

La Dynamique des Systèmes complexes pour les politiques publiques

Quelles applications ?

Complexio depuis 2006 en quelques mots...

- ✓ Développement de **logiciels de simulation dynamique**, outils d'aide à la décision dans des environnements complexes, en utilisant la méthode de la **Dynamique des Systèmes**
- ✓ De nombreux **projets** ont été menés en France et à l'international dans des disciplines variées: économie, écologie, transports, politiques publiques, santé...
- ✓ Création d'**interfaces interactives** et conviviales (simulation possible sur internet)
- ✓ Complexio est également organisme de **formation**: approche systémique et modélisation en Dynamique des Systèmes

Qu'est-ce que la Dynamique des Systèmes ?

(System Dynamics)

Les origines en quelques mots

Il s'agit d'une **méthodologie** et d'une **technique de modélisation** informatique des systèmes (simulations) développée par Jay W. Forrester au MIT, il y a environ 60 ans.

Elle a été appliquée à l'origine au management des entreprises dans le domaine industriel, le premier ouvrage de Jay W. Forrester s'intitule *Industrial Dynamics* (1961).

Les origines en quelques mots

Il en édicte par la suite les principes généraux en publiant en 1968 *Principles of Systems*.

Ses domaines d'application se sont ensuite rapidement étendus, notamment à celui des sciences sociales avec *Urban Dynamics* en 1969.

Ouvrage réédité en 1969, 1970, 1973, 1976, 1979, 1999, 2015 !

Des références incontournables...

- Les travaux du **Club de Rome** avec le rapport Meadows intitulé *The Limits to Growth* (1972) basé sur le modèle de Dynamique des Systèmes appelé **World3**.

On trouve aujourd'hui l'ouvrage *The Limits to Growth – The 30-Year Update* (publié en 2004).

Ces travaux se sont appuyés sur le modèle présenté dans l'ouvrage de Jay W. Forrester intitulé *the World Dynamics* en 1971 (considéré alors comme le prototype de World3).

Des références incontournables...

Extraits de *Short Version of the Limits to Growth* (1972)

« Our model was built specifically to investigate five major trends of global concern – accelerating industrialization, rapid population growth, widespread malnutrition, depletion of nonrenewable resources, and a deteriorating environment. »*

Ces travaux démontrent que les taux de **croissance** de la population, économique et industriel sont incompatibles avec un monde aux **ressources physiques limitées**, et qu'il est peu probable que les **progrès technologiques** puissent y remédier.

**Short Version of the Limits to Growth* est une synthèse du rapport téléchargeable sur internet.

Des références incontournables...

Extraits de *Short Version of the Limits to Growth* (1972)

« Our conclusions are :

1. If the present growth trends in world population, industrialization, pollution, food production, and resource depletion continue unchanged, the **limits to growth** on this **planet** will be reached sometime within the **next one hundred years**. The most probable result will be a rather **sudden and uncontrollable decline in both population and industrial capacity**.

Des références incontournables...

Extraits de *Short Version of the Limits to Growth* (1972)

« Our conclusions are :

2. It is possible to alter these growth trends and to establish a condition of **ecological and economic stability** that is **sustainable** far into the future. The state of **global equilibrium** could be designed so that the basic material needs of each person on earth are satisfied and each person has an equal opportunity to realize his individual human potential. »

Des références incontournables...

The Limits to Growth (1972)

Les auteurs concluent qu'une **transition** est **urgente**: il faut passer d'un modèle de **croissance** à un modèle d'**équilibre**, tant d'un point de vue **écologique** qu'**économique**, seul garant d'une société **durable**.

Si les **tendances actuelles** de la **croissance** perdurent, ils anticipent en effet un **effondrement** avant 2100 (déclin incontrôlable de la population et économique).

La société doit, selon eux, changer de culture et apprendre à **vivre** dans un **monde fini** et non chercher à repousser sans cesse ses **limites**.

« Time is short. We must move quickly if we are to keep future options open. »
(Jay W. Forrester, 1973)

Des références incontournables...

- L'ouvrage de référence actuel : *Business Dynamics* de John D. Sterman (MIT, 2000, Irwin McGraw-Hill).
- En France, *La systémique, penser et agir dans la complexité* de M. Karsky et G. Donnadiou (2004, Ed. Liaisons).

Les grands principes de la dynamique des systèmes

- La Dynamique des Systèmes relève d'une approche dite **systemique**, comprenant des **boucles de rétroaction** positives et négatives.

Elle utilise à la fois les concepts de la théorie de l'information et du contrôle (*feedback control theory*).

Les grands principes de la dynamique des systèmes

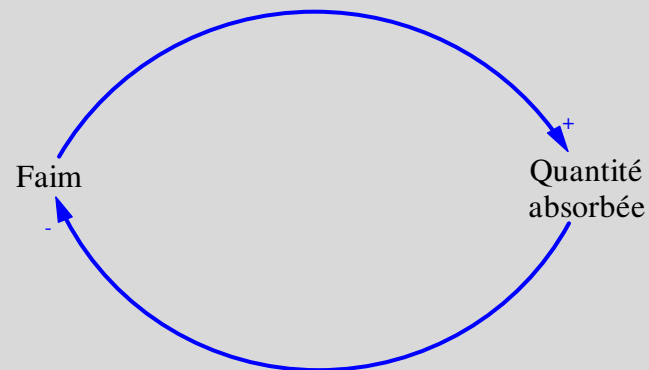
Proposition de définition d'un système

Un système peut être défini comme un ensemble d'éléments qui **interagissent** les uns avec les autres.

Les grands principes de la dynamique des systèmes

Les boucles de rétroaction peuvent être de deux sortes:

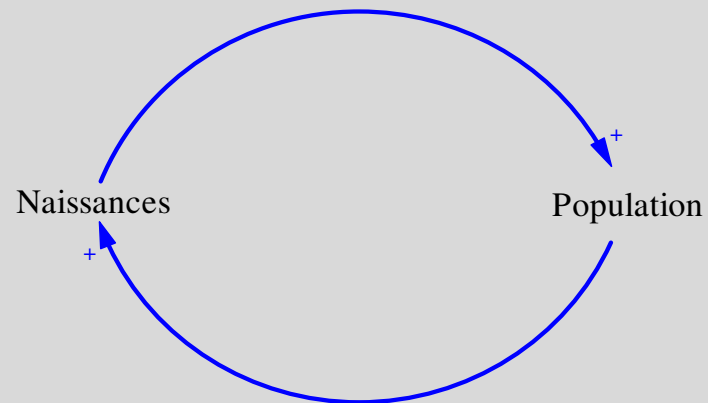
- soit négatives (dites de régulation ou stabilisatrices);



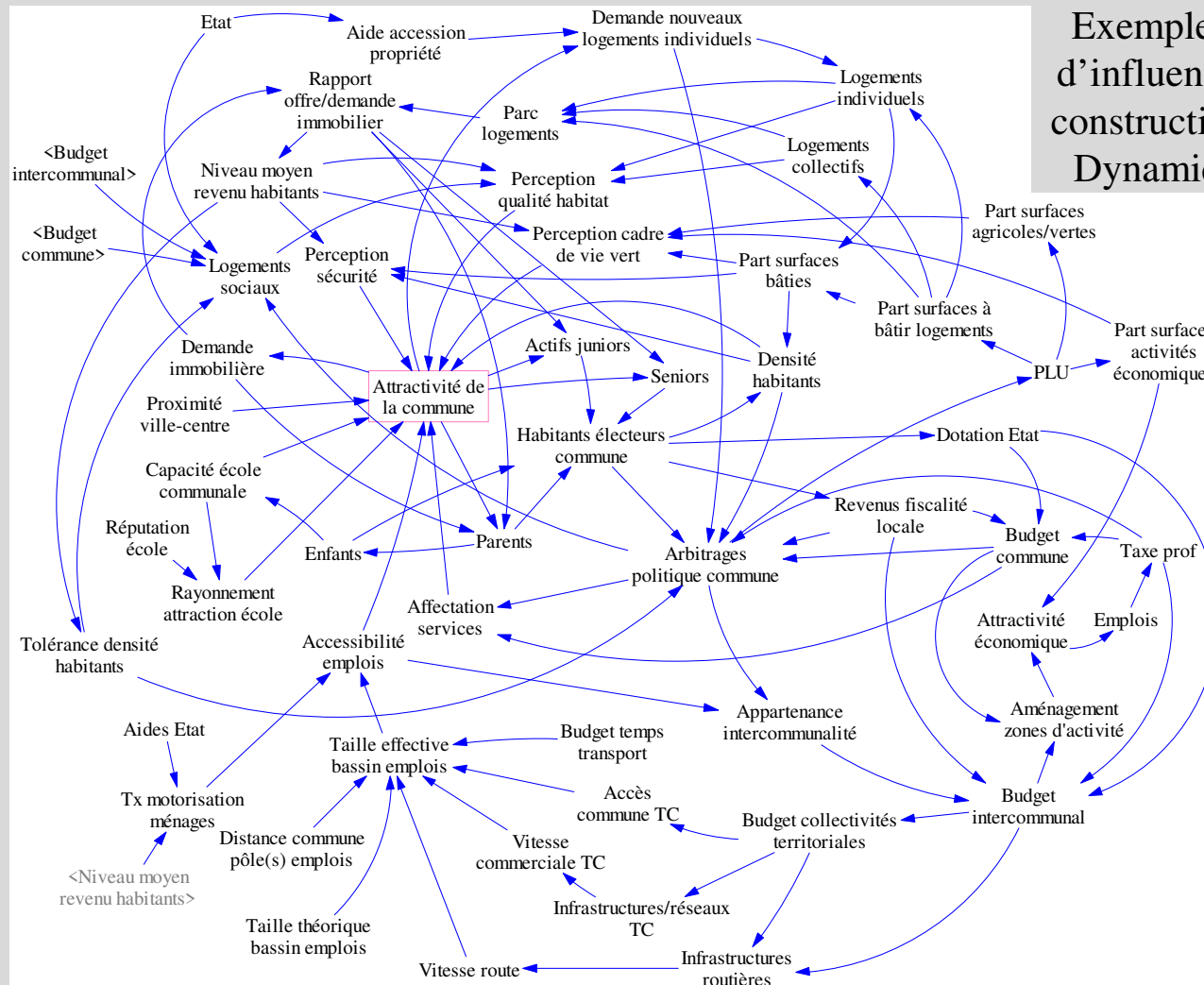
Les grands principes de la dynamique des systèmes

Les boucles de rétroaction peuvent être de deux sortes:

- soit positives (amplificatrices).



Exemple d'un diagramme d'influence à l'origine de la construction d'un modèle de Dynamique des Systèmes



Approche cartésienne vs. approche systémique

Descartes (1596-1650)

Mathématicien et philosophe français « Le discours de la méthode »

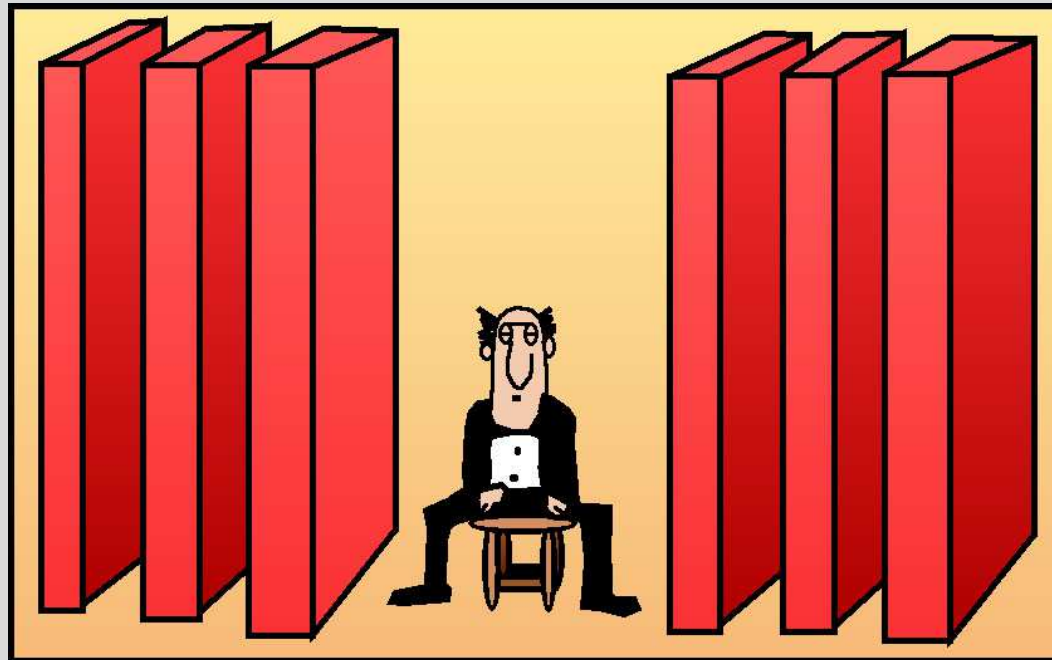
« La rationalité du monde physique et biologique s'exprime exclusivement en termes **de cause et d'effet** »

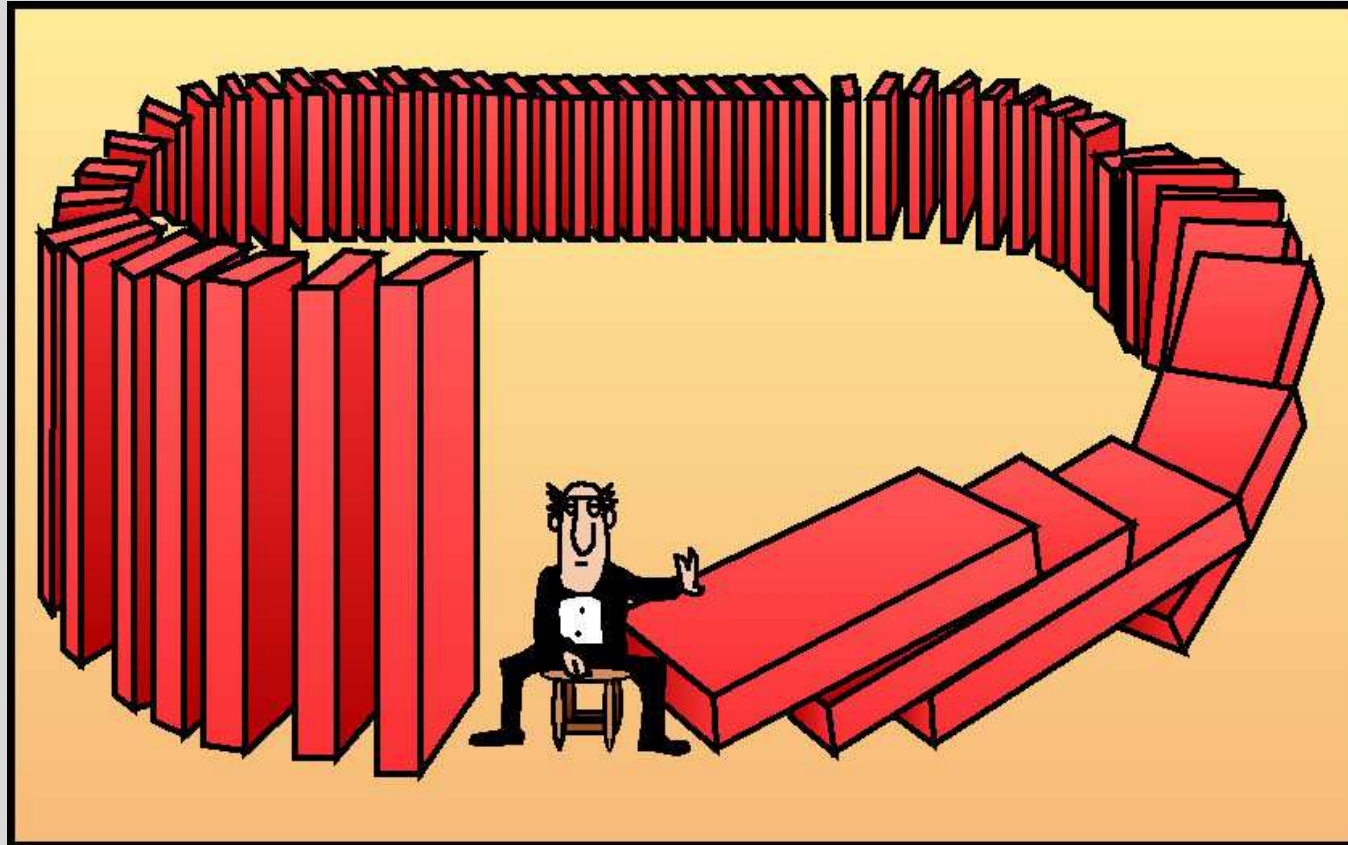
Dans l'approche systémique: notion essentielle d'interaction et de **rétroaction**
(en anglais *feedback*)

L'approche systémique est une manière différente **d'appréhender la réalité**, elle relève d'une vision **holistique** et implique nécessairement **l'interdisciplinarité**.

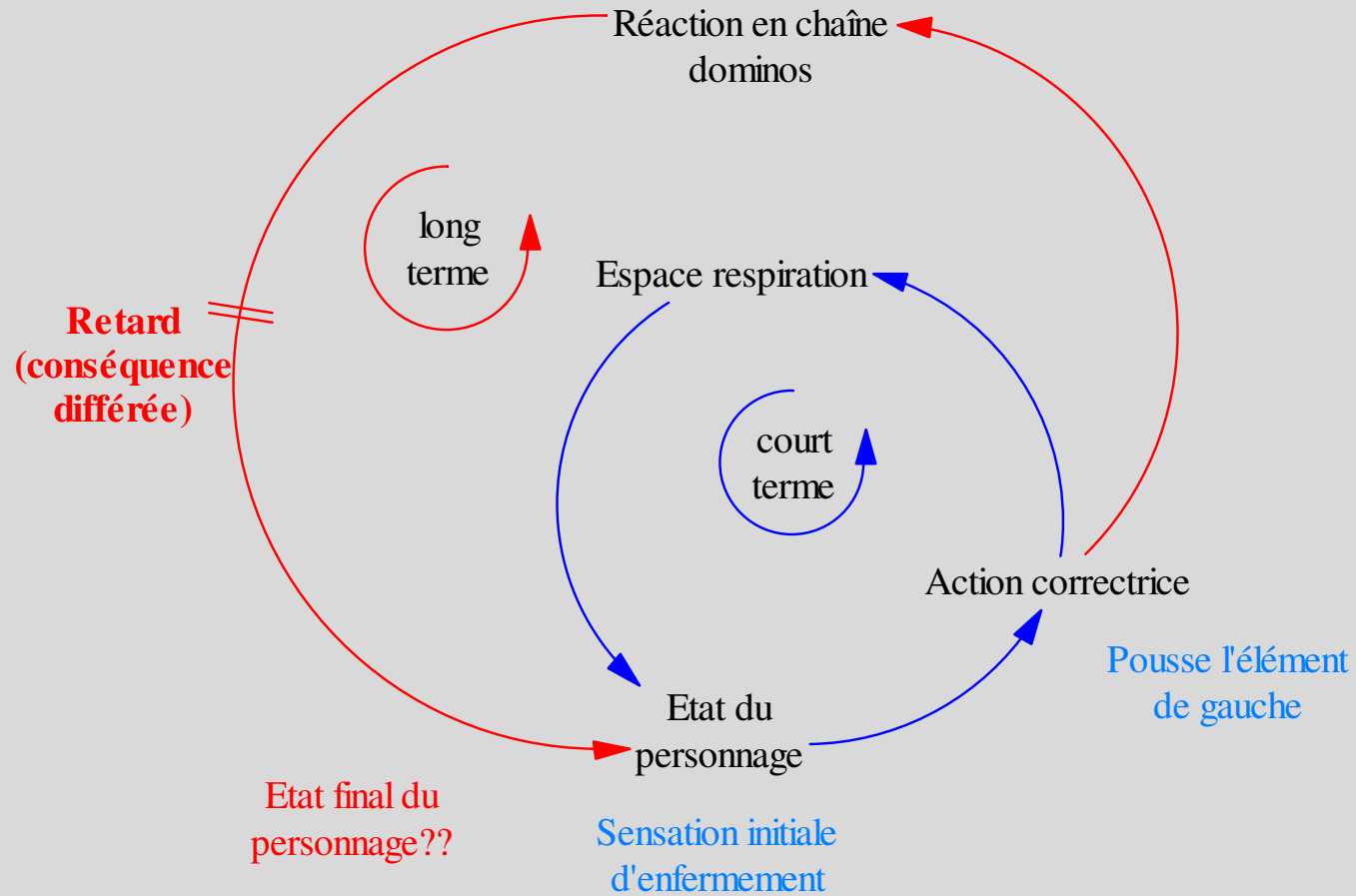
Les grands principes de la dynamique des systèmes

- des **délais** (ou retards) dans les relations entre variables;
- des relations **non-linéaires** entre variables
(i.e. des relations de non-proportionnalité entre cause et effet);
- La modélisation repose sur des systèmes d'équations **intégrodifférentielles non linéaires d'ordre n**;





Les multiples boucles de rétroaction, les retards (conséquences différées dans le temps) et les relations non-linéaires sont à la base des comportements complexes.



La nécessité de l'analyse systémique dans un « environnement incertain, complexe et volatil » (M. Gioria, Directeur de l'ADEME Ile-de-France)

Petit aparté et illustration avec la notion de globalisation de l'économie ...

- Après la seconde guerre, création de grands marchés sur la base d'**accords douaniers** tels ceux du **GATT** (1947), mais aussi suppression totale des droits de douane en 1968 au sein de la **Communauté Européenne** (CE).

- Dans les années 60-70, le concept de **mondialisation** de l'économie apparaît avec l'émergence de sociétés **multinationales** et l'**interdépendance croissante des économies** (intensification des échanges entre nations).

Petit aparté et illustration avec la notion de globalisation de l'économie ...

•A partir des années 80, c'est le concept de **globalisation de l'économie** qui apparaît et se concrétise avec notamment la création du **marché unique en Europe** (1993) et de l'**OMC** en 1995 (une organisation permanente basée sur des marchés succède à des accords douaniers entre nations, ceux du GATT).

L'interdépendance croissante des économies comme l'émergence des fonctionnements en réseaux sont une illustration de la nécessité de recourir à l'analyse **systemique** et à ses **outils** pour les appréhender pleinement.

Les **politiques publiques** ont besoin de ces approches et techniques pour comprendre et apprendre à **anticiper** les évolutions d'un monde qui tend à se **complexifier**.

Pourquoi utiliser la Dynamique des Systèmes (DS) ?

- La DS permet de construire des modèles de simulation informatiques qui aident à **analyser** et **prévoir** le comportement des systèmes au cours du temps, et donc à les **piloter**;
- La DS permet de tester et explorer une grande variété de **scénarios** qui font de ces modèles de véritables **outils d'aide à la décision**.

Pourquoi réaliser des simulations informatiques ?

- **Comprendre le fonctionnement** d'un système complexe au cours du temps;

Les multiples boucles d'amplification ou stabilisatrices du système, les effets retardés, les relations non-linéaires peuvent conduire à autant de résultats **contre-intuitifs** dans le temps.

A noter que la simulation peut parfois conduire à modifier radicalement notre **perception de la réalité** (ou la **représentation** que nous nous en faisons).

Pourquoi réaliser des simulations informatiques (suite) ?

- Tester des **hypothèses**, des **scénarios** comme s'il s'agissait d'un laboratoire;
Que se passerait-il si ...?
- Faire de la **prospective** (futurs possibles);
- Mettre en évidence des **leviers d'action** possibles (stratégie, management, politiques...), conduire une **politique** du changement.

Dynamique des Systèmes vs. Systèmes multi-agents (SMA)

La DS et les SMA sont deux techniques de modélisation et simulation informatique qui relèvent de l'approche systémique et traitent de la complexité d'un point de vue dynamique.

Il s'agit pourtant de deux approches qui relèvent de deux paradigmes distincts.

Eléments de comparaison entre la DS et les SMA

DS : modèles agrégés	SMA: micro-simulation
Entités homogènes agrégées (ex. cohortes de population)	Hétérogénéité des agents (ex. chaque agent correspond à un individu)
Modèles centrés sur le comportement dynamique du système (états du système)	Modèles individu centré (autonomie des agents) et notion d'émergence
Application stratégique et prospective	Application: opérationnelle, tactique, stratégique
Visualisation des résultats sous forme de graphiques	Visualisation des résultats sous forme de graphiques et des agents dans leur environnement (dimension spatiale)
Simulations principalement continues	Simulations principalement discrètes

Démonstration et utilisation d'un modèle de simulation en ligne

Le modèle de Dynamique des Systèmes *Dynaville*

Le modèle *Dynaville*

Le modèle a été initialement développé dans le cadre d'un projet de recherche aidé par le **PREDIT** (Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres); projet qui s'est achevé en 2013.

Les partenaires étaient: Complexio, Simaris SA et l'Association Pays de Roissy.

Il a fait par la suite l'objet de développements ultérieurs.

Le modèle *Dynaville*

- ✓ Démonstration en ligne de Dynaville : www.complexio.eu

Dynaville est appliqué dans cette version de démonstration à un **cas réel** (la commune de Plailly), cet outil simule **l'évolution d'un territoire** à un horizon de 10 ans (démographie, déplacements, logements, etc.).



Simulez en ligne !

www.complexio.eu

Apprendre à repenser la ville pour un développement durable

Un développement urbain **durable** nécessite de s'appuyer sur une vision **holistique** et **interdisciplinaire** de la ville qui est un système complexe!

Le concept de la ville *compacte*, par exemple, qui permettrait d'optimiser la mobilité implique de raisonner de manière **globale**: politique des transports (y compris stationnement), politique du logement, équipements publics et zones d'emplois doivent être appréhendés simultanément (dans le cadre d'opérations de renouvellement urbain notamment).