

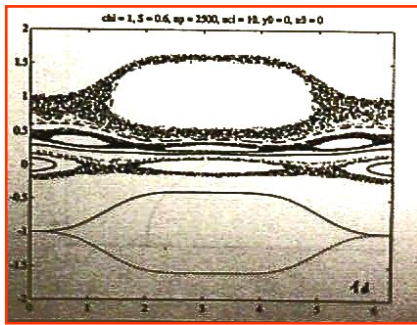
(petite) Approche des théories de la complexité

Atelier de formation CIRAD : Elevage et risque

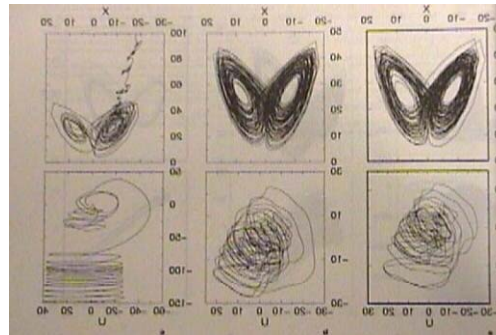
Philippe Sabatier
EPSP-TIMC UMR 5525
Ecole Vétérinaire de Lyon



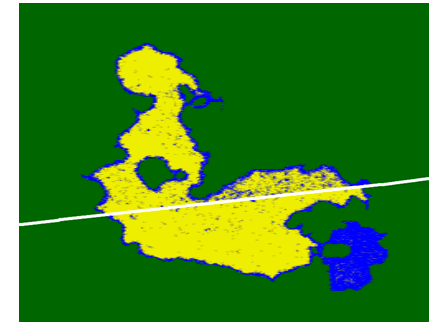
Nombreuses applications



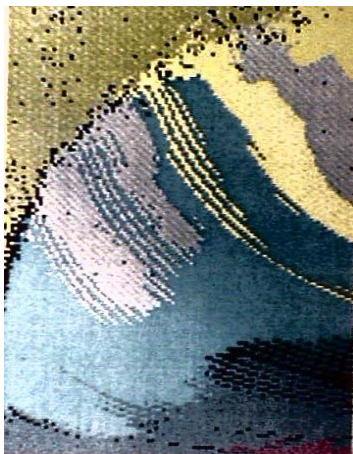
Physique des plasmas



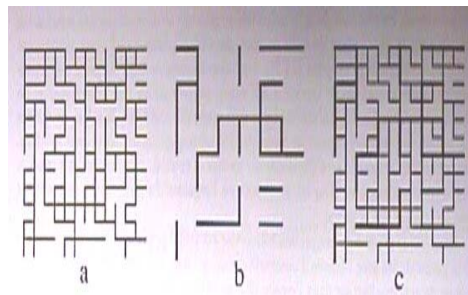
Climatologie



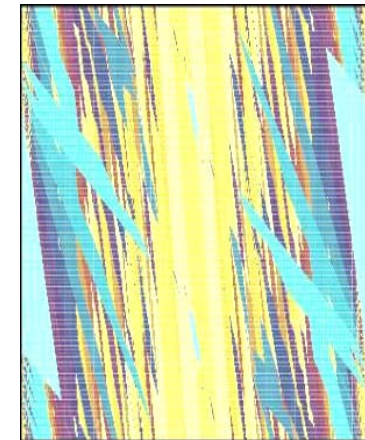
Ecologie



Chaos auto-organisé



Percolation



Epidémiologie

Plan

- (1) Qu'est-ce qu'un système complexe
- (2) Théorie des systèmes dynamiques
- (3) Application à l'épidémiologie animale
- (4) Discussion

Complexité ?

Qu'est-ce qu'un « système complexe » ?

Composantes multiples ? comme un mammifère ?

Comportement imprévisible ? comme une amibe ?

Structure ou Fonction ?

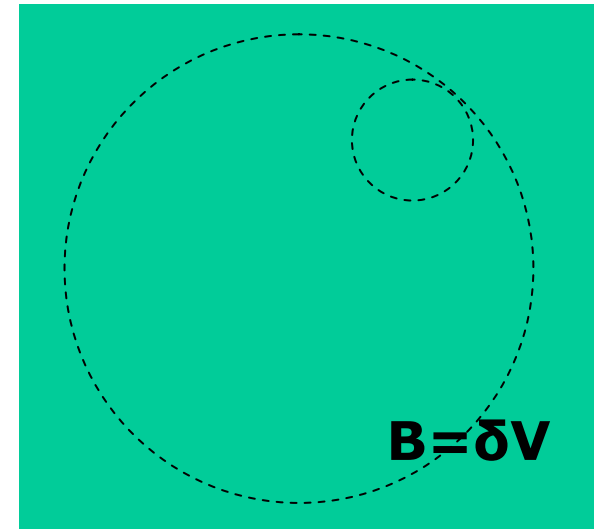
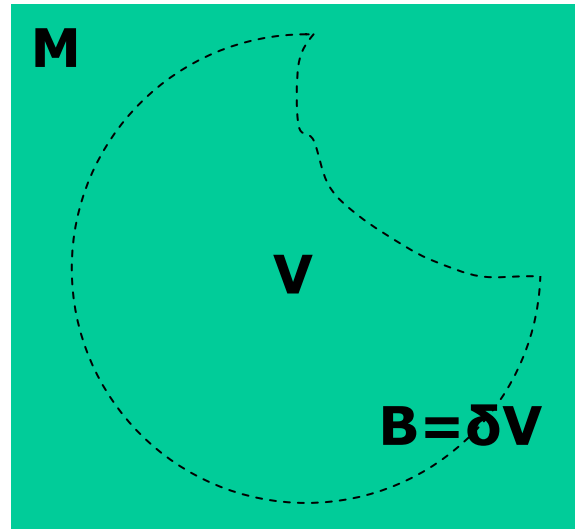
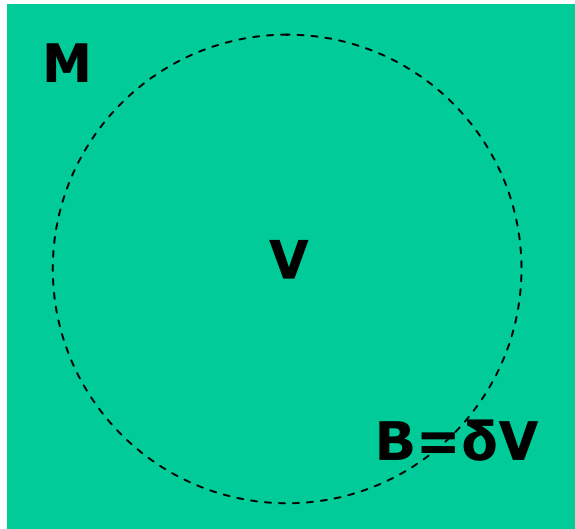
Deux approches

- (1) Analytique** : dissociation du système en composants élémentaires ; anatomie de Descartes ; définition algorithmique ; longueur de la suite des opérations nécessaire à la décomposition ;
- (2) Fonctionnelle (téléologique)** : stabilité de l'objet ; réaction aux stimuli extérieurs ; utilisation à des fins humaines ; embryogenèse de Descartes ; définition dynamique ; états d'équilibre d'un système dynamique.

Auto-organisation

- (1) **Systeme physique** : organisation absolue ; cohérence interne ; clôture du " soi " dans un fermé ;
- (2) **Systeme vivant** : constitution relative ; relié au milieu extérieur dont il cherche à se distinguer en permanence ; mouvement au sein duquel le "soi " et le "non-soi" sont en permanence distingués et reliés

Stabilité dynamique



La relation/séparation entre un Système Vivant (V) et son Milieu (M) s'appuie sur :

- (1) une action interne (s'adapter) ; et
- (2) une action externe (adapter son milieu).

Systeme dynamique

- (1) Un espace des phases X , dont les éléments représentent les états possibles du système
- (2) Le temps t , qui peut être discret ($t \in \mathbb{N}$) ou continue ($t \in \mathbb{R}_+$)
- (3) Une loi d'évolution, qui est une règle qui permet de déterminer l'état du système au temps t à partir des états à tous les temps précédents. Dans la plupart des cas la connaissance du temps au temps t_0 permet de déterminer les état du système à n'importe quel temps $t > t_0$.

NB : Le système S peut avoir une ou plusieurs variables, spatialisées ou non ; t peut ne pas être un temps (e.g. une coordonnée longitudinale) ; la loi d'évolution doit être causale.

Boîte à outils

hamiltonien, intégrabilité, chaos, ergodicité,
tores de KAM, exposants de Lyapunov,
séparatrices, jacobiens, bifurcations

systèmes dissipatifs, attracteurs (étranges),
fractals , percolation

déterministe, stochastique, probabiliste

ODEs, PDEs, théorie des perturbations, FDEs,
CA, réseaux couplés, Monte Carlo

Question stupide !

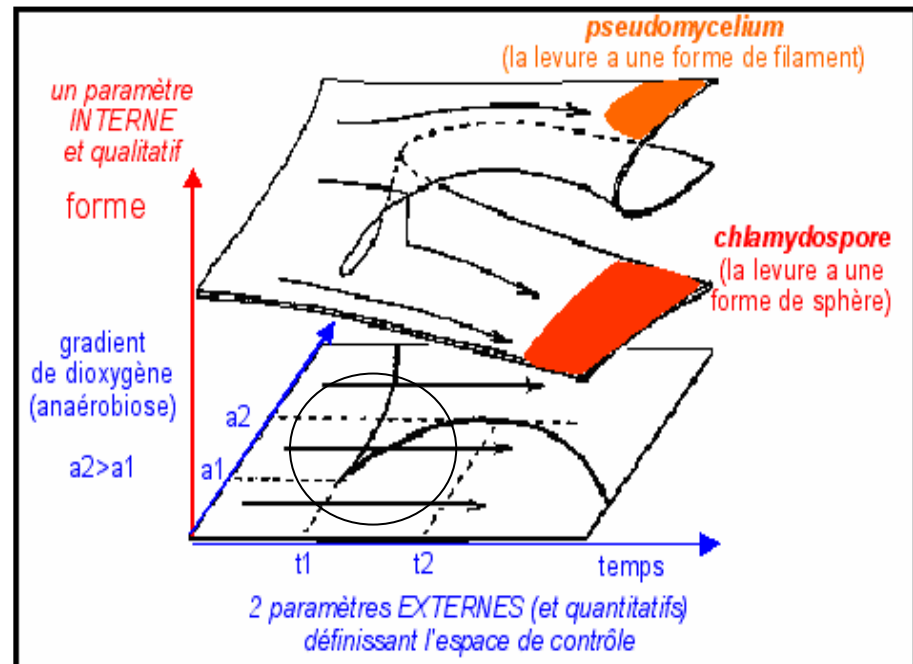
Systemes simples

... mais comportements complexes

Comportement catastrophique d'une morphogenèse

le changement continu de la valeur d'un paramètre est susceptible d'introduire localement des discontinuités dans l'évolution des variables d'état

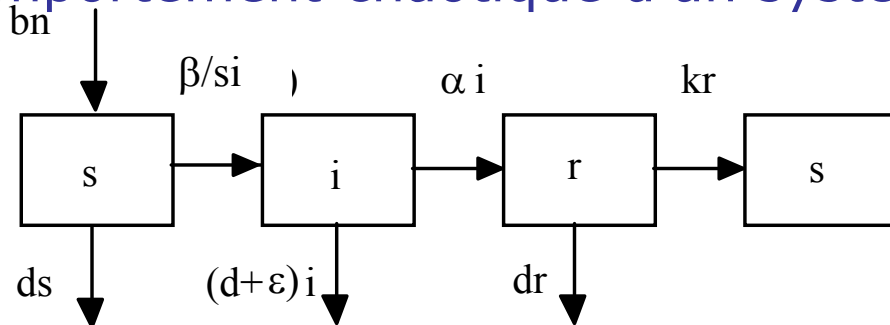
Candidat albicans est une levure qui donne soit un pseudomycelium \Leftrightarrow soit une chlamydospore. Cette morphogenèse est modélisée dans un espace à 3 dimension.



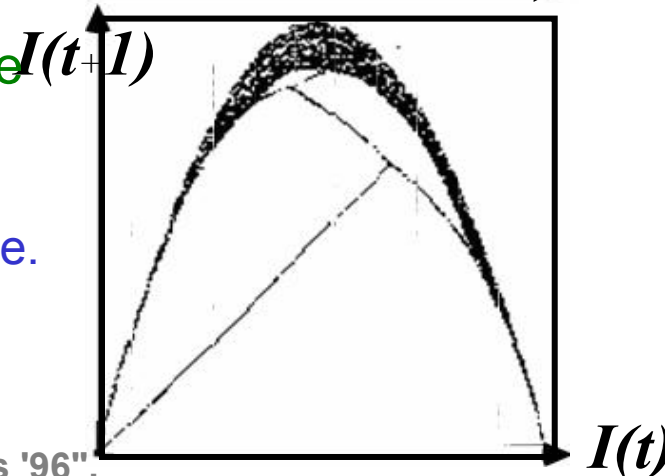
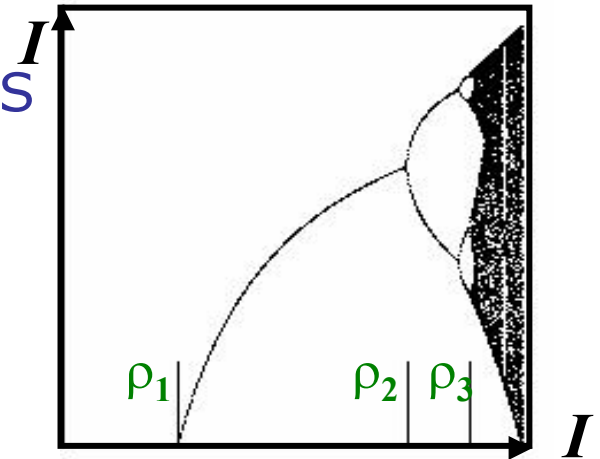
Systemes simples

... mais comportements complexes

Comportement chaotique d'un systeme SIRS



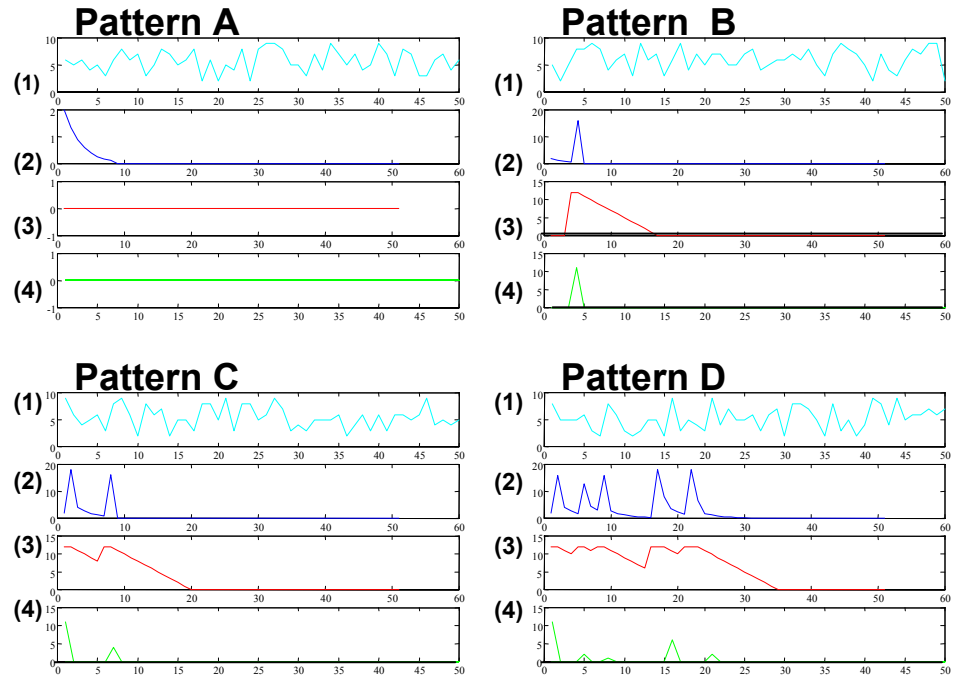
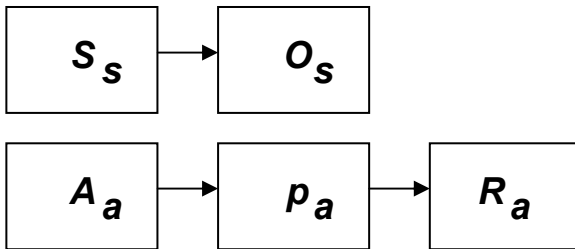
Trois valeurs seuils, du parametre $\rho = \beta / \alpha$ définissent quatre classes de comportements de l'infection : 1. Pas de populations infectée ; 2. Croissance non-lineaire de la population infectée ; 3. Bifurcations, and 4. Chaos dans la population infectée. La carte de premier retour est une parabole.



Sabatier, P., Guigal, P. and Dubois, D. M. Emergence of Chaos in the classical SIRS epidemiologic model. "Cybernetics and Systems '96".

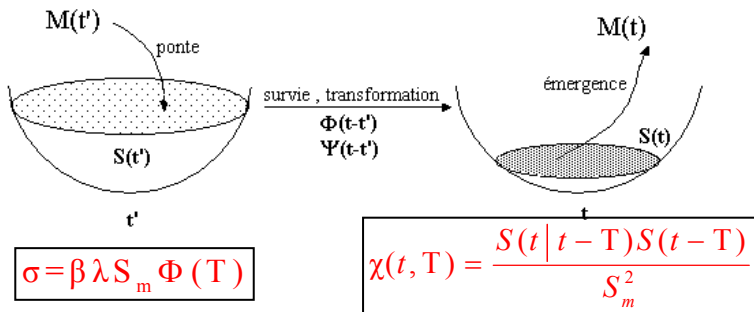
R. Trappl. Austrian Society for Cybernetics Studies. Vienna. 1996, °vol. II, pp. 618-623.

Pattern temporel (RVF 0D)



(1) remplissage d'une mare ($h(t)$) ; (2) œufs infectés ($O(t)$) ; (3) seroprévalence ($P(t)$) ; (4) avortements ($A(t)$).

Au voisinage d'une mare temporaire :



Capacité de Production

Susceptibilité de Production

Porphyre, T., D. J. Bicout and P. Sabatier (2005). "Modelling the abundance of mosquito vectors versus flooding dynamics." *Ecological Modelling* 183(2-3): 173-181.

Systemes spatiaux

... plus grande complexité encore

La migration des habitants (transhumance), modifie dynamiquement l'organisation spatiale.

Soit un réseau dont chaque site i , est caractérisé par une population pouvant être contaminé *par* :

- un *site j* de son "*voisinage*" sur le réseau, avec une probabilité α ;

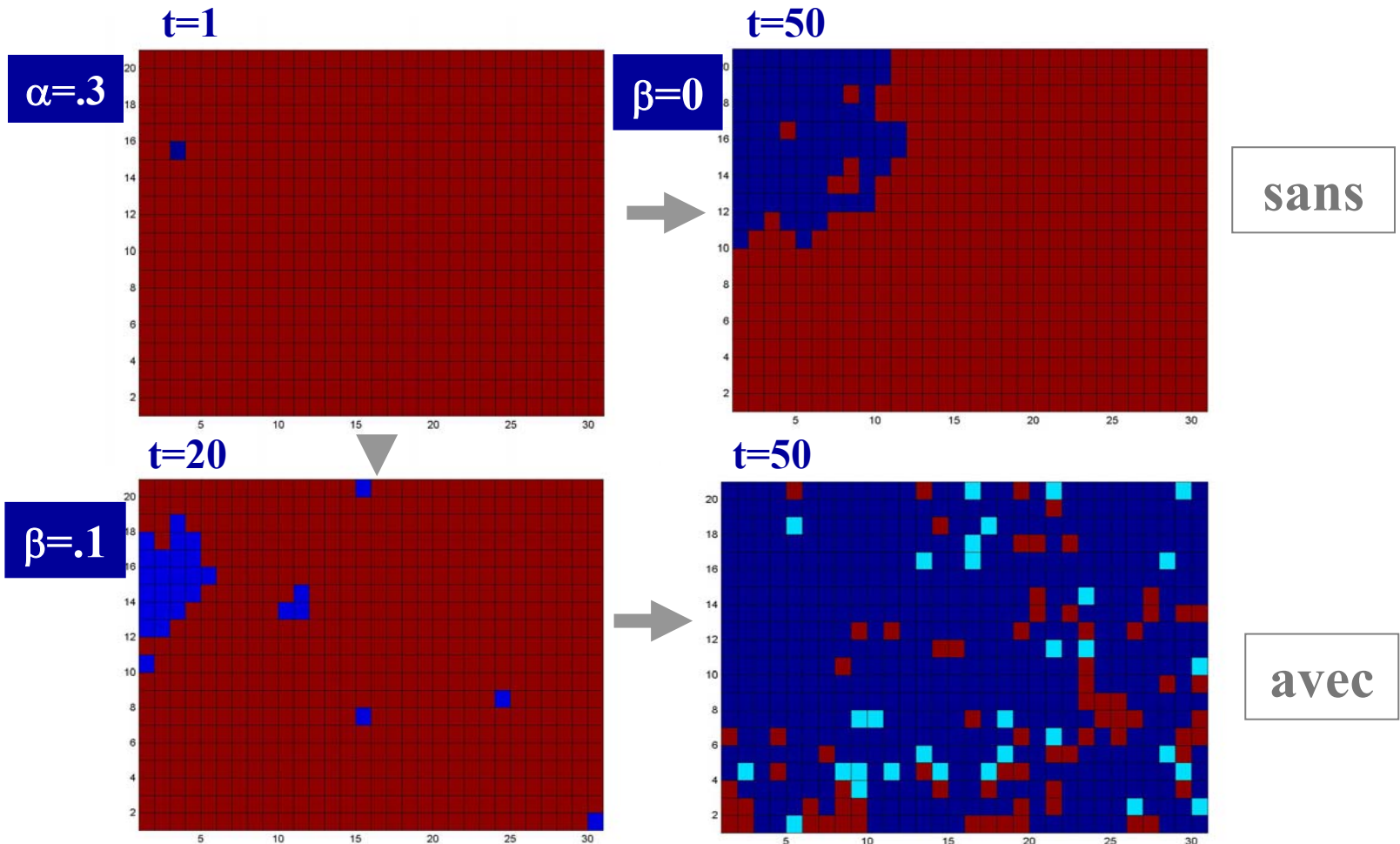
- un "*site j distant*", n'importe où sur le réseau (migration), avec une probabilité β .



La réalité est presque toujours spatialisée

On échappe rarement au numérique !

Patterns spatiaux (RVF 2D)



LA FIÈVRE NAWU WALEE RIFT DE LA VALLÉE DU RIFT

NAWU KEENGU ADDUDE
WOPPERE NDER JIBINGOL,
KAM E WARDE TAWDI

* CHEZ L'HOMME
* TO NED'DO TOO

- FORTE FIÈVRE RESSEMBLANT
AU PALUDISME OU À LA FIÈVRE
JAUNE,




40°

BANNDU WULA
YILLEE HAA WAYA
NO GARAADO
JONTINOoje

* CHEZ LES ANIMAUX
BEAUCOUP D'AVORTEMENTS

- INA HEEWI ADDUDE WOPPERE (WERLERE)

- FORTE MORTALITÉ DES AGNEAUX
CHEVREAUX ET VEAUX.



- INA HEEWI WARDE JAWDI WALLA
NDAMMIRI TOKKOSIRI NDII

Analyse d'un risque

- (1) Analyse causale** : recherche d'une cause efficiente associée ; introduction de cascades de causalités agissantes ; recours à la statistique (aléatoire) ;
- (2) Limite de cette approche** : impossibilité de recenser tous les facteurs ; difficulté de hiérarchiser les facteurs selon leur prégnance ; nécessité d'une théorie des interactions (déterministe).

Sublata causa tollitur effectus



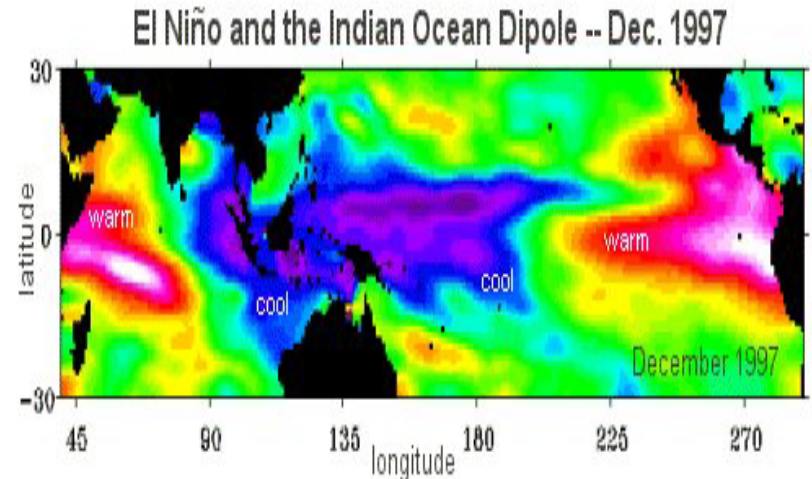
Viaduc de Millau, Eiffage.

Méthode des modèles

- (1) **Analyse dynamique** : théorie des champs ; système différentiel dont la solution est déterminée par les conditions initiales ; analyse du comportement et/ou des perturbations ; simplification par discrétisation.
- (2) **Cadre théorique** : (1) Ontologie d'agents invisibles exerçant des effets visibles ; (2) Règles précisant ces actions sur les objets ; (3) Contraintes éventuelles régissant la propagation des entités invisibles.

Impact climatique

Modèles de climat qui couplent eux-même : (1) un modèle d'océan ; (2) à un modèle d'atmosphère (et aussi de biosphère, de glace etc.)



Modèles épidémiologiques qui couplent des modèles de dynamique de population et d'infection au niveau de : l'animal (dynamique de la maladie pour un individu) ; du troupeau (dynamique de la maladie dans un élevage) ; et de la région (dynamique inter-troupeaux).

Nécessité de « transferts d'échelles »

Systemes spatiaux

... plus grande complexité encore

- (1) Cratère : potentiel quadratique;
- (2) Cratère en falaise : ff
- (3) Cratère en falaise affaissée : s .
- (4) Anticipation : ff

La réalité est presque toujours spatialisée
On échappe rarement au numérique !

Typologie de régulation

- (1) Cratère : potentiel quadratique; $V = x^2/2$
- (2) Cratère en falaise : ff
- (3) Cratère en falaise affaissée : s .
- (4) Anticipation : ff