmes

C. Bertelle

LITIS

Université du Havre

Master 2 Math-Info Matis

Ecole Doctorale SPMII - Rouen/Le Havre

Références bibliographiques

- B. Walliser “*Systemes et modèles*”, Editions du Seuil, 1977.
- J.L. Le Moigne “*La modélisation des systèmes complexes*”, Dunod, 1990.
- S. Frontier “*Les écosystèmes*”, Que sais-je ? n° 3483, 1999.
- S. Frontier et D. Pichod-Viale “*Ecosystèmes*”, Dunod, 1998.
- A. Pave “*Modélisation en biologie et en écologie*”, Aléas, 1994.

- P. Coquillard et D.R.C. Hill “*Modélisation et simulation d'écosystèmes*”, Masson, 1997.
- D.L. DeAngelis et L.J. Gross éd. “*Individual-based models and approaches in ecology*”, Chapman et Hall, 1992.
- F. Blasco éd. “*Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*”, Elsevier, 1997.

Partie 1 (suite) - Des systèmes complexes aux écosystèmes

1.1 Théorie des systèmes

1.2 Des systèmes complexes : les écosystèmes

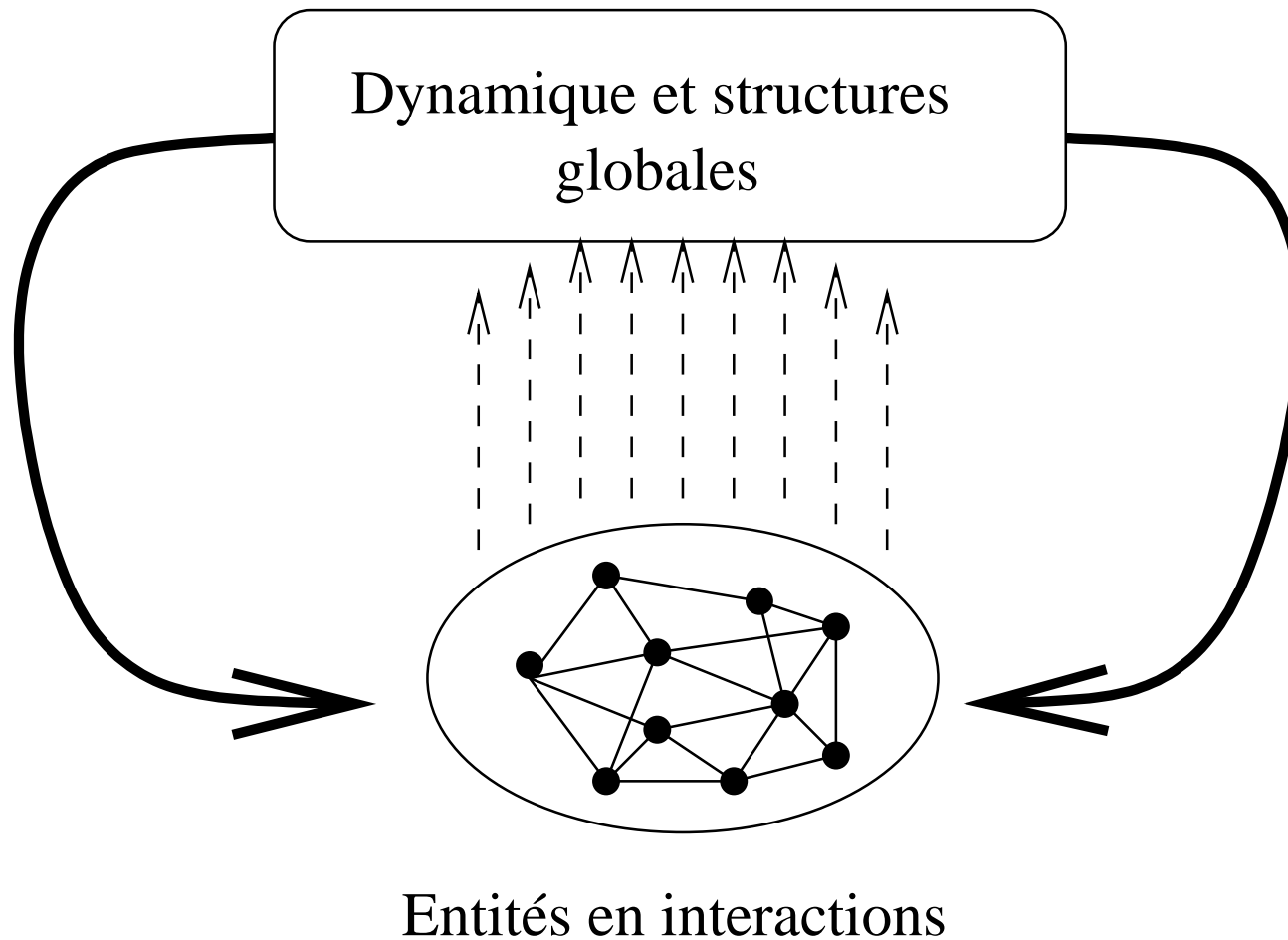
1.3 Modèles analytiques de dynamique de populations et lois écologiques

1.4 Simulations individus-centrés et systèmes multiagents en modélisation de l'environnement

Quelques références Web complémentaires

- Santa Fe Institute “*2000 Complex Systems Summer School*”
- Revue électronique “*Complexity International*”
- Ph. Preux “*Réflexions sur les systèmes complexes ...*”, Lab. Info du Littoral, Mémoire HDR (Habilitation à diriger des recherches), 1999
- P. Marcenac “*Modélisation et simulation par agents : Application aux systèmes complexes*”, Mémoire HDR, 1997
- ...

1.1 Théorie des systèmes



Approche systémique

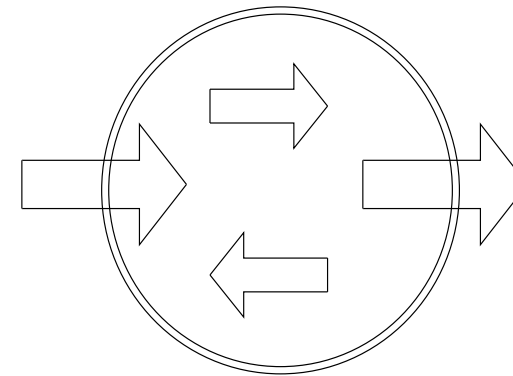
Un système - au sens de la systémique - est un ensemble constitutif et des propriétés le structurant en tant que tel.

- Ensemble constitutif d'entités en interactions mutuelles et en interaction avec un milieu extérieur ou environnement ;
- Propriétés caractéristiques conférant la structure de système :
 - dépendance interactive des éléments/entités du système, indissociable de leur dynamique (la modification d'une interaction ou d'un élément se répercute sur l'ensemble)

- existence ou émergence d’une organisation globale constitutive du système, identifiable et possédant une autonomie globale tout en étant en relation/dépendance avec son environnement. L’organisation émergente a des propriétés nouvelles par rapport aux entités dont elle est issue : *“le tout est plus que la somme des parties”*
- rétroaction de l’organisation globale sur ses parties constitutives : *“le tout est moins que la somme des parties”* (E. Morin)

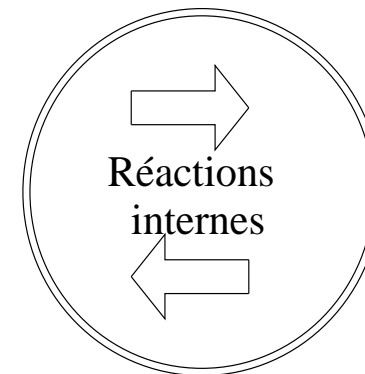
Systemes fermés et systemes ouverts

Systeme ouvert : interagit avec environnement, transfert energie/matiere, permet formation d'organisations émergentes structurantes.



Systeme ouvert

Systeme fermé : coupé du monde extérieur, sans émergence dynamique.



Systeme fermé

Systemes complexes

- Ajoute à la notion de systèmes le caractère hétérogène des constituants de nombreux systèmes naturels (biologiques, économiques, ...)
- Dissociation entre “système compliqué” et “système complexe” (d’après J.L. Lemoigne) :
 - système compliqué : on peut le simplifier pour découvrir son intelligibilité ;
 - système complexe : en le simplifiant, on détruit son intelligibilité que l’on ne peut découvrir qu’en le modélisant dans sa totalité.

- Principe d'organisation en vue d'une fonction collective (survie, adaptation, reproduction) :
 - comportement téléologique, c'est à dire guidé par ses buts.
 - Le concept d'instrumentation d'un tel comportement est le “feed-back” informationel (issu de la notion de contrôle en cybernétique)

- Organisation hiérarchique de systèmes et sous-systèmes assurant sa stabilité.
 - Stratégies de développement :
 - adaptatives : réorganisations structurales face à des fluctuations.
 - paradoxales : coexistence d'éléments contradictoires, complémentaires, concurrents ou antagonistes.
- (ces deux stratégies ne sont pas exclusives ...)

Evolution des systèmes complexes

En général succession de périodes d'auto-organisation et de périodes de stress.

- auto-organisation : période sans perturbation majeure. Le système a tendance à se complexifier pour un perfectionnement fonctionnel et une amélioration de son pouvoir d'adaptation.
- stress : période de perturbation où le système se simplifie et se déstructure partiellement (ou totalement).

Systemes complexes naturels

- Ensemble d'entités naturelles, physiques ou non, en interaction et dont le comportement collectif influe sur la dynamique du système.
- Ecosystème traité dans la diversité naturelle de ses constituants physiques et de ses constituants organisationnels spatiaux ou temporels.

Des exemples de systèmes complexes “naturels”

- **Biologie** : le comportement de chaque cellule d'un organisme va contribuer à définir son métabolisme global qui lui même contraint chaque cellule.
- **Ecologie** : les évolutions de la majorité des espèces sont dépendantes d'une organisation complexe d'autres espèces en interaction. De cette organisation, il se dégage des tendances globales d'évolution qui favorisent ou non le développement des espèces ou contraignent leur évolution.

- Economie : Chaque consommateur agit par son comportement social sur les marchés économiques qui lui imposent des contraintes.
- Transport : Le déplacement de véhicules est à l'origine d'un trafic global et de la formation d'organisations ou motifs (embouteillages, p.ex.) qui eux-mêmes contraignent le déplacement des véhicules.
- ...

Systemes complexes artificiels

Approche décentralisée des modèles et des systèmes informatiques : ensemble d'entités formelles ou informatiques aux comportements + ou - autonomes et en communication/interaction/coopération.

- Entités formelles / Conception :
 - agents, systèmes multiagents, systèmes adaptatifs
 - auto-organisation, émergence

- Entités informatiques :
 - Middleware : plate-formes informatiques distribuées sur un bus de communication et basées sur le modèle client/serveur
 - Elévation du niveau d'abstraction des entités informatiques : objets, objets actifs, agents mobiles

1.2 Des systèmes complexes : les écosystèmes

- **Ecologie** (définie par Haeckel, 1866) : science de l'habitat. D'abord études disjointes des espèces puis nécessité de prendre en compte les autres espèces et le milieu environnant avec lesquels chaque espèce interagit.
- **Ecosystème** (Tansley, 1935) : système d'interaction entre les populations de différentes espèces vivant dans un site et entre ces populations et le milieu physique.

Ecosystèmes - Propriétés caractéristiques

- Structuration en une grande variété d'échelles d'espace-temps (d'une souche d'arbre en décomposition à l'organisation écologique planétaire).
- Flux d'énergie les traversant (rayonnement solaire, énergie de mise en mouvement de matière telle que l'eau ou l'air) permettant la mise en relation d'entités qui interagissent ... source du développement de structures organisées ;
- Interactions multiples et non réductibles.

Plusieurs étapes d'évolution des écosystèmes

- état juvénile : croissances importantes mais instables ;
- état de maturité : stabilisation par complexification des espèces permettant l'adaptabilité et la mise en place de structures de survie ;
- état de vieillissement : prédominance de certaines espèces aux dépens des autres et contribuant à la simplification globale ;

- + des perturbations générant des stress et remettant en cause l'organisation en provoquant la disparition d'espèces et favorisant le développement rapide d'autres espèces ... rajeunissement.

1.3 Modèles analytiques de dynamique de populations et lois écologiques

Pourquoi s'intéresser à ces modèles (dans le contexte de ce cours) ?

- Une vision analytique des écosystèmes donnant des modèles globalisant, synthétisant des propriétés écologiques de population.

Autre point de vue par rapport à l'approche agent ! En opposition ?

- Modélisation ET Conception (d'après E. Bonabeau) :
dualité de l'approche sur l'intelligence collective
 - Conception (de type SMA) de systèmes d'entités interactives conduisant à des simulations sur ordinateur. Les lois émergent !
 - Modélisation (de type analytique) : comment vérifier qu'un comportement global peut apparaître à partir d'éléments simples en interaction. On cherche à le formaliser sous une forme la plus simple puis, au vue des limitations, on complète le modèle.

- système artificiel constitué d'une population d'agents évoluant dynamiquement (y compris par génétique).

Intérêt d'avoir des éléments de modélisation synthétique de leur évolution dynamique ...

par exemple, pour l'étude de comportements chaotiques d'un SMA (en terme de dynamique de populations) ...
problème difficile et ouvert !

1.3 Modèles analytiques de dynamique de populations et lois écologiques

- Définitions
- Modèles analytiques de croissance
- Modèles discrétisés en temps
- Modèles à classes d'âges
- Modèles de dynamique à espèces multiples
- Discrétisations spatiales et temporelles

1.3.1 Définition

- **Population** : ensemble des individus d'une même espèce vivant sur un même territoire.
 - individus naturels : animaux, végétaux, bactéries, cellules, ... intervenant dans une chaîne trophique.
 - individus artificiels : agents en interaction et en évolution (on peut espérer retirer de ces lois des éléments de construction de lois locales de coopération, compétition, ... dans des SMA)

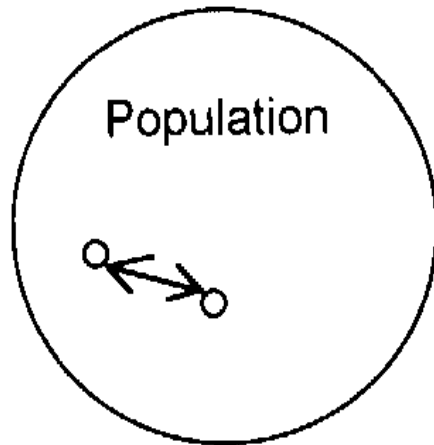
- Sous-populations spécifiques :
 - **générations** : sous-populations se différenciant par une relation parents/enfants ;
 - **classes d'âges** : sous-ensemble d'individus compris entre 2 âges donnés ;
 - **cohortes** : sous-ensemble d'individus d'âges identiques ou voisins, réunis simultanément sur une unité de lieu et que l'on suit dans leur évolution.

1.3.2 Modèles analytiques de croissance

- Description de la croissance liée à un individu (poids, longueur) ;
- Description de la croissance d'une population entière ou d'une cohorte (effectif).

Dans les deux cas, on globalise la croissance et les différents facteurs en fonction de leur mode d'action.

Loi exponentielle



Hypothèse : Accroissement de population proportionnel à l'effectif et à la durée d'observation.

- $N(t)$: effectif à l'instant t
- ΔN variation d'effectif pendant la durée Δt .

$$\Delta N = kN(t)\Delta t$$

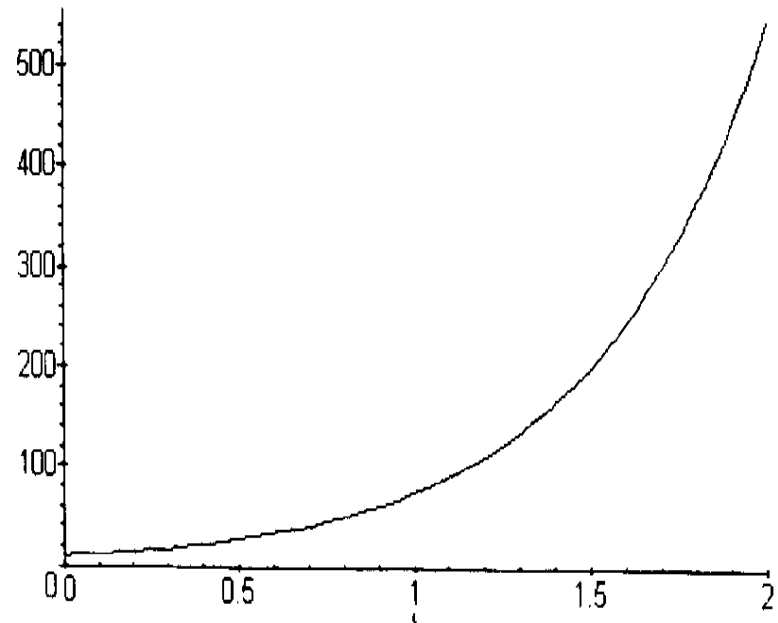
$$\frac{dN}{dt}(t) = kN(t)$$

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt}(t) = kN(t) \\ N(0) = N_0 \end{cases}$$

de solution :

$$N(t) = N_0 e^{kt}$$

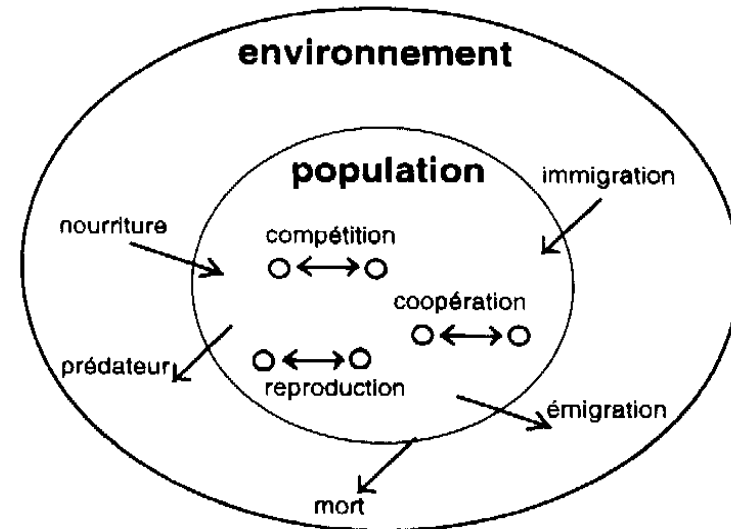
Conclusion : peu réaliste si t
et N grands.



Loi logistique

Hypothèse : régulation
biologique exprimée par un
effectif maximum N^*
(ressources finies de
l'environnement).

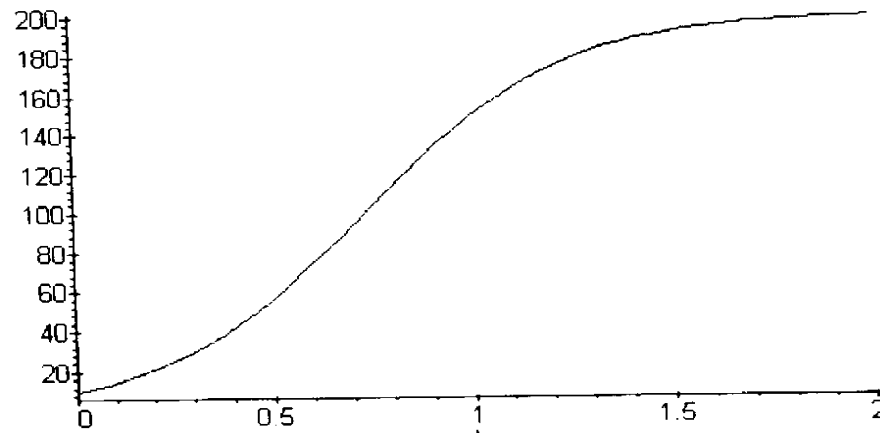
$$k(t) = a(N^* - N(t))$$



$$\begin{cases} \frac{dN}{dt}(t) = a(N^* - N(t))N(t) \\ N(0) = N_0 \end{cases}$$

de solution :

$$N(t) = \frac{N^*}{1 + \left(\frac{N^*}{N_0} - 1\right) e^{-aN^*t}}$$



Variantes

- Loi de von Bertalanffy : On ne prend en compte que la partie droite de la loi logistique. Non valide au-dessous d'un certain effectif. Utilisée pour les croissances en longueur ou en halieutique (analyse de pêche).

$$N(t) = N^*(1 - e^{-kt})$$

- Loi de Gompertz : comme la loi Logistique, mais avec $k(t) = a(\ln N^* - \ln N(t))$. Dissymétrie avant et après point d'inflexion. Utilisée pour l'assurance vie et l'extinction de population ($a < 0$).

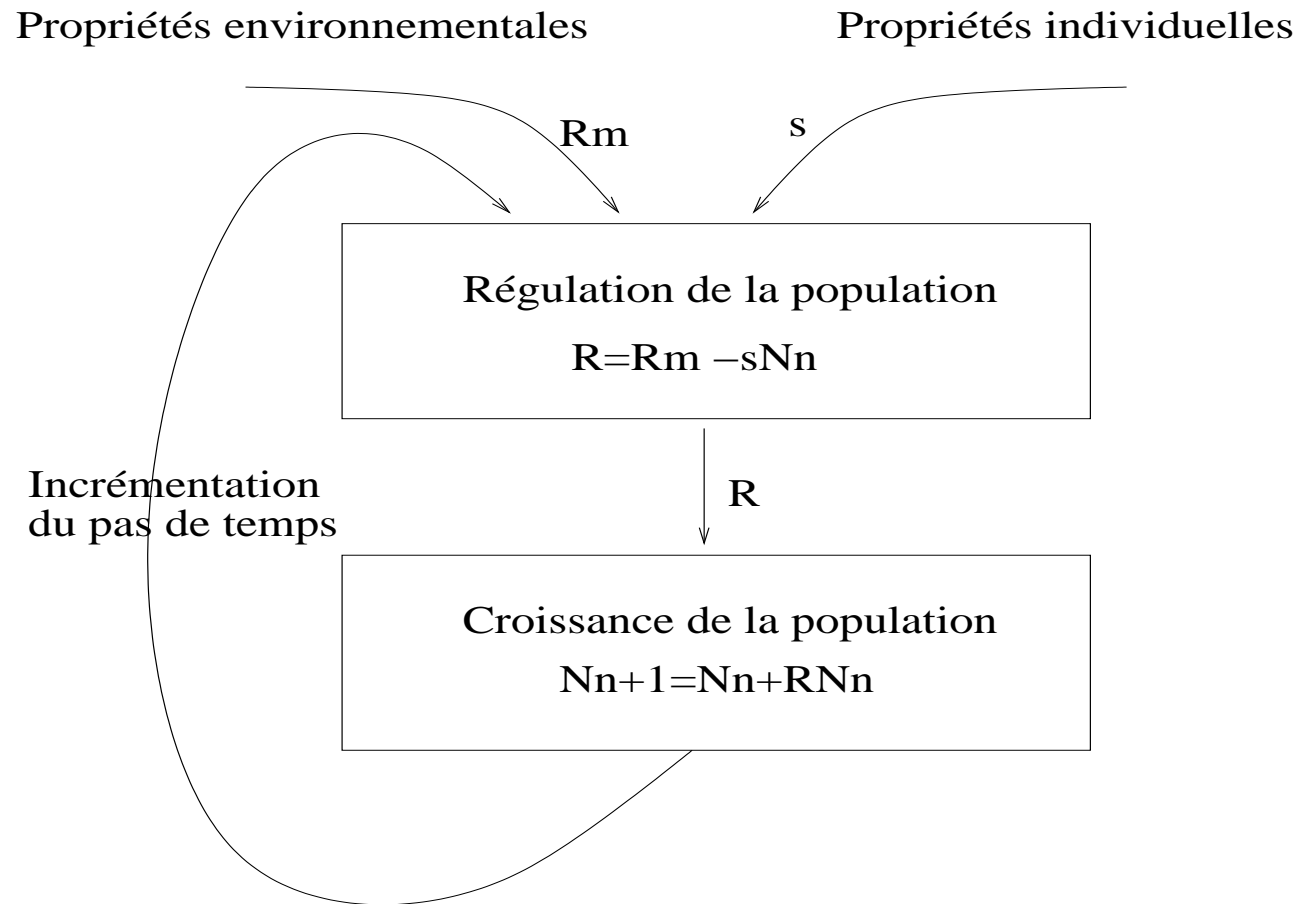
1.3.3 Modèles discrétisés en temps construction

Discrétisation des fonctions continues à partir d'un pas de temps ΔT (signification biologique : saisons, période entre 2 reproductions, ...) : $N_{n+1} = N(t_0 + (n + 1)\Delta T)$. Loi logistique discrète :

$$N_{n+1} = N_n + a\Delta T(N^* - N_n)N_n$$
$$N_n + (R_m - sN_n)N_n$$

- $R_m = a\Delta T N^*$: taux d'accroissement maximum par individu et pour un pas de temps ;
- $s = a\Delta T$: régulation intra-spécifique.

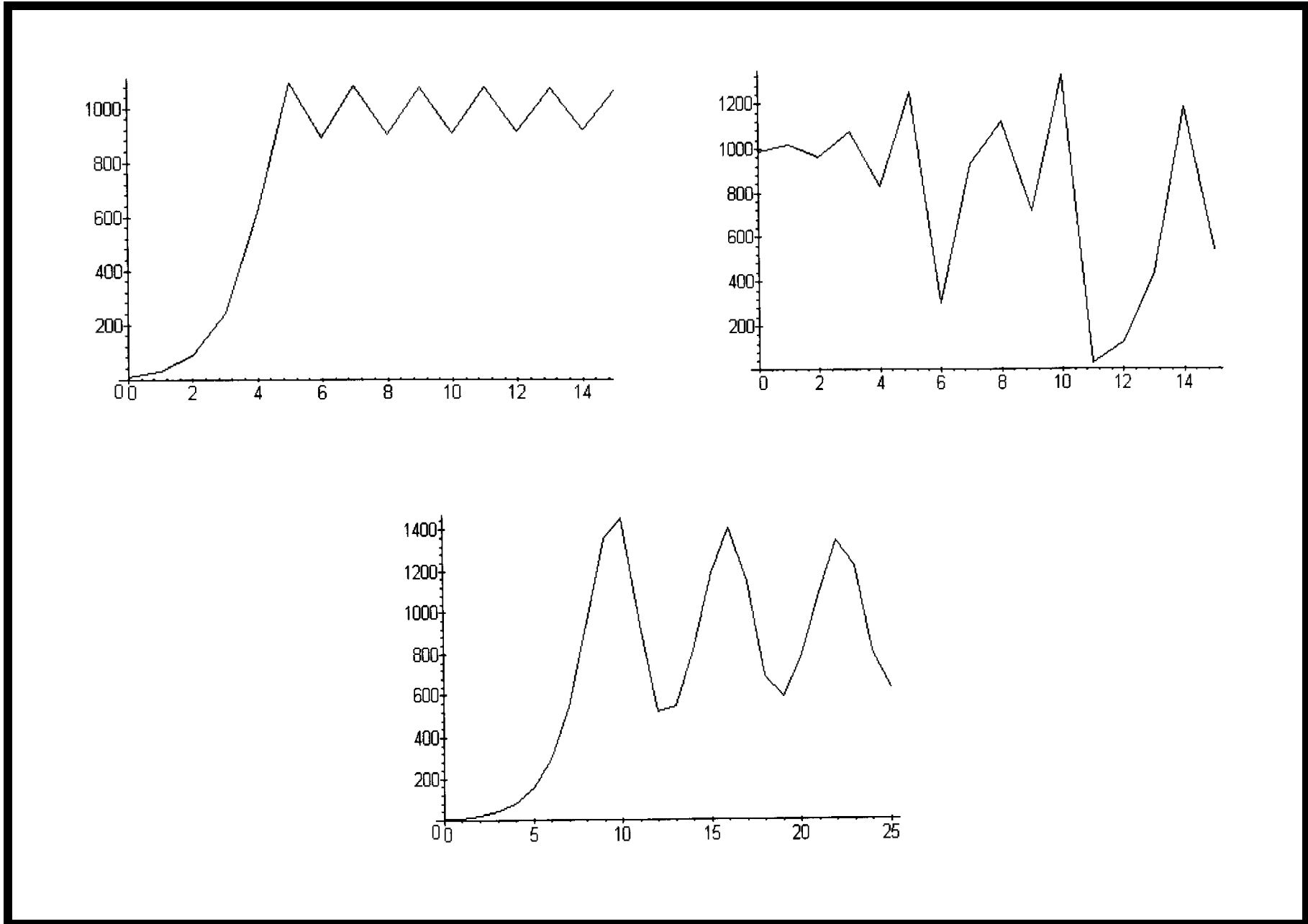
Modèles discrets - interprétation



Modèles discrets - Résultats

Situations possibles :

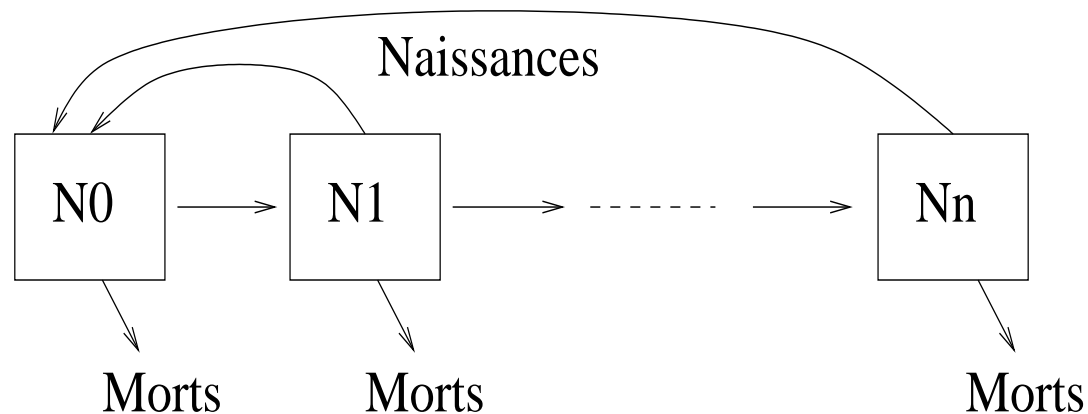
- oscillations + ou - importantes autour de l'effectif maximum, pouvant aller jusqu'à la génération de régimes chaotiques.
- oscillations s'établissant sur plusieurs pas de temps dues à un décalage en temps du terme de régulation.



1.3.4 Modèles à classes d'âge

Modèle compartimental :

- population homogène dans une tranche d'âges représentée par un compartiment ;
- dynamique dictée par les flux entre compartiments et/ou avec l'extérieur.



A chaque itération :

- un individu passe dans la classe d'âge supérieure (avec une probabilité donnée : p_i) ou meurt :

$$N_{i+1} = p_i N_i$$

- il y a naissance dans la première classe d'âge (N_0) en fonction du taux de fécondité des individus dans toutes les autres classes :

$$N_0 = \sum_{j=0}^n F_j N_j$$

Modèles à classes d'âges - Matrice de transition

Matrice de *Leslie* : matrice de transition de l'instant t à l'instant $t + 1$:

$$\begin{bmatrix} F_0 & F_1 & \dots & \dots & F_n \\ p_0 & 0 & \dots & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & p_{n-1} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_0(t) \\ N_1(t) \\ \vdots \\ \vdots \\ N_n(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_0(t+1) \\ N_1(t+1) \\ \vdots \\ \vdots \\ N_n(t+1) \end{bmatrix}$$

1.3.5 Modèles de dynamique à espèces multiples - Coopération

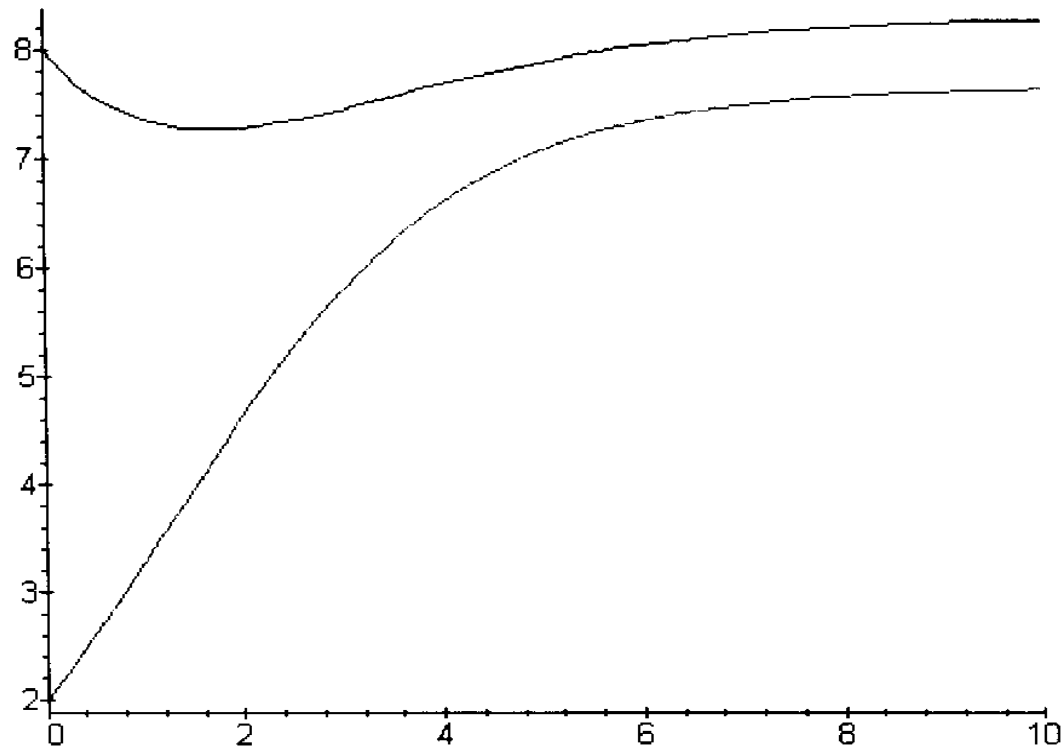
Deux effectifs de population : $N(t)$ et $M(t)$.

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt}(t) &= a(N^* - N(t) + bM(t))N(t) \\ \frac{dM}{dt}(t) &= c(M^* - M(t) + dN(t))M(t) \end{cases}$$

En supposant $b > 0$ et $d > 0$.

Coopération entre 2 espèces - graphique

Exemple d'évolution possible de 2 espèces en coopérations
pour les valeur : $M^* = N^* = 6$



Dynamique à espèces multiples - Compétition

Deux effectifs de population : $N(t)$ et $M(t)$.

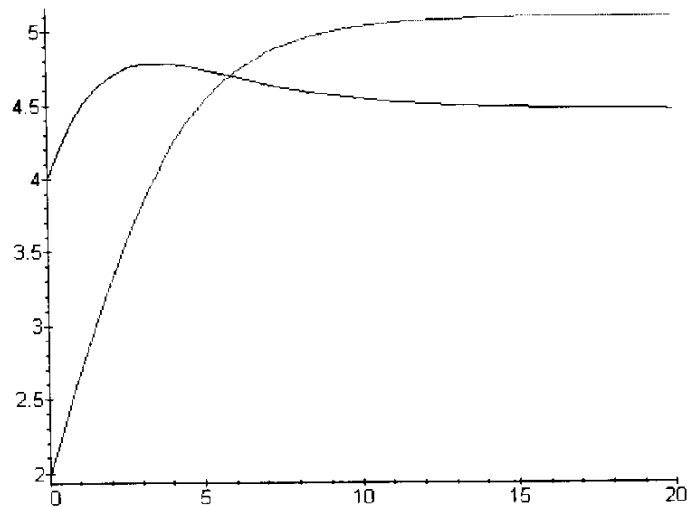
$$\begin{cases} \frac{dN}{dt}(t) &= a(N^* - N(t) - bM(t))N(t) \\ \frac{dM}{dt}(t) &= c(M^* - M(t) - dN(t))M(t) \end{cases}$$

En supposant $b > 0$ et $d > 0$.

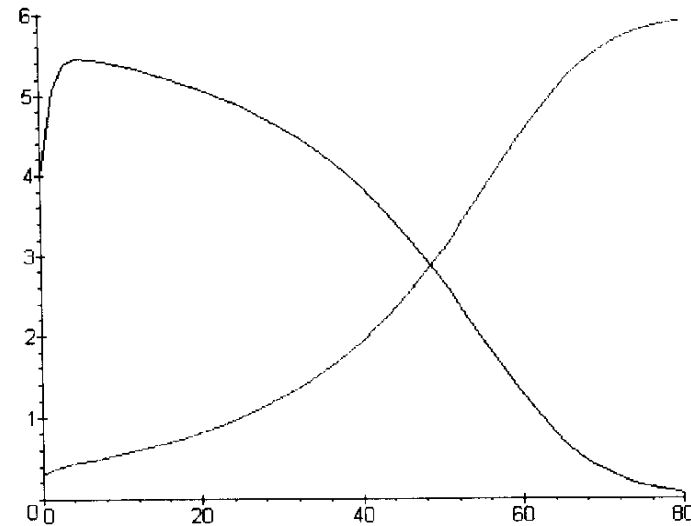
Compétition entre 2 espèces - graphiques

Dans les 2 cas, on a $M^* = N^* = 6$.

Cas d'une situation d'équilibre avec maintien des 2 espèces.



Cas d'une situation de disparition d'une espèce.



Dynamique à espèces multiples

Loi proie/prédateur (Lotka-Volterra)

- $N(t)$: effectif des proies ;
- $M(t)$: effectif des prédateurs.

Hypothèse :

- évolution des proies
 - sans prédateur, développement suivant une loi exponentielle positive ;
 - avec prédateurs, les proies consommées par les prédateurs sont proportionnelles aux effectifs des proies et des prédateurs.

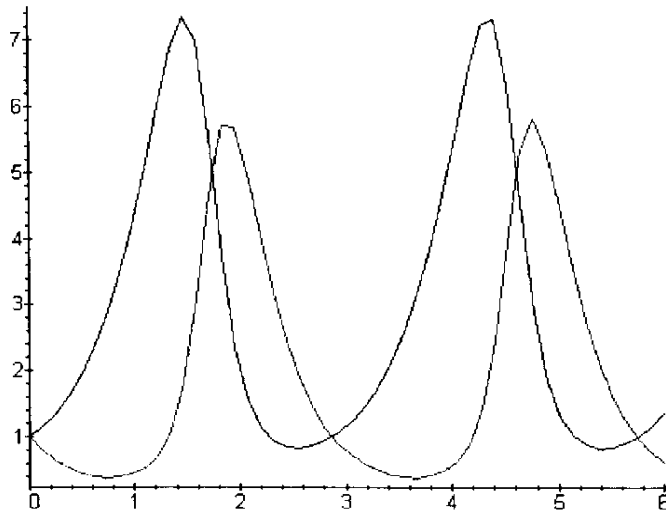
- évolution des prédateurs
 - sans proie, développement suivant une loi exponentielle négative ;
 - avec proies, le nombre de prédateurs augmente proportionnellement aux effectifs des proies et des prédateurs.

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt}(t) = aN(t) - bM(t)N(t) \\ \frac{dM}{dt}(t) = -cM(t) + dN(t)M(t) \end{cases}$$

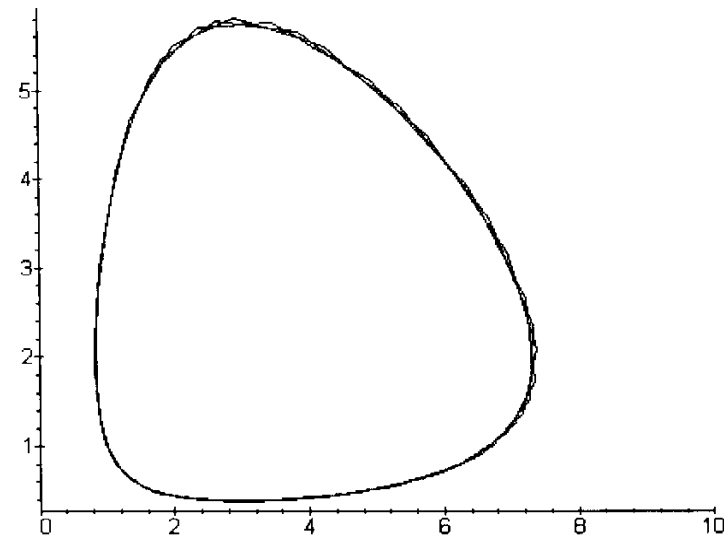
On suppose $a > 0$, $b > 0$, $c > 0$ et $d > 0$.

Loi de Lotka-Volterra - graphiques

Evolution des 2 populations en fonction du temps.



Portrait de phases : évolutions comparées.



1.3.6 Discrétisations spatiales et temporelles

- Transfert de lois écologiques locales sur un automate cellulaire.

Principe : On reprend le fonctionnement du jeu de la vie sur un damier en remplaçant l'état binaire d'une cellule par un effectif qui est calculé par l'application d'une loi de dynamique de population discrétisée en temps et basée sur l'effectif antérieur des cellules voisines.

- Approche agents (R. Cazoulat et B. Victorri).
On confronte les lois proies-prédateurs, sous leur formulation différentielle traditionnelle à des simulations analogues individualisées par SMA.

R. Cazoulat et B. Victorri “*Etude de la dynamique des populations par simulation*”, Chaos and Society, IOS Press.

1.4 Simulations individus-centrés et systèmes multiagents en modélisation de l'environnement

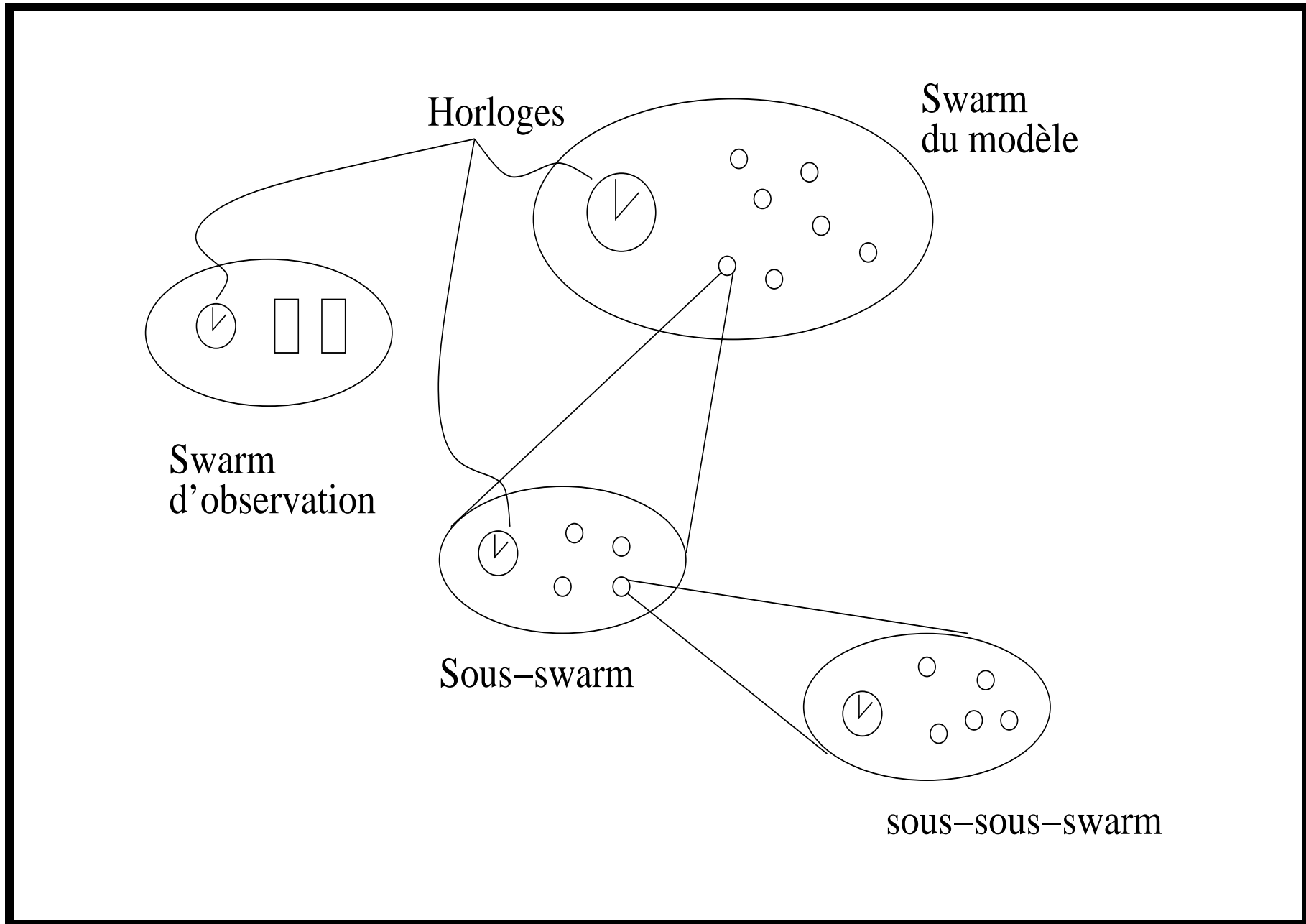
On décrit brièvement un certain nombre de réalisations et d'implémentations basées sur des modèles individus-centrés ou des systèmes multiagents et sur des problématiques de nature écologique.

Swarm/Gecko - www.swarm.org

- Swarm est une plate-forme générique, constituée d'une bibliothèque logicielle (en Objective C, avec une interface Java) qui permet de développer des simulations à base d'agents. Sa conception originale est due à C. Langton.
- Objectif : définir une plate-forme de développement permettant de faire des "expérimentations informatiques" décentralisées à évènement discrets de systèmes complexes.

- Démarche :
 1. Création du modèle : environnement artificiel spatial et temporel où évoluent des agents qui ont des états internes, des règles de comportement et leur propre perception de l'environnement.
 2. Création d'agents d'observation qui enregistrent et analysent les données en provenance de la perception des agents du modèle (système de sondes).

3. Fonctionnement de l'ensemble (monde virtuel + observateurs) dans une simulation discrétisée en temps avec des horloges synchronisées. Les règles de concurrences et dépendances temporelles doivent être explicitement codées.
 - Possibilités de hiérarchies et de structures récursives.



De nombreuses applications ont été développées avec Swarm, notamment à caractère biologiques ou écologiques.

Gecko est une de ces applications qui permet de simuler des dynamiques d'écosystèmes.

- Les agents sont représentés par des sphères, ils peuvent se déplacer, grossir ou diminuer de volume.
- Des comportements compétitifs sont mis en place pour le partage de ressources nutritives. Des processus de reproduction asexuée sont également implémentés.
- Des systèmes énergétiques individuels sont modélisés et prennent en compte les assimilations, transformations de

nourriture, ainsi que les coûts de métabolisme et de croissance.

- Des classes spécifiques pour des végétaux, herbivores et carnivores sont définies.
- On peut ainsi étudier des systèmes trophiques complexes constitués de nombreuses espèces d'individus interagissant entre eux de différentes manières.

SimDelta

C. Cambier *Simdelta : un système multi-agents pour simuler la pêche sur le Delta Central du Niger*”, thèse de l’université Paris 6, 1994.

Laboratoire virtuel pour l’étude de la pêche :

- But : Synthétiser les connaissances de spécialistes en halieutique, écologie, anthropologie, ... sur l’étude du système de pêche du delta du Niger ;
- Simulation de la dynamique de population des poissons en prenant en compte des facteurs biologiques, topologiques variés, le comportement et l’interaction des pêcheurs ;

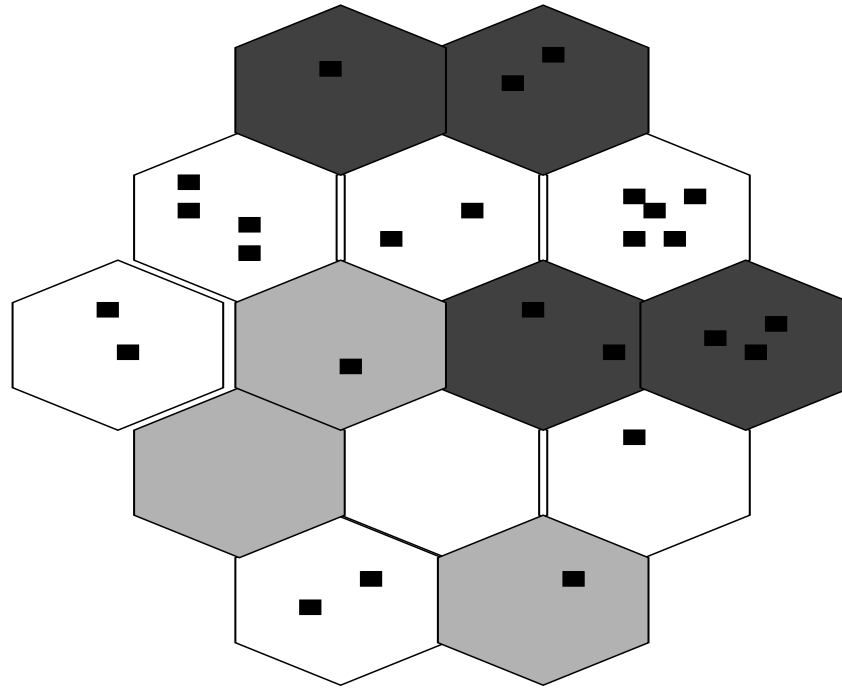
- Trois types d'agents :
 - biotopes représentant des portions d'environnement. Ils sont interconnectés de manière dynamique (modifications lors des crues, par exemple) et possèdent des ressources nutritives variables pour les poissons.
 - poissons avec comportement réactifs. Ils peuvent avoir des comportements collectifs, comme des bancs qui sont eux-mêmes réifiés en agents capables d'adaptation. On intègre des connaissances précises des biologistes sur la reproduction, la croissance, la mortalité et la migration de ces populations.

- pêcheurs avec comportement cognitifs. Ils contiennent une base de connaissance comprenant croyances, mémoire et règles de stratégies.
- Plusieurs simulations ont permis de faire des prévisions, dans le cas d'augmentation de l'effort de pêche, sur les modifications induites au niveau de la composition et de la taille des poissons.

Sealab

C. Lepage “*Biologie des populations et simulations individus centrés*”, thèse de l’université Paris 6, 1996 (peut se télécharger).

- Etude de l’influence d’un milieu hétérogène et fluctuant, s’exprimant par l’intermédiaire de comportements reproductifs sur l’abondance d’une population de poissons.
- L’environnement considéré, une portion de milieu marin, est modélisé par un pavage d’hexagones, chacun représentant un fragment d’habitat possédant un indice de conditions hydro-climatiques.



- Les individus-poissons se déplacent et se reproduisent dans cet environnement en fonction des conditions d'habitat. Deux stratégies de comportement sont implémentées :

- comportement “opportuniste” où l’individu se déplace vers les habitats présentant les meilleures conditions ;
- comportement “obstiné” où l’individu recherche toujours des conditions de vie analogues à celles de son début de vie.
- On expérimente l’évolution des populations avec des modifications brutales de l’environnement : seules des populations développant les 2 comportements précédents peuvent survivre.

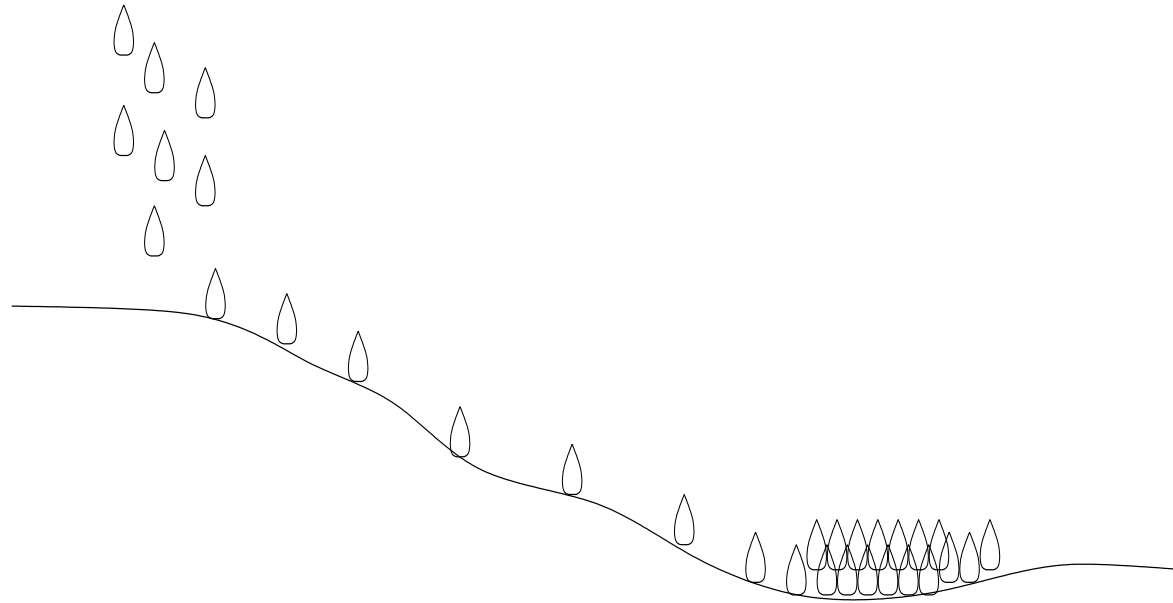
LIL - Université du Littoral - Equipe Ph. Preux

Coopération entre les laboratoires d'informatique et de biologie marine de Lille qui vise à définir des laboratoires virtuels par des SMA pour des études à caractère pluridisciplinaire comme, par exemple, le déplacement de zoo-plancton. Le comportement des agents-individus se fait grâce à des réseaux de Pétri : E. Ramat, P. Preux, Y. Lagadeuc et L. Seuront “*Modélisation et simulation multi-agents en biologie marine - étude du comportement du copépode*”, smaget 98. A télécharger sur le site du LIL.

Rivage - thèse D. Servat (27/11/2000)

Modèle décrivant les processus physiques de ruissellement et d'infiltration d'eau pouvant conduire éventuellement à la formation de mares, de ravines ou chemins d'eau.

On simule le comportement d'agents "boules d'eau" qui sont créés par des pluies. Ils se déplacent par pesanteur sur un terrain dont on connaît la topographie, puis s'aggrègent éventuellement.



On utilise un découpage du domaine par triangulation de Delaunay conduisant à définir des agents médiateurs qui se chargent de restructurer le domaine par aggrégation ou séparation.

Des agents sols permettent de gérer les phénomènes d'infiltration de l'eau ainsi que des phénomènes d'érosion par des pluies : des agents "boules de terre" peuvent ainsi être arrachés et projetés. On modifie ainsi dynamiquement l'environnement et la topographie sur laquelle se base la simulation.

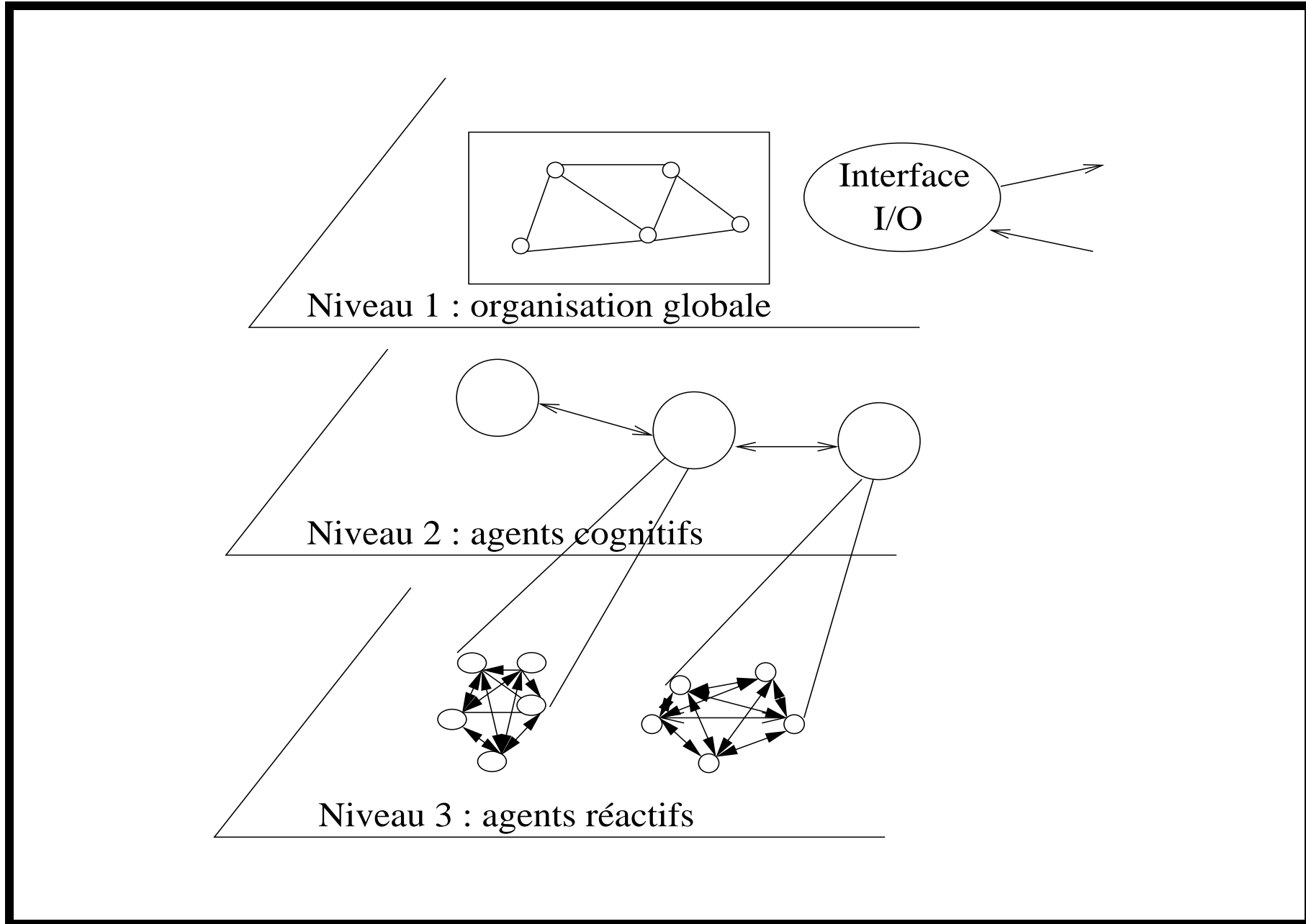
- David Servat "*Distribution du contrôle de l'action et de l'espace dans les simulations multi-agents*", JFIADSMA'00, Hermès.

Geamas

P. Marcenac “*Modélisation de systèmes complexes par agents*”, TSI, 16(8) : 1013-1037, 1997 (téléchargeable sur son site).

- **GE**neric **A**rchitecture for **M**ulti**A**gent **S**imulation :
architecture de développement de simulation de systèmes complexes pour la compréhension de l'émergence des comportements.
- Modélisation à plusieurs niveaux de granularité :
phénomène émergent vu comme une conséquence d'interactions entre composants d'un niveau inférieur.

- 3 niveaux d'abstraction basés sur une architecture hybride (agents réactifs + cognitifs) :
 - Niveau 1 : SMA d'organisation globale, gère les entrées/sorties, graphe des objectifs globaux ;
 - Niveau 2 : Agents cognitifs réalisant des buts intermédiaires et décrivant des processus d'interaction, de comportement et d'évolution ;
 - Niveau 3 : Agents réactifs/Micro-agents ou cellules dont l'action est basée sur des stimuli/réponses.
Communication et interaction sur un réseau d'accointance.



- Récursivité du modèle : interaction et plongement des différents niveaux les uns dans les autres.
- Interactions inter-niveaux :
 - Décomposition : d'un niveau supérieur vers un niveau inférieur pour prendre en compte soit un évènement extérieur, soit des traitements de lois générales contraignant les agents subordonnés ;
 - Recomposition : d'un niveau inférieur vers un niveau supérieur pour gérer les instabilités provoquées par un individu (intervalle de situation stable propre à chaque agent) sur son organisation (exemple : tas de sable)
- Application : Etude d'un système complexe de type

auto-organisés (au sens de P. Bak “*Quand la nature s’organise*”, Flammarion, 1999) décrivant le comportement du Piton de la Fournaise (île de la Réunion).

- Premier niveau global : macro-agent qui renvoie des renseignements statistiques sur la fréquence des éruptions volcaniques ;
- Second niveau : mise en place des agents intermédiaires, rochers complets et lentilles de magma capables d’éjecter du magma lorsque la pression devient trop grande ;
- Troisième niveau : micro-agents de cellules de roches ou de lentilles, capables de déstabiliser les agents de

niveau supérieurs et ainsi d'interagir avec eux par des processus de recomposition/composition.

Manta

Plateforme qui simule des organisations sociales de fourmis :

A. Drogoul “*De la simulation multi-agents à la résolution collective de problèmes*”, thèse de l’université Paris 6, 1993. A télécharger sur sa page personnelle du LIP6 (www.lip6.fr) groupe OASIS.

Manta (2)

- Modélisation comportementale de fourmis *Ectatomma ruidum* Roger pour l'étude de l'émergence de structures sociales au sein d'une colonie ;
- Application de l'**EthoModeling Framework**.



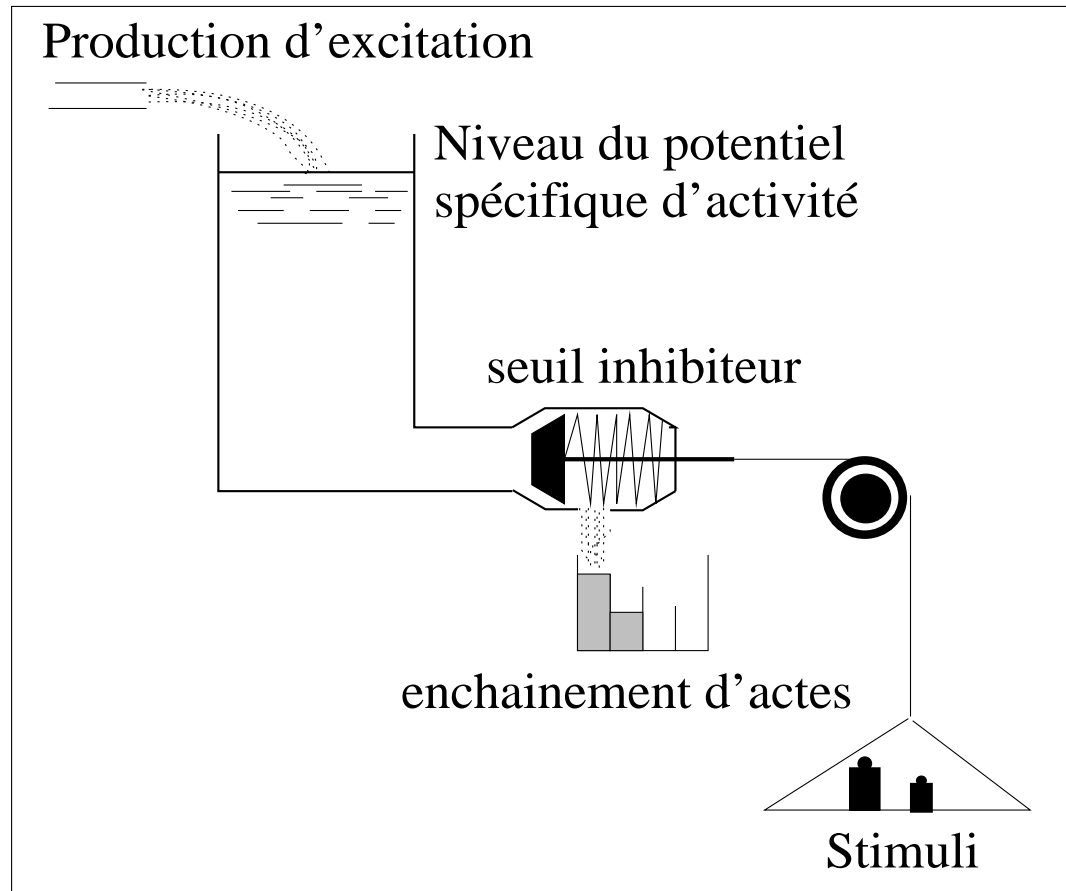
Manta (3)

EMF

- Proposé par A. Drogoul (1991-2000) ;
- Utilise le modèle d'activité instinctive de Lorenz
Konrad Lorenz
Les fondements de l'éthologie
1984, Champs Flammarion
- Modèle non hiérarchique de sélection de tâches.

Manta (4)

Modèle d'activité instinctive



L'activité instinctive est :

- stéréotypée, la marge de variation chez des individus d'une même espèce est très faible ;
- déclenchée par un stimulus externe spécifique par l'intermédiaire du **Mécanisme Inné de Déclenchement** ;
- le stimulus est renforcé par le **Potentiel d'Action Spécifique** qui correspond à la *motivation interne* de l'animal ;
- la réponse à cela se traduit par un enchaînement d'actes élémentaires.

Manta (5)

EMF

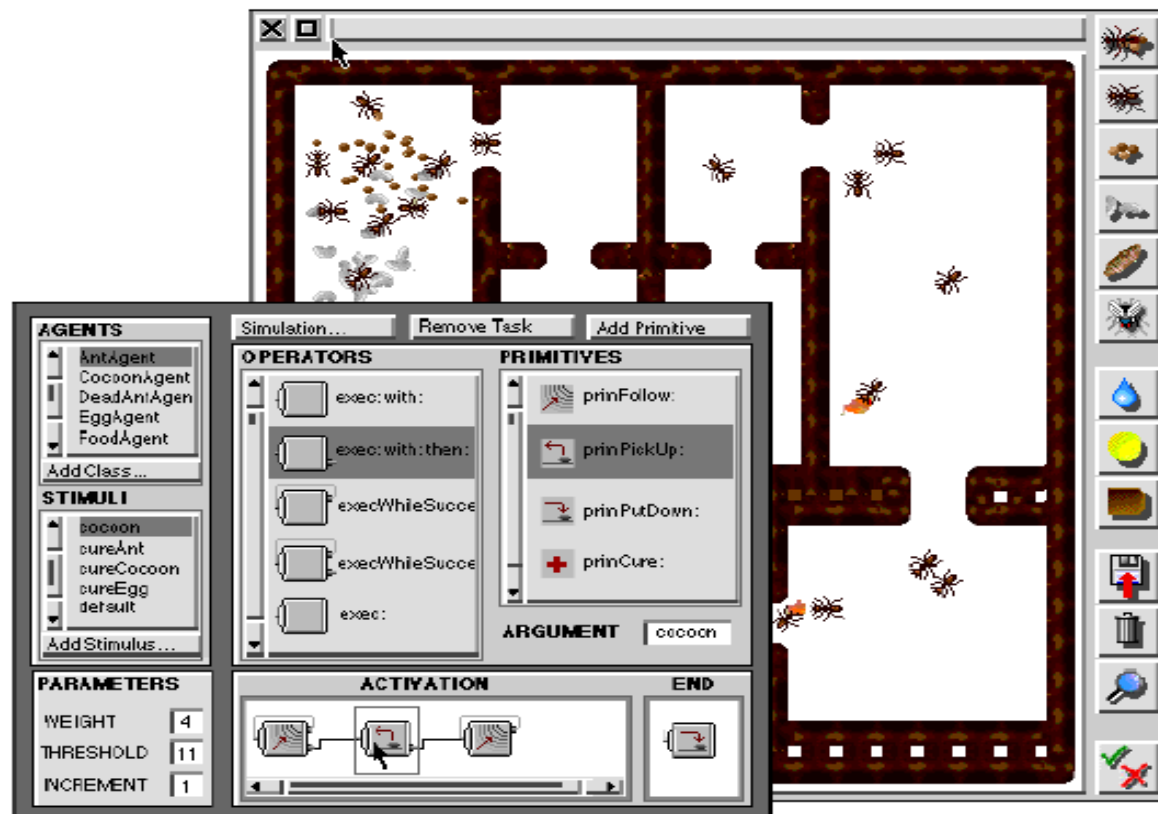
- Il s'agit d'agents réactifs.
- Le comportement d'un agent est modélisé par un ensemble de tâches indépendantes, composées d'une séquences de comportements (actes) élémentaires qui sont les primitives.
- Chacune de ces tâches est exclusive et est interruptible, son déclenchement provient de l'intensité des stimuli perçus par l'agent qui se combine avec la motivation préexistante de l'agent.
- Celle ci s'exprime en fonction d'un seuil inhibiteur et d'un

poids qui traduit le renforcement et l'habituatation.

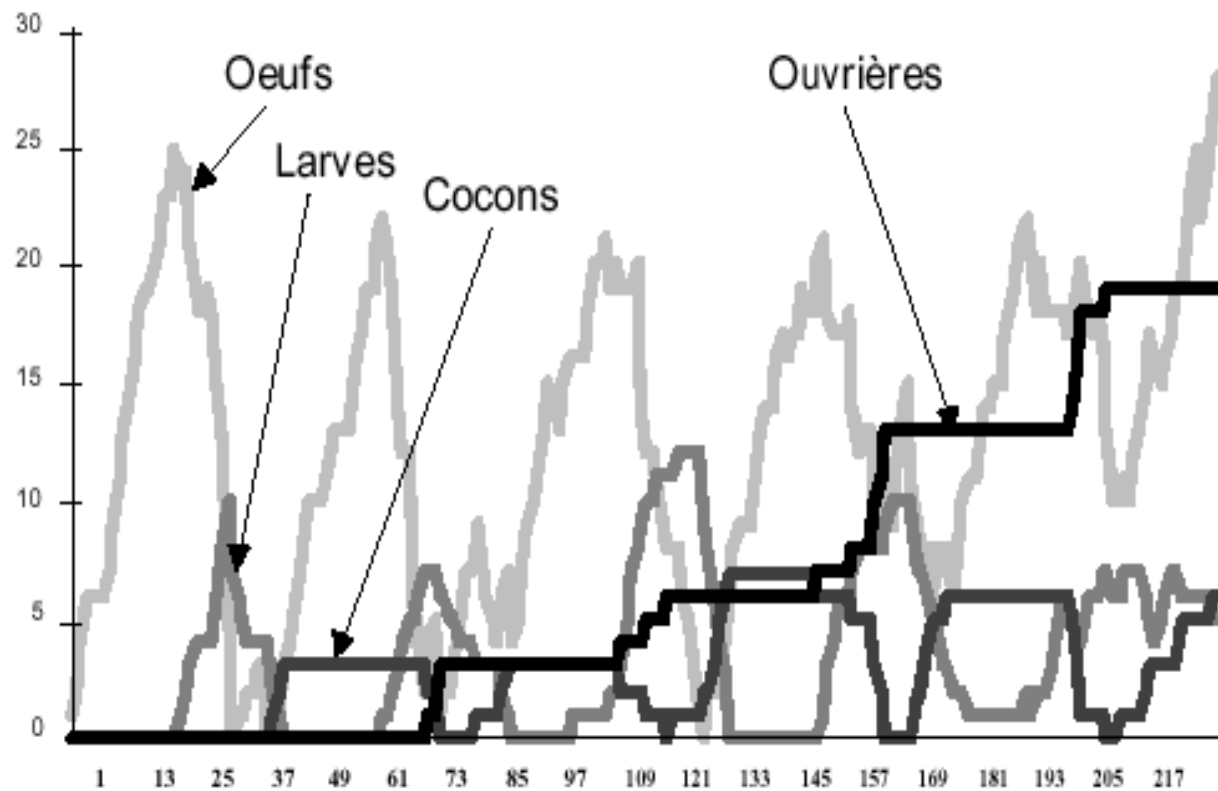
Manta (6)

Laboratoire virtuel

Outil de programmation dédié aux éthologues



Manta (7) Expériences



- Dynamique démographique, organisation sociale évolutive (cas d'études : plusieurs reines, restriction de nourriture, ...)
- Division du travail : stigmergie/feed-back positif, constitution de castes comportementales ;
- Hiérarchie sociale (reine/dominantes/ouvrières).

Manta (8)

Conclusion (A. Drogoul)

- Capacité démontrée à
 - Simuler des phénomènes collectifs émergeant de l'interaction entre individus ;
 - Proposer des modèles de comportements, des hypothèses vérifiables dans la réalité ;
 - Interroger la biologie sur ses interprétations.
- La simulation multi-agent est ici un outil essentiel pour la construction de modèles explicatifs de phénomènes complexes.