

## Les modèles de Dynamiques des Systèmes, outils d'aide à la décision?

Exemple d'un modèle développé dans le cadre de l'appel à propositions « Périurbanisation et villes durables » du PREDIT3  
Le modèle *Dynacité*

## Quelques ouvrages traitant de Dynamique des Systèmes :

### Ouvrages de référence de Jay W. Forrester :

(à l'origine du développement de la Dynamique des Systèmes au MIT, il y a 50 ans)

1961. *Industrial Dynamics*. Cambridge: MIT Press, 1961.

1968. *Principles of Systems*. Cambridge: Productivity Press, 1968.

1969. *Urban Dynamics*. Cambridge: Productivity Press, 1969.

1971. *World Dynamics*. Cambridge: Wright-Allen Press, 1971.

### Ouvrage de référence actuel :

*Business Dynamics* de John D. Sterman (MIT, 2000, Irwin McGraw-Hill)

### Ouvrages en français (rares ouvrages existant en français) :

*La systémique, penser et agir dans la complexité* de M.Karsky et G.Donnadieu  
(2004, Ed.Liaisons)

*La dynamique des systèmes* sous la direction de D.Thiel (1998, Hermès)

Et aussi de nombreuses ressources disponibles à partir du site de la *System Dynamics Society*:  
[www.systemdynamics.org](http://www.systemdynamics.org)

## Les grands principes des modèles de Dynamique des Systèmes:

- Une approche dite *systemique* comprenant des boucles de rétroaction positives et négatives (*feedback loops*)

La notion de système

L'approche systemique vs. l'approche cartésienne

Une représentation sous forme de diagrammes d'influence (appelés aussi diagrammes de *boucles causales* ou encore *boucles de rétroaction*)

(*abréviation en anglais CLD : Causal Loop Diagram*)

Le diagramme d'influence comprend des boucles de causalité  
(ou boucles de rétroaction) de deux sortes:

Des **BOUCLES négatives**, dites de régulation ou stabilisatrices

Notées (–) ou « B » pour *BALANCING LOOP*

Schématisées parfois par une balance

Des **BOUCLES positives**, dites d'amplification (explosives ou implosives)

Notées (+) ou « R » pour *REINFORCING LOOP*

Schématisées parfois par une boule de neige

Illustration d'une boucle de causalité négative (régulatrice ou stabilisatrice)

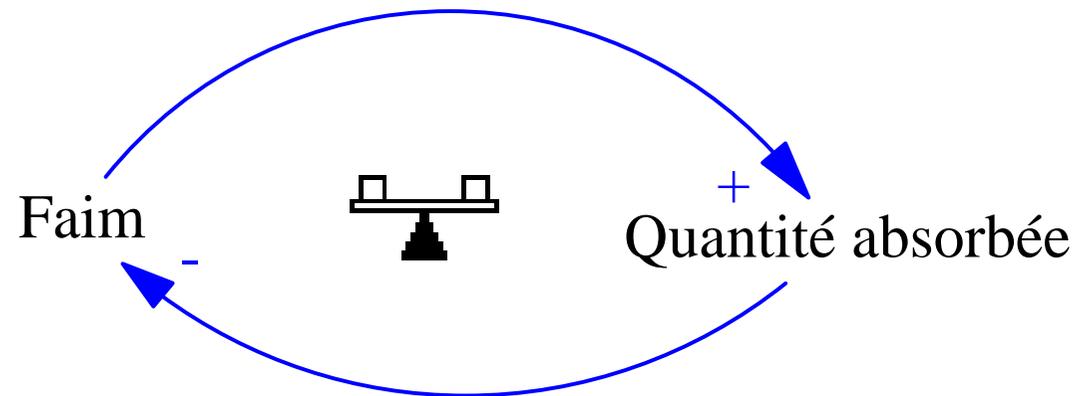
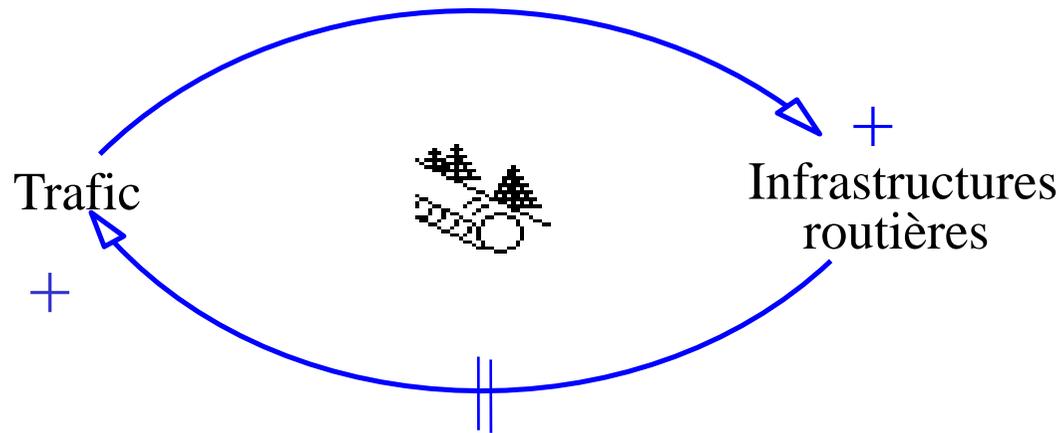


Illustration d'une boucle de causalité positive ou explosive

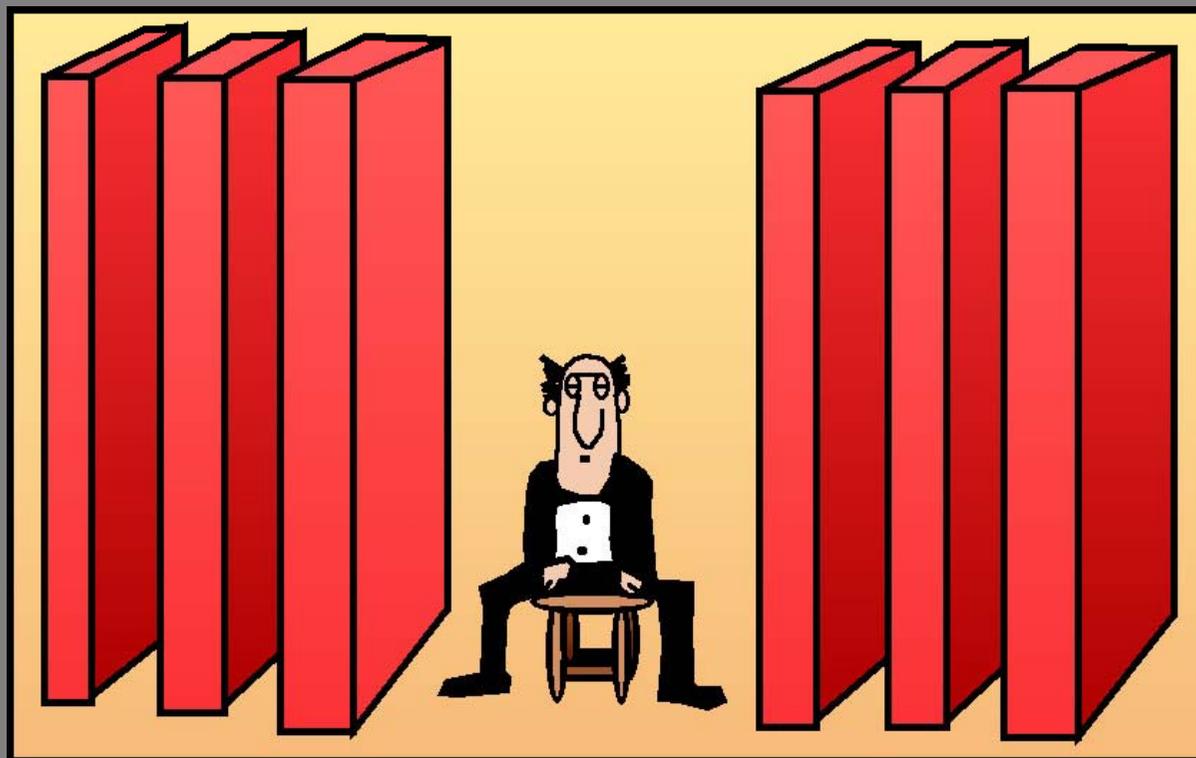


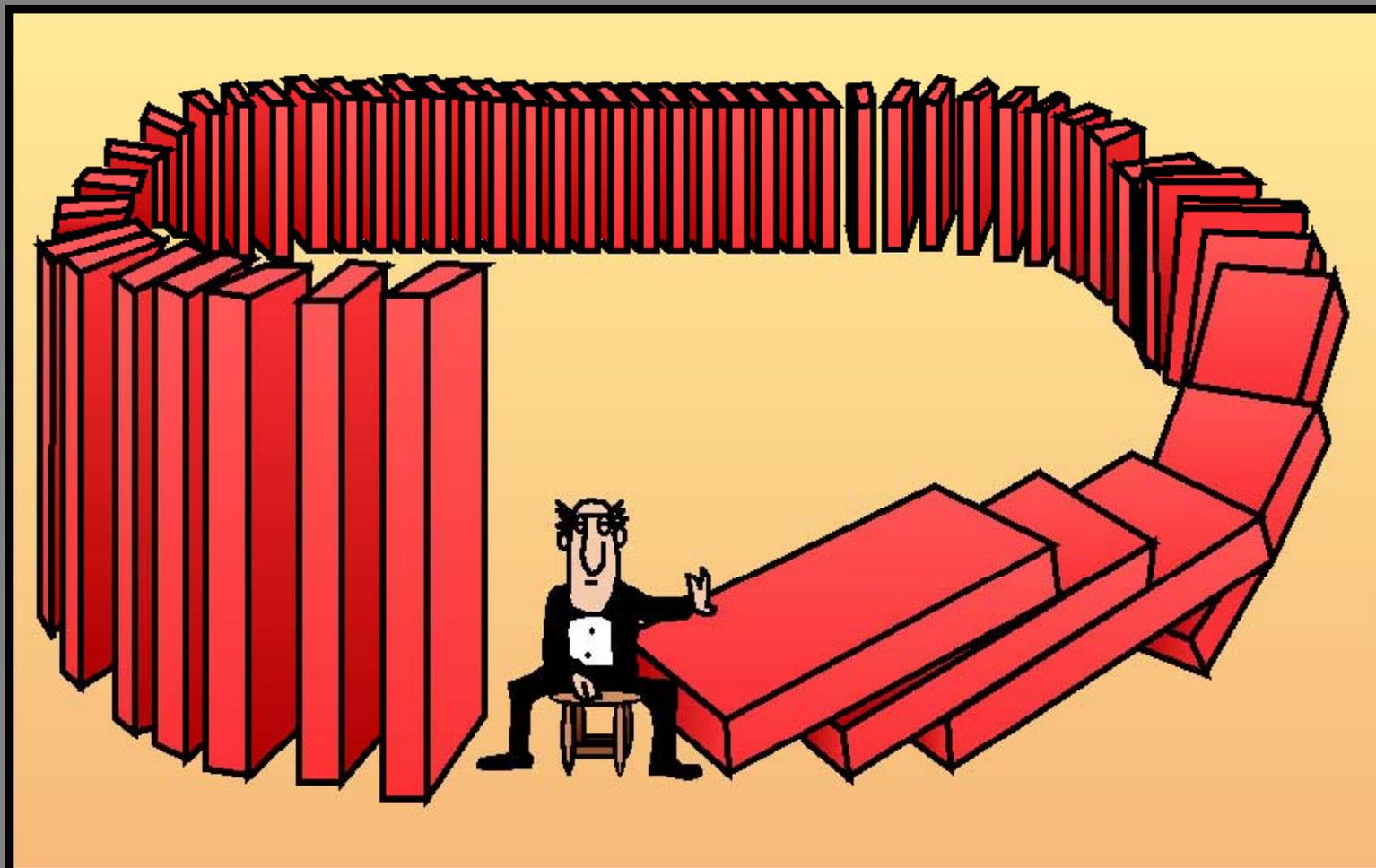




## Les grands principes des modèles de Dynamique des Systèmes (suite):

- des délais (ou retards) dans les relations entre variables;
- des relations non-linéaires entre variables  
introduites généralement par l'intermédiaire des fonctions appelées *lookup*.





## Les grands principes des modèles de simulation dynamiques:

- Un paramètre essentiel: le temps (simulations dans le temps, à distinguer par exemple de la modélisation en économétrie)
- La notion de *dynamique* ?

## L'importance de la simulation informatique?

➤ Le modèle a un rôle explicatif

Il doit aider à comprendre le *fonctionnement* du système au cours du temps, en reproduisant les mécanismes sous-jacents à des évolutions parfois complexes et qui apparaissaient dans certains cas comme contre-intuitives.

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

## L'importance de la simulation informatique? (suite)

- Partager une connaissance commune et une compréhension du fonctionnement du système entre les acteurs (le modèle doit être un support d'aide à la réflexion et à l'action)

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

- Tester des hypothèses, des scénarios (le modèle peut être considéré en quelque sorte comme un laboratoire);

Du type *Que se passerait-il si ... ?*

- Mettre en évidence des leviers d'action possibles (stratégie, management, politiques...), le modèle est un outil d'aide à la décision.

Structure du modèle et comportements dynamiques de base d'un système (les trois modes fondamentaux de base):

- La boucle explosive ou implosive (boucle positive)

Le comportement exponentiel (*exponential growth* ou *self-reinforcing behavior*)

- La boucle stabilisatrice ou régulatrice (boucle négative)

Le comportement asymptotique (souvent dénommé *goal seeking* en anglais)

- L'oscillation

Les oscillations très présentes dans les systèmes peuvent résulter de structures très variées, mais à la base dans sa forme la plus simple le comportement oscillatoire résulte toujours d'une **boucle de rétroaction négative** dans laquelle intervient un **retard**.

## Les étapes de la construction du modèle de simulation *de Dynamique des Systèmes*

- Définition de la problématique, objectifs à atteindre, champ d'application du modèle de simulation à construire (choisir une méthodologie appropriée: simulations continues de type Dynamique des Systèmes, simulations discrètes, multi-agents?);
- Conception du modèle systémique : le modèle verbal et sa représentation sous la forme de diagrammes d'influence (ou diagrammes de boucles causales – *Causal Loop Diagrams*);
- Formalisation du modèle de Dynamique des Systèmes par la transcription des diagrammes de boucles causales en diagrammes de stocks et flux (*Stock and Flow Diagrams*) - construction du modèle à l'aide d'un logiciel de Dynamique des Systèmes;
- Simulations du modèle de Dynamique des Systèmes : vérification des hypothèses dynamiques de base, analyses des réponses du modèle aux tests de sensibilité, retours sur la construction du modèle et corrections (y compris sur la perception de la réalité qui a pu être modifiée par une meilleure compréhension du fonctionnement du système), validation du modèle, définition de scénarios...

## Exemples

### Exemples de comportements exponentiels et asymptotiques

Population, naissances et décès

Les taux d'intérêt

### Exemple d'un comportement oscillatoire

Simulation du marché d'une matière première

## Exemple: simulation du marché d'une matière première

Représentation sous la forme d'un diagramme causal avec les variables suivantes:

**Prix** de la matière première

**Production** (quantités)

**Stocks**

**Consommation**

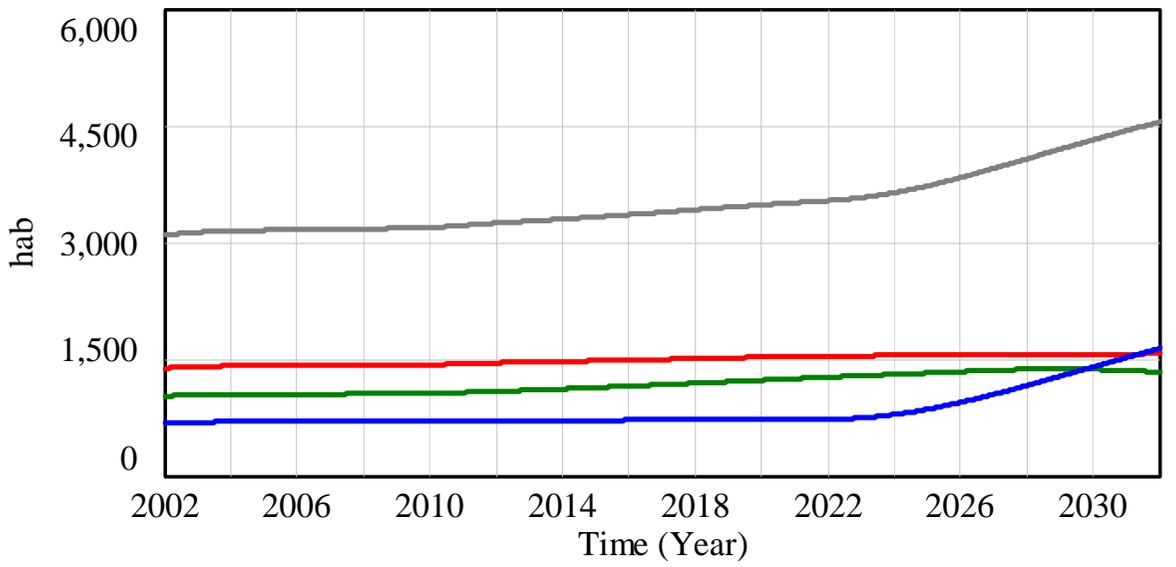
Identification des variables de stocks, des délais pouvant affecter le comportement dynamique du système

(représentés généralement sous la forme de deux traits barrant la flèche)

Construction du modèle sous Stella

**Présentation du projet et du modèle *Dynacité* (*Complexio / Interface Transport*)**

Evolution du nombre d'habitants dans la commune (total et par CSP)



Habitants commune CSP[B] : Essai ————  
 Habitants commune CSP[M] : Essai ————  
 Habitants commune CSP[H] : Essai ————  
 Hab commune : Essai ————

Evolution Habitants commune:	Evolution de la part du parc social (%)
3,100 (2002)	1.6
3,148	1.6
3,161	1.6
3,173	1.6
3,190	1.6
3,247	1.6
3,299	1.6
3,356	1.5
3,420	1.5
3,482 (2020)	1.5
3,536	1.5
3,637	3.1
3,832	6.6
4,073	10.8
4,318	14.9
4,545 (2032)	18.6

## Périurbanisation et villes durables

### Quelques éléments sur le contexte du projet:

- Le constat de l'éclatement et de l'étalement des villes;
- Une déconnexion entre l'habitat et les activités;
- Un modèle spatial non sans conséquences...

Faut-il changer la manière de penser la périphérie?

## Problématique:

La périurbanisation, une lutte sans effets?

Ou un processus entretenu par l'émergence de paradoxes dans les jeux d'acteurs à différents niveaux institutionnels?

## Le choix de la méthodologie :

Le développement d'un modèle de Dynamique des Systèmes en lien étroit avec les acteurs du système (maire de la commune de Lissieu, rencontres avec le Directeur adjoint des politiques d'agglomération du Grand Lyon) et des experts.

Un modèle appliqué à un cas réel: une commune périurbaine située dans l'aire urbaine lyonnaise.

## Les objectifs:

Comprendre les dynamiques de population dans une zone périurbaine, le rôle des différents acteurs et les effets de leurs décisions dans le phénomène de la périurbanisation, afin d'identifier des leviers d'action possibles.

## Au centre de la construction du modèle *Dynacité*:

- La notion *d'attractivité relative* de la commune périurbaine (notion essentielle de *relativité* de l'attractivité de la commune dans son environnement, s'agissant dans le cas d'application de l'aire urbaine lyonnaise);
- Une distinction selon trois grandes CSP et trois catégories dénommées « actifs juniors », « actifs parents » et « seniors » (en fonction de la position dans le cycle de vie).

## Les composantes de l'attractivité relative de la commune

- la qualité du logement et la surface habitable (parcs social et privé, m<sup>2</sup> habitables par habitant) ;
- l'accessibilité au marché de l'emploi (taille effective du marché de l'emploi);
- le cadre de vie *vert* (part des surfaces vertes sur la commune) ;
- la perception de la commune du point de vue de la répartition des habitants par CSP (il s'agit plus exactement d'un certain caractère de répulsion qui peut s'exercer sur les catégories les plus aisées, en particulier les hauts revenus, dès lors que la proportion des habitants aux revenus les plus modestes augmente dans la commune) ;
- la distance à la ville-centre.

Illustration par quelques résultats  
à partir du modèle de simulation *Dynacité*