



Du modèle à un agent au modèle multi-agents

Introduction aux SMA



Un agent n'est pas un être isolé...

Le comportement d'un individu donné peut

- ❖ être différent de celui des autres
- ❖ dépendre de celui des autres
- ❖ avoir un impact sur celui des autres

**Au-delà du comportement individuel, il faut donc étudier
le résultat de l'aggrégation des comportements
individuels**

Un peu de vocabulaire...

Systemes multi-agents

Modèles multi-agents

Modèles individu-centrés

Modèles orientés objets

etc.

... en gros, c'est la même chose

Automate cellulaire (ou « machine de Turing »)

... un peu différent, « ancêtre » des SMA

Qu'est-ce qu'un système complexe ?

Complexe ou Compliqué ?



Qu'est-ce qu'un système complexe ?

Des entités

... qui interagissent

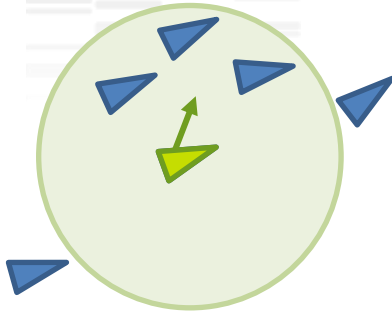
- ❖ positivement ou négativement
- ❖ entre elles et/ou avec l'environnement

... de façon locale

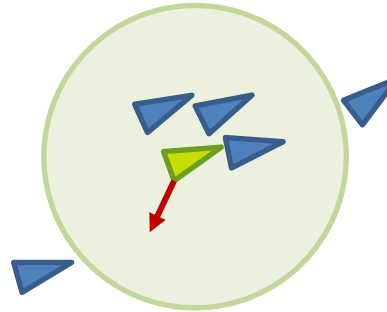
Il en découle des propriétés émergentes

- ❖ Les comportements et interactions **micro** sont « simples »
- ❖ Les propriétés **macro** sont « complexes »

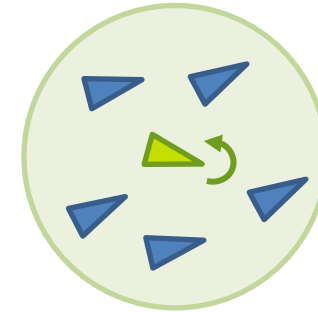
Un exemple



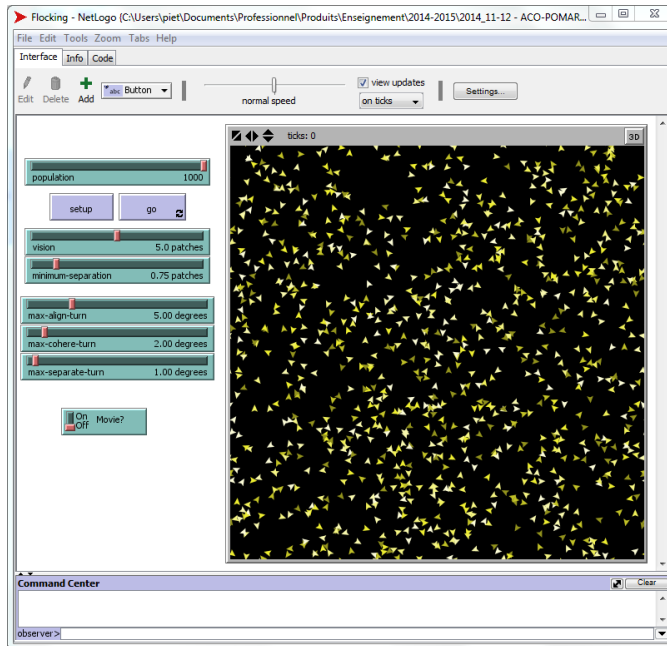
Cohésion



Séparation



Alignement



« Problème » versus « Problème inverse »

Problème

- ❖ Déterminer le **macro** à partir du **micro** : « problème » (simulation)
- ❖ Prévoir les comportements d'après les règles



Problème inverse

- ❖ Déterminer le **micro** à partir du **macro** : « pb inverse » (reconstruction)
- ❖ Trouver les règles d'après les comportements

Problème inverse (en général) beaucoup plus dur à résoudre !

Quelques caractéristiques importantes

Non linéarités

Dépendance au sentier (« path-dependency »)

Effet cliquet (« locking in »)

Clavier « Qwerty »



Clavier « Dvorak »



Qu'est-ce qu'un système complexe ?

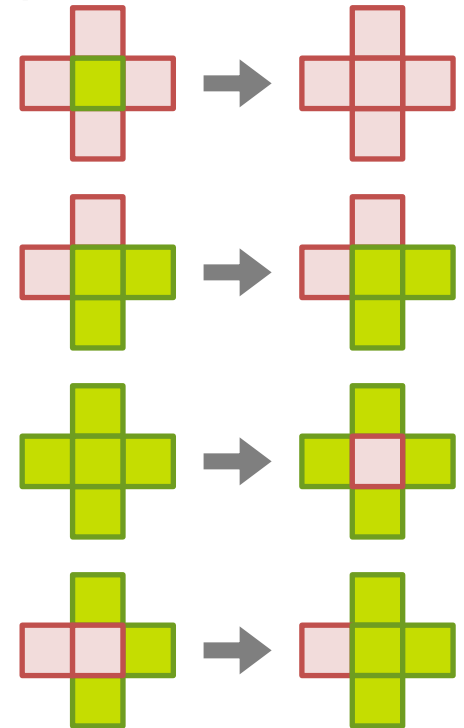
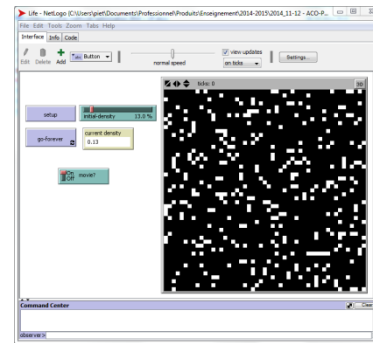
Alors, Complexe ou Compliqué ???



Les automates cellulaires (AC)

L'archétype : le jeu de la vie (Conway, 1970's)

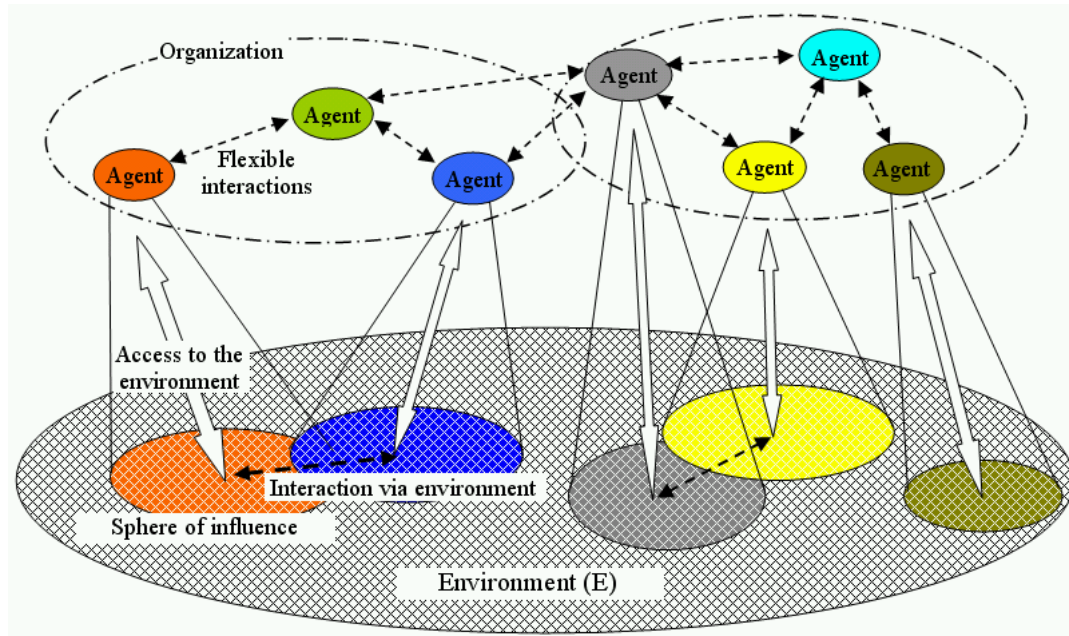
- ❖ On se donne une grille de pixels
- ❖ Chaque pixel
 - est vivant ou mort
 - a 4 voisins
- ❖ L'état d'un pixel dépend
 - de son état à l'itération précédente
 - des états de ses voisins
 - de règles déterministes
- ❖ Des « patterns » émergent
 - Formes stables
 - Oscillateurs
 - Planeurs
 - Vaisseaux
 - ... et plus !



SMA versus AC

SMA : agents ET environnement

- ❖ Les agents peuvent
 - se déplacer
 - modifier l'environnement (stygmergie)
- ❖ Il peut y avoir
 - plusieurs agents « au même endroit »
 - plusieurs catégories d'agents
 - plusieurs niveaux d'organisation
 - etc.



Mais AC peuvent parfois suffire !

Les agents dans les SMA

Les agents sont

- ❖ Autonomes
 - peuvent traiter l'information et la partager pour prendre des décisions de façon indépendante
- ❖ Hétérogènes
 - selon leurs attributs, leurs comportements, etc.
- ❖ Actifs
 - ont un « but »
 - sont dotés d'une capacité de perception
 - ont une rationalité limitée (information imparfaite, locale)
 - peuvent interagir / communiquer
 - peuvent être mobiles
 - peuvent s'adapter, apprendre

Un SMA, dans quels cas ?

D'après Boulanger et Bréchet (Ecol. Econ., 2005)

Table 4

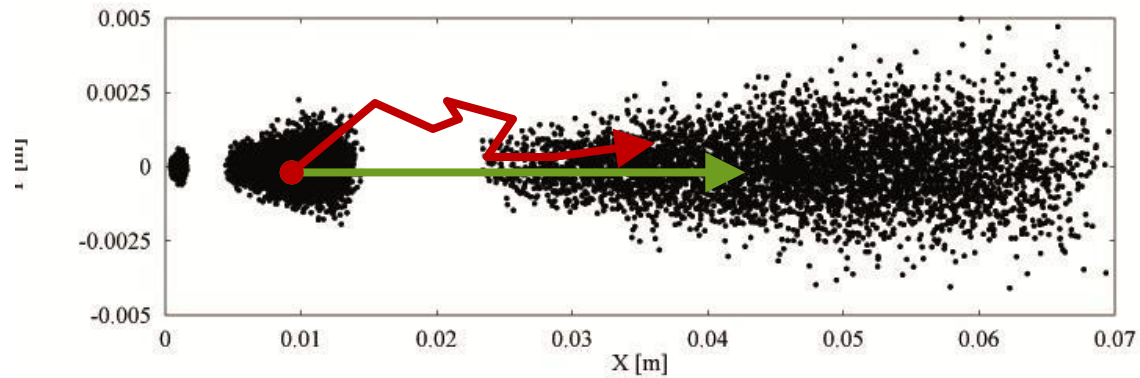
Relative strengths and weaknesses of various modelling approaches with respect to criteria for sustainable development policy-making

	Interdisciplinary potential	Long-term, intergenerational	Uncertainty management	Local-global	Participation	Ranking
Multi-agents	0.29	0.27	0.30	0.34	0.40	1
System dynamics	0.29	0.27	0.08	0.11	0.20	2
Bayesian networks	0.17	0.07	0.39	0.17	0.13	3
Optimization	0.05	0.07	0.06	0.17	0.08	6
General equilibrium	0.10	0.21	0.08	0.11	0.08	4
Macro-econometric	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	5

Cas typiques

- ❖ Quand l'approche « agents » se prête bien au problème
- ❖ Quand on peut s'y ramener et que ça « simplifie les choses », e.g. :
 - il existe un modèle analytique
 - on en connaît des solutions dans des cas (très) simples
 - on ne sait pas faire dans les cas « compliqués »

Évolution de la concentration d'un polluant



Approche agents

Approche analytique

	Position	Vitesse	Dispersion
Particule 1	x_1	u_1	d_1
Particule 2	x_2	u_2	d_2
...
Particule n	x_n	u_n	d_n

Évolution de la concentration d'un polluant

Les deux types d'approche

- ❖ L'approche **analytique** : une équation différentielle

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \underbrace{D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}}_{\text{dispersion}} - \underbrace{\left(U_x \frac{\partial C}{\partial x} + U_y \frac{\partial C}{\partial y} \right)}_{\text{vitesse}}$$

- ❖ L'approche **multi-agents** : des particules qui se déplacent

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t + dt) = x(t) + \beta_1 \sqrt{2d_x dt} \frac{u_x}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} - \beta_2 \sqrt{2d_y dt} \frac{u_y}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} + u_x t \\ y(t + dt) = x(t) + \beta_1 \sqrt{2d_x dt} \frac{u_y}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} - \beta_2 \sqrt{2d_y dt} \frac{u_x}{\sqrt{u_x^2 + u_y^2}} + u_y t \end{array} \right.$$

$\underbrace{\hspace{15em}}_{\text{dispersion}} \quad \underbrace{\hspace{5em}}_{\text{vitesse}}$

⇒ **concentration** = propriété émergente : nb de particules en (x,y) à t

Évolution de la concentration d'un polluant

Solution dans le cas 1D et milieu semi-infini

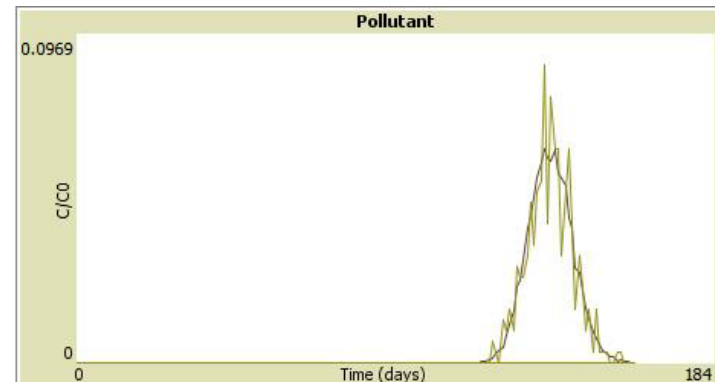
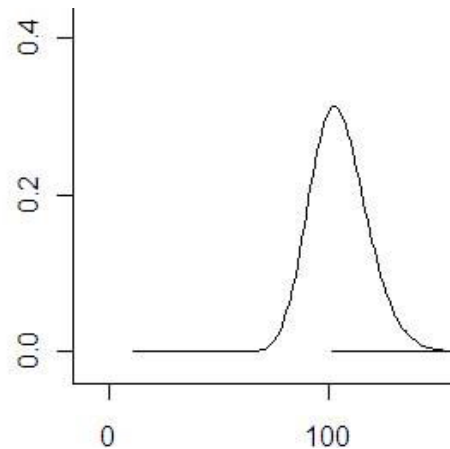
❖ L'approche **analytique**

$$C(x,t) = \frac{C_0}{2} \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x_0 - Ut}{2\sqrt{Dt}}\right) + \exp\left(\frac{Ux_0}{D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x_0 + Ut}{2\sqrt{Dt}}\right) \right] - \frac{C_0}{2} \left[\operatorname{erfc}\left(\frac{x - U(t-t_0)}{2\sqrt{D(t-t_0)}}\right) + \exp\left(\frac{Ux}{D}\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{x + U(t-t_0)}{2\sqrt{D(t-t_0)}}\right) \right]$$

❖ L'approche **multi-agents**

▪ Environnement : une propriété, h = hauteur de la nappe

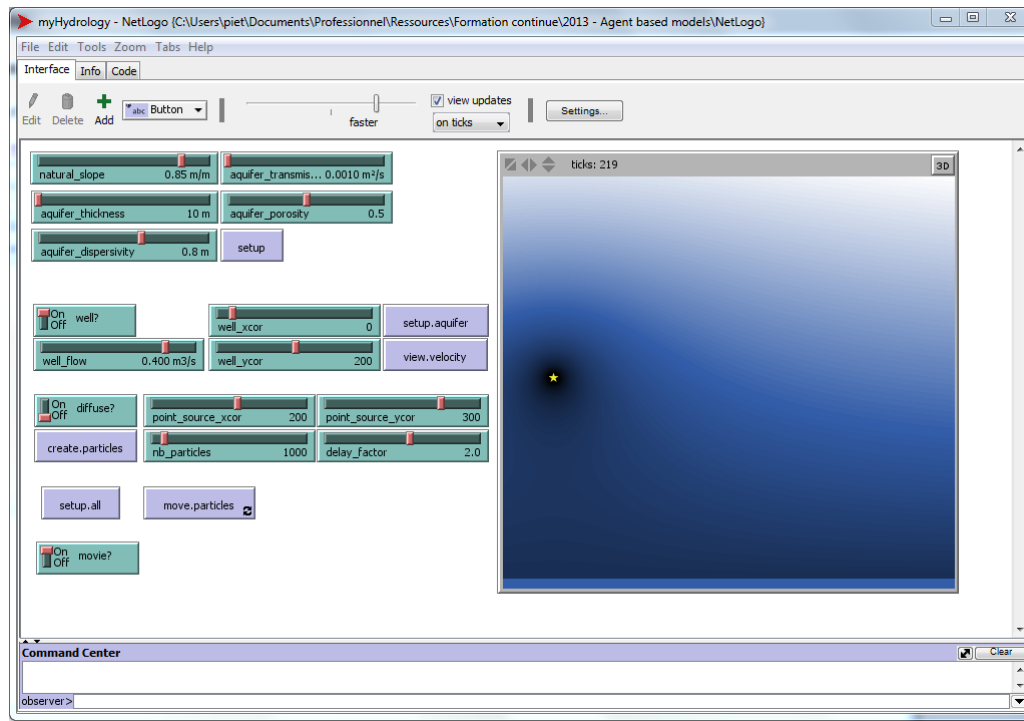
▪ Agents-particules : 2 variables d'état $u_x = -\theta \frac{\partial h}{\partial x}$, $d_x = \alpha u_x$



Évolution de la concentration d'un polluant

Solution dans un cas « compliqué » ?

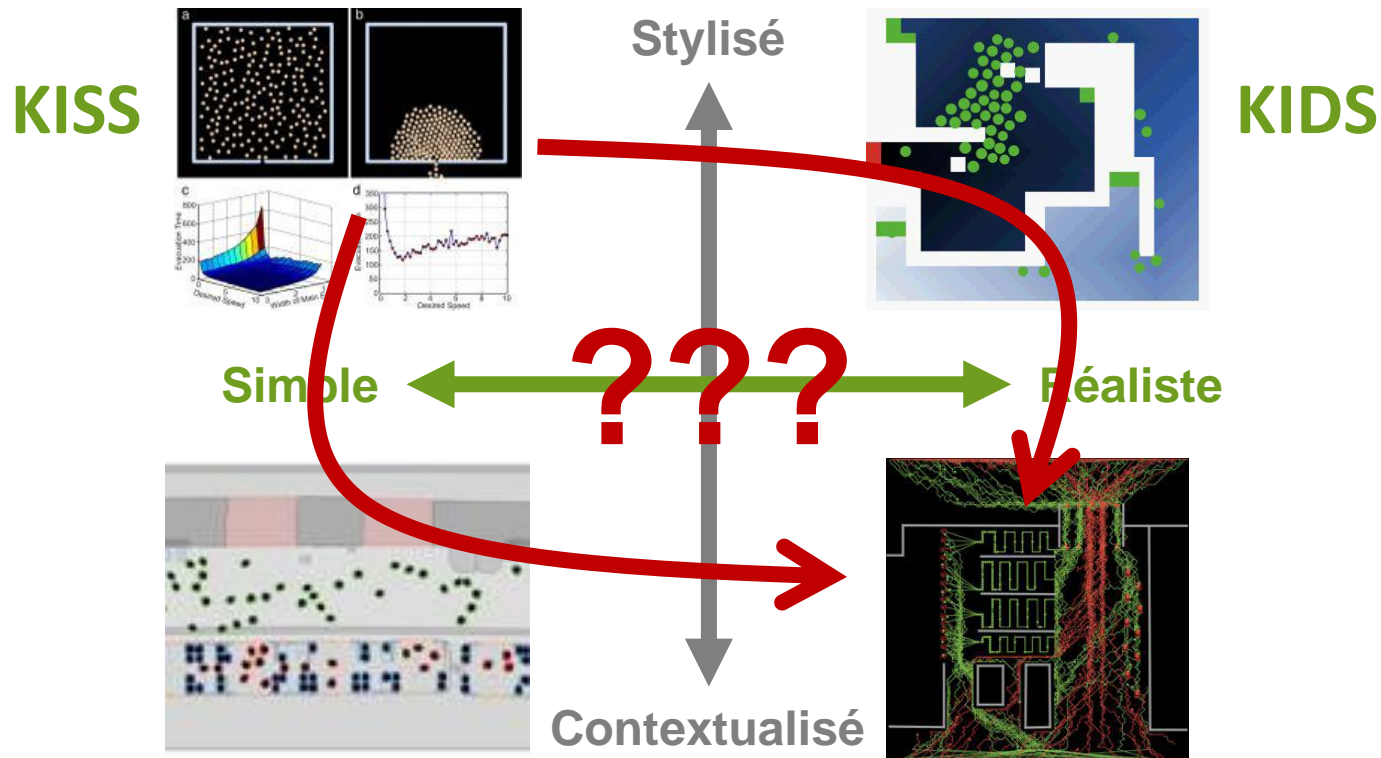
- ❖ Milieux différents, plusieurs sources/puits, obstacles, etc.
 - L'approche **analytique** : difficile
 - L'approche **multi-agents** : « facile »



Différents types de modèles

KISS *versus* KIDS

- ❖ « **K** **e**ep **I**t **S**imple and **S**tupid »
- ❖ « **K** **e**ep **I**t **D**escriptive and **S**tupid »



Documenter un SMA

Le protocole **Overview Design Details** (Grimm et al., Ecol. Model., 2010)

- ❖ Vue d'ensemble
 - Objectif
 - Entités, variables et échelles
 - Synthèse des processus et de leur enchaînement
- ❖ Spécification des concepts
 - Principe de base
 - Adaptation
 - Apprentissages
 - Perceptions
 - Stochasticité
 - Observation
 - Émergence
 - Fonction(s) objectif
 - Anticipations
 - Interactions
 - Comportements collectifs
- ❖ Détails
 - Initialisation
 - Données en entrée
 - Sous-modèles

SMA et SHS

Géographie

- ❖ Physique (ruissellement, feux de forêt, etc.)
- ❖ Humaine (planification urbaine, changement d'occupation des sols, etc.)

Sociologie

- ❖ Comportements (coopération, ségrégation, altruisme, rébellion, etc.)
- ❖ Réseaux

Économie

- ❖ Exploitation d'une ressource
- ❖ Marchés, économie dans son ensemble
- ❖ Théorie des jeux
- ❖ Finance
- ❖ etc.

Économie agricole

- ❖ AgriPolis, RegMAS, MP-MAS, CORMAS, Swissland...

Un peu de bibliographie

- Amblard, F., Phan, D., dirs. (2006).** Modélisation et simulation multi-agents : applications pour les Sciences de l'Homme et de la Société. Hermes Science Publications, 446 p.
- Balmann, A. (1997).** Farm-based modelling of regional structural change: A cellular automata approach. *European Review of Agricultural Economics* 24: 85-108.
- Bargigli, L., Tedeschi, G. (2013).** Major trends in agent-based economics. *Journal of Economic Interaction and Coordination* 8: 211-217.
- Berger, T., Troost, C. (2014).** Agent-based Modelling of Climate Adaptation and Mitigation Options in Agriculture. *Journal of Agricultural Economics* 65: 323-348.
- Boulanger, P.-M., Bréchet, T. (2005).** Models for policy-making in sustainable development: The state of the art and perspectives for research. *Ecological Economics* 55: 337-350.
- Chen, S.-H., Wang, S. G. (2011).** Emergent complexity in agent-based computational economics. *Journal of Economic Surveys* 25: 527-546.
- Filatova, T., Voinov, A., van der Veen, A. (2011).** Land market mechanisms for preservation of space for coastal ecosystems: An agent-based analysis. *Environmental Modelling & Software* 26: 179-190.
- Grimm, V. (1999).** Ten years of individual-based modelling in ecology: what have we learned and what could we learn in the future? *Ecological Modelling* 115: 129-148.
- Grimm, V., et al. (2010).** The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling* 221: 2760-2768.
- Happe, K. et al. (2008).** Does structure matter? The impact of switching the agricultural policy regime on farm structures. *Journal of Economic Behavior and Organization* 67: 431-444.
- Lobianco, A., Esposti, R. (2010).** The Regional Multi-Agent Simulator (RegMAS): An open-source spatially explicit model to assess the impact of agricultural policies. *Computers and Electronics in Agriculture* 72: 14-26.
- Mueller, B. et al. (2013).** Describing human decisions in agent-based models. ODD+D, an extension of the ODD protocol. *Environmental Modelling & Software* 48: 37-48
- Silveira, J. J., Espindola, A. L., Penna, T. (2006).** Agent-based model to rural-urban migration analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* 364: 445 – 456.
- Tesfatsion, L., Judd, K., eds. (2006).** Handbook of Computational Economics, vol 2, Agent-Based Computational Economics. Elsevier, North-Holland.



Introduction à NetLogo



Programmer un SMA

Différentes plateformes

	SWARM	REPAST	MASON	NETLOGO
Licence	GPL	GPL	GPL	Freeware
Communauté	En diminution	Importante	En croissance	Importante
Rapidité	Moyenne	Rapide	Très rapide	Moyenne
Interface	Médiocre	Bonne	Bonne	Très bonne
Facilité	Médiocre	Bonne	Bonne	Très bonne
Documentation	Fragmentaire	Médiocre	En progrès	Bonne

... et bien d'autres !

Un premier modèle dans NetLogo

Principe

- ❖ On dispose d'une ressource ayant un certain taux de renouvellement
- ❖ Des agents se déplacent et consomment la ressource pour en retirer de l'énergie
- ❖ Se déplacer consomme de l'énergie
- ❖ Les agents se reproduisent s'ils ont suffisamment d'énergie
- ❖ Les agents meurent s'ils n'ont plus d'énergie

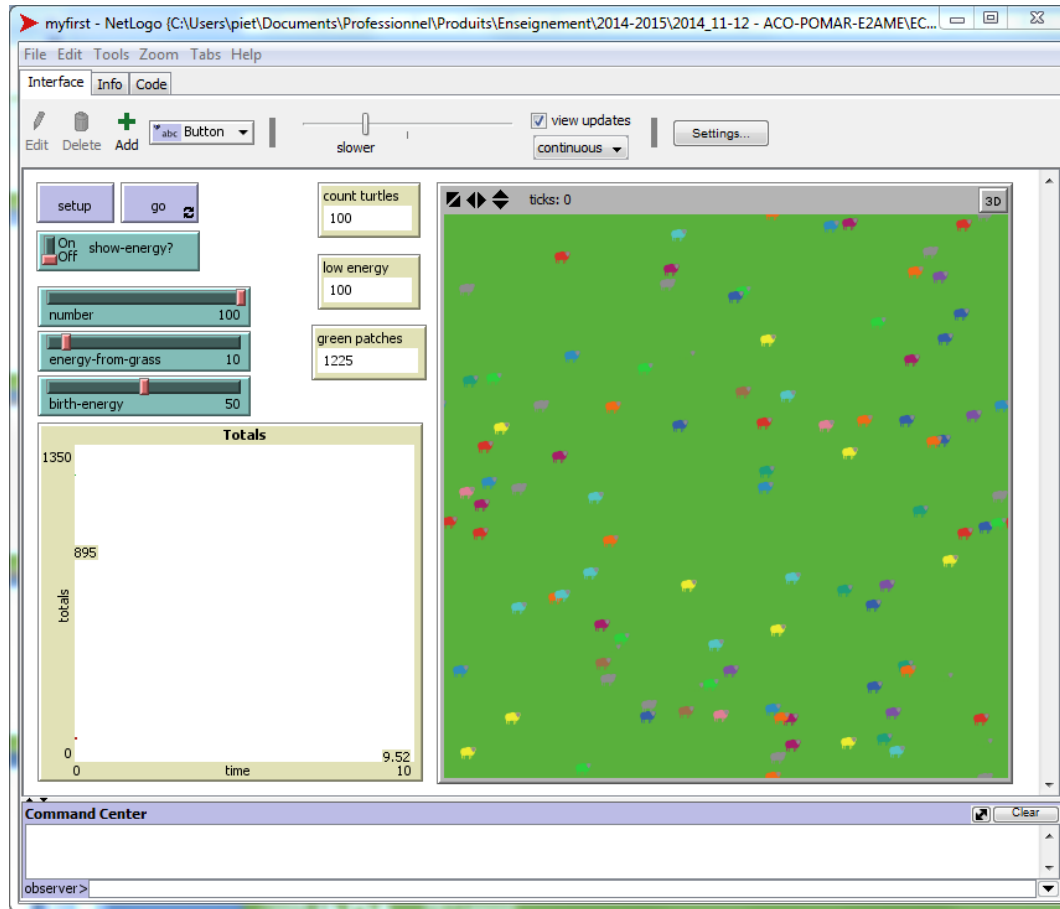
Question

- ❖ Dynamique des deux populations, ressource et agents ?

NetLogo : *Myfirst.netlogo*

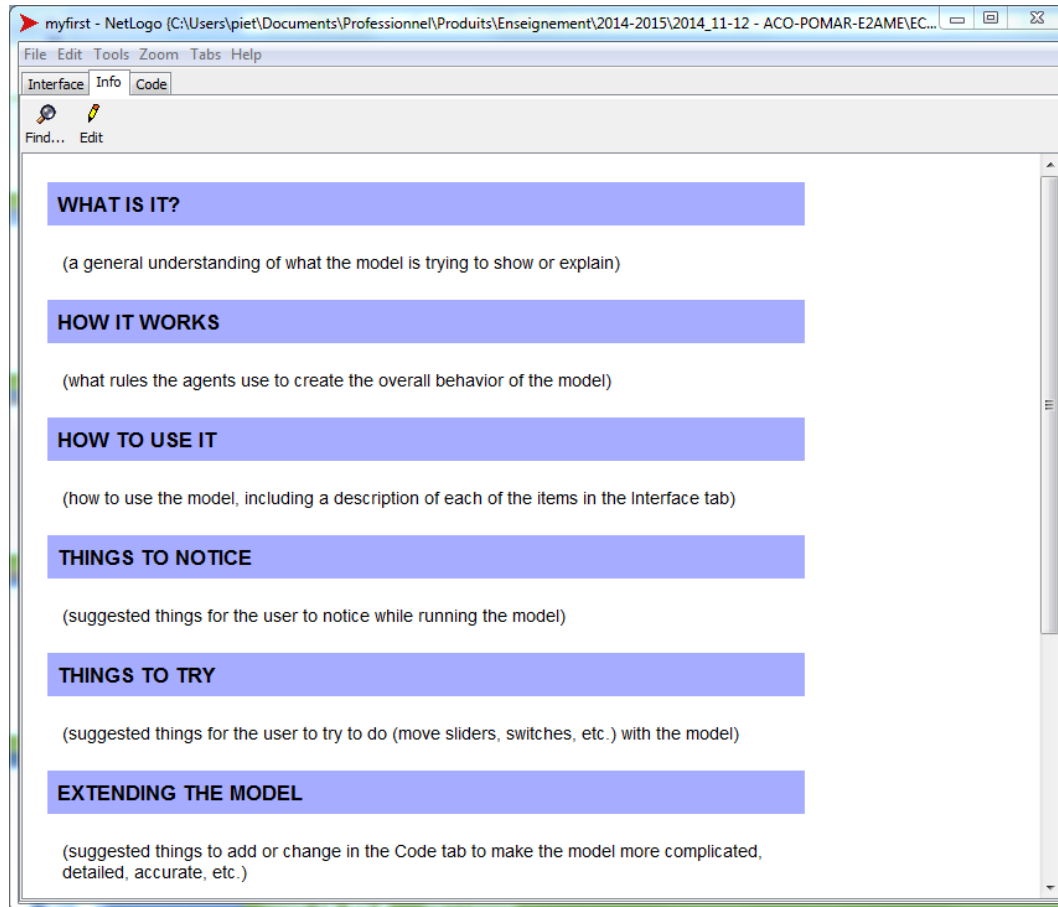
NetLogo : les trois fenêtres principales

Fenêtre « Interface »



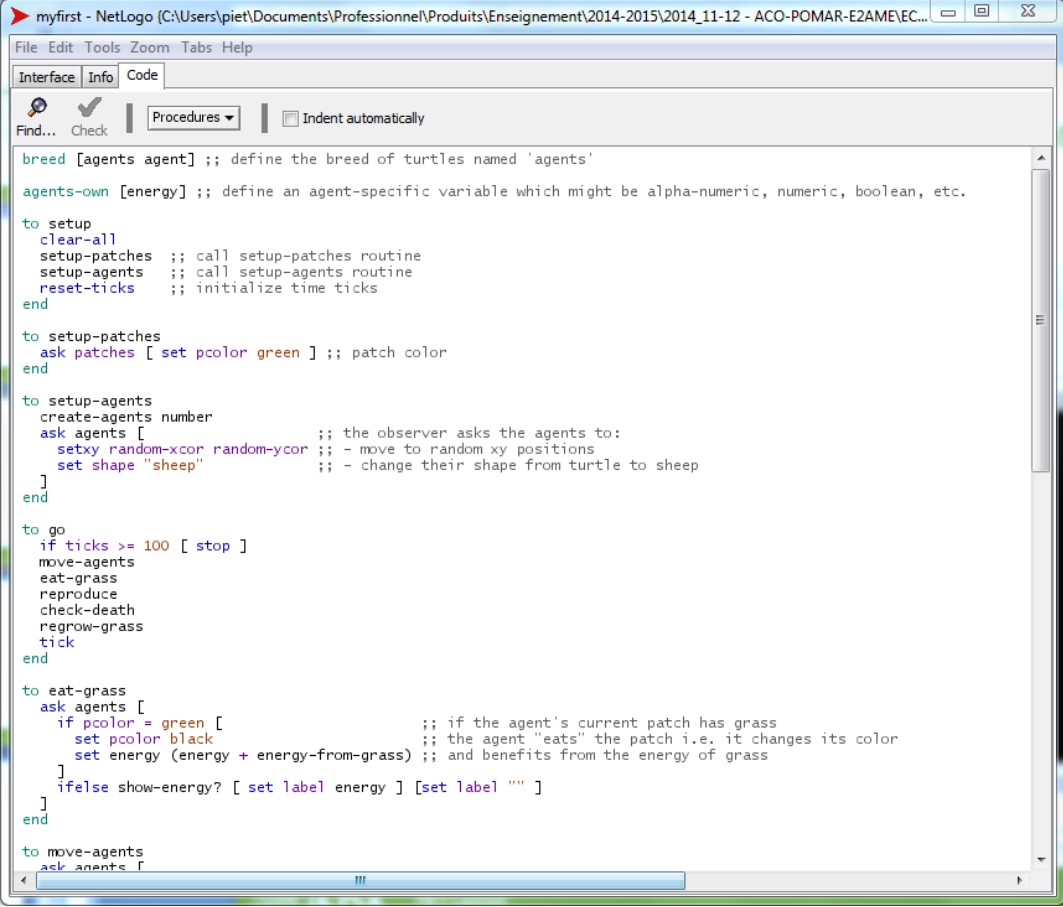
NetLogo : les trois fenêtres principales

Fenêtre « Info »



NetLogo : les trois fenêtres principales

Fenêtre « Code »



```
myfirst - NetLogo (C:\Users\piet\Documents\Professionnel\Produits\Enseignement\2014-2015\2014_11-12 - ACO-POMAR-E2AME\EC...
File Edit Tools Zoom Tabs Help
Interface Info Code
Find... Check Procedures Indent automatically

breed [agents agent] ;; define the breed of turtles named 'agents'
agents-own [energy] ;; define an agent-specific variable which might be alpha-numeric, numeric, boolean, etc.

to setup
  clear-all
  setup-patches ;; call setup-patches routine
  setup-agents ;; call setup-agents routine
  reset-ticks ;; initialize time ticks
end

to setup-patches
  ask patches [ set pcolor green ] ;; patch color
end

to setup-agents
  create-agents number
  ask agents [
    setxy random-xcor random-ycor ;; - move to random xy positions
    set shape "sheep" ;; - change their shape from turtle to sheep
  ]
end

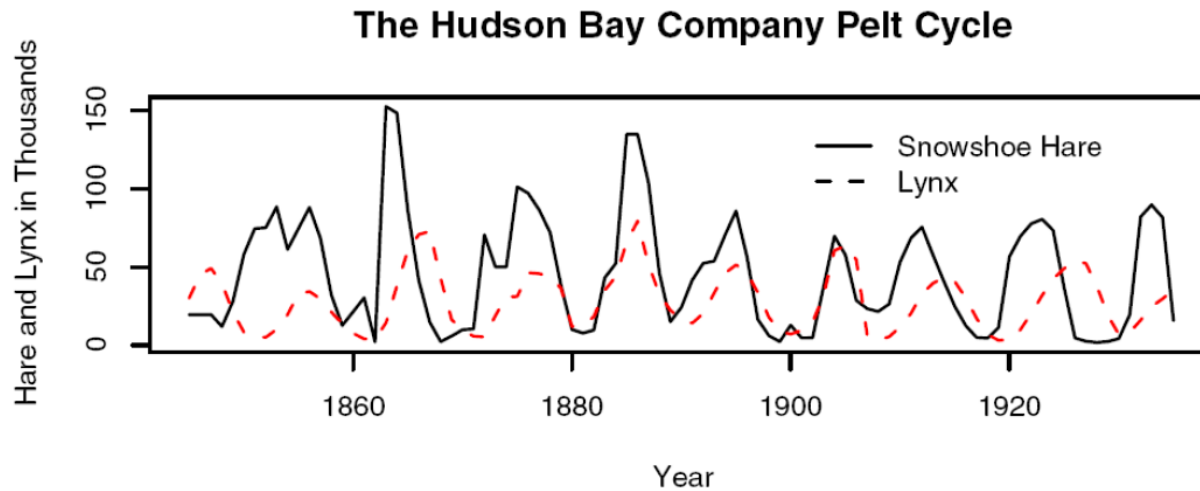
to go
  if ticks >= 100 [ stop ]
  move-agents
  eat-grass
  reproduce
  check-death
  regrow-grass
  tick
end

to eat-grass
  ask agents [
    if pcolor = green [
      set pcolor black ;; if the agent's current patch has grass
                        ;; the agent "eats" the patch i.e. it changes its color
      set energy (energy + energy-from-grass) ;; and benefits from the energy of grass
    ]
    ifelse show-energy? [ set label energy ] [set label "" ]
  ]
end

to move-agents
  ask agents [
```

Le modèle « proie-prédateur »

A l'origine...



Modèle de Lotka-Volterra

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = \gamma \cdot h - \alpha \cdot p \cdot h \\ \frac{dp}{dt} = \tau \cdot \alpha \cdot p \cdot h - \mu \cdot p \end{cases}$$

h densité de la proie

p densité du prédateur

γ taux de naissance de la proie

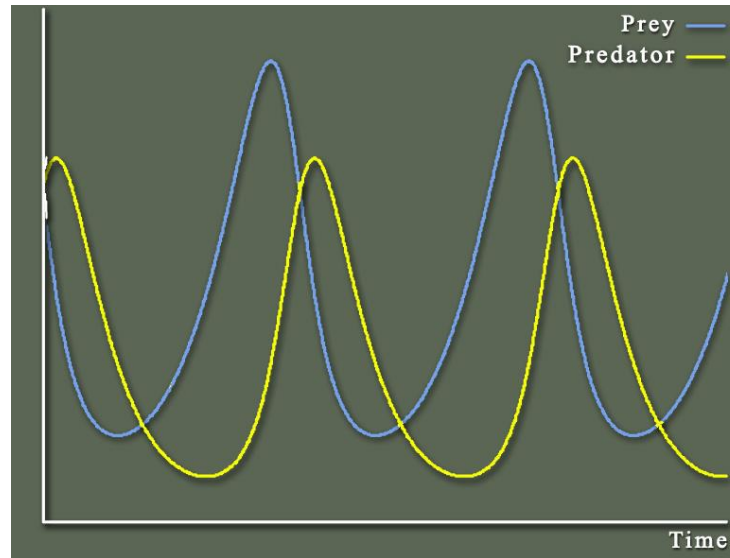
α taux d'attaque réussie

τ taux de « transformation »

μ taux de mortalité du prédateur

Le modèle « proie-prédateur »

Solution analytique du modèle de Lotka-Volterra



Version multi-agents

- ❖ NetLogo : *Wolf Sheep Predation – basic.nlogo*
- ❖ Modélisation ?
- ❖ Allure des résultats ?

Le modèle « proie-prédateur »

Exercice : implémenter 2 extensions possibles...

1. « Les moutons, ça se regroupe »

- ❖ Reproduire le comportement grégaire des moutons
- ❖ **Binômes 1 à 6**

2. « Les moutons, ça mange de l'herbe »

- ❖ Introduire une ressource renouvelable dont les moutons tirent leur énergie
- ❖ **Binômes 7 à 12**

Merci de votre attention !