



ÉCOLOGIE DES FORETS MÉDITERRANÉENNES

Faits, modèles et théories en écologie : de Levins à Gödel

Hendrik Davi (INRA, Avignon)

Stéphanie Ruphy (Université Pierre-Mendès-France, Grenoble)

Gabriella Crocco (Directrice du CEPERC, Aix)

Qu'est ce que modéliser?



Champ de recherches scientifiques

Question(s)
Spécifique(s)



Réalité



Modéliser

**Construire une abstraction d'une réalité
en définissant un système**

Recherche fondamentale
dont les barrières
disciplinaires sautent

Données « haut débit »



Accroissement des capacités de calcul

Pression sociétale: transfert entre recherche
fondamentale et recherche appliquée:
comprendre pour prédire



Les modèles de simulation permettent:

1. De connecter des champs disciplinaires variées (e.g modèles climatiques)
2. D'absorber une importante quantité de données (e.g satellite, images diverses, génomes)
1. De prédire l'évolution des systèmes et d'être des outils d'aide à la décision et à la gestion adaptative

Posent questions épistémiques:

- Réalité et pluralité des modèles
- Référence des entités théoriques
- Place des modèle .vs. théorie .vs. observations et l'expérimentation

Qu'est ce que l'écologie?



Sciences & Philosophie: Regards croisés sur les simulations numériques

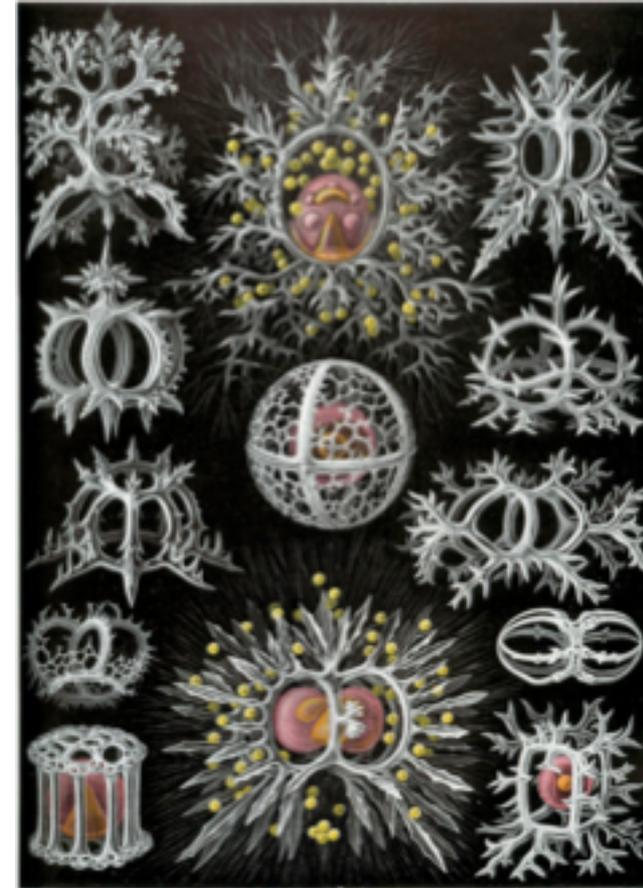
Qu'est ce que l'écologie?

*« Par **écologie** nous entendons la sciences des rapports des organismes avec le monde extérieur, dans lequel nous pouvons reconnaître d'une façon plus large les facteurs de la "lutte pour l'existence". Ceux ci sont en partie de nature inorganique (...). Sous le nom de conditions d'existence, nous comprenons (aussi) l'ensemble des relations des organismes les uns avec les autres, relations soit favorables soit défavorables »*

Ernst Haeckel 1868

« La notion la plus fondamentale est la totalité du système incluant non seulement le complexe des organismes mais aussi tout le complexe des facteurs physiques formant ce que l'on appelle le milieu du biome (...). Les systèmes ainsi formés sont du point de vu de l'écologiste les unités de base de la nature à la surface de la terre ».

Tansley 1965



–Formes d'Art dans la Nature
Par E. Haeckel

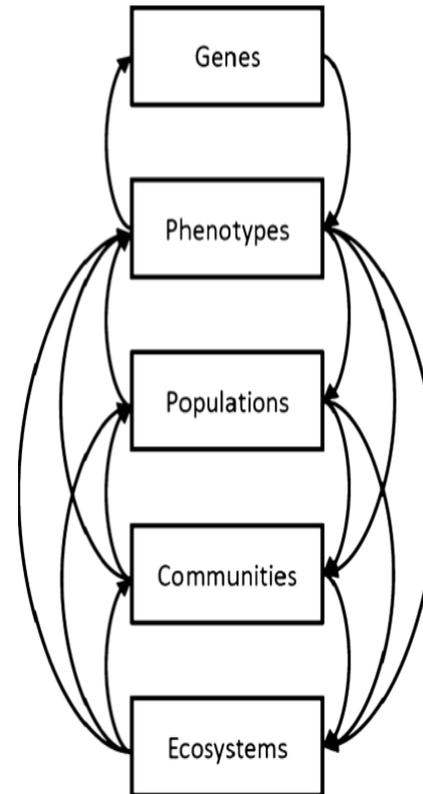
L'écologie comme discipline « modèle »

Ecologie comme modèle pour débattre des enjeux de modélisation?

Complexité des systèmes: lien entre modèles, théories et faits est ancien

1. **Science de la synthèse:** impliquant physiologie, génétique, géologie, la chimie, la physique, la climatologie
2. **Science des systèmes:** ses objets ont des contours spatialement et temporellement flou: population, écosystème...
3. **Science de l'observation:** fille de l'histoire naturelle, étude *in situ*.
4. **Science mathématisée:** modèles très anciens

Lien avec la société: injonction de la prédiction => Modélisation



« Depuis vingt cinq ans, (...) l'intervention humaine a pris une ampleur inquiétante, et s'est orienté dans une direction qui l'est plus encore. L'homme en effet est en train de contaminer l'atmosphère, le sol, les rivières et la mer en y répandant des substances dangereuses, voire mortelles. »

Le printemps silencieux de R. Carson en 1962

THE SCHISM BETWEEN THEORY AND ARDENT EMPIRICISM: A REPLY TO SHIPLEY AND PETERS

Tilman 1991

Ecological research, like all science, is most effective if it is based on the continual interplay of observation, hypothesis generation (theory), and experimentation. Empiricism is clearly a part of this process, as is theory.

Shipley and Peters suggest that the falsification of one prediction of a mechanistic model indicates that the model is “wrong” and thus not useful in explaining other patterns. This is an extreme, absolute interpretation that sees a model as the mathematical embodiment of ecological truth. In contrast, mathematical ecologists view models as abstractions (e.g., Schaffer 1981)—simplifications that, in the words of May (1973, p. 12), are “caricatures of reality, and thus have both the truth and falsity of caricatures.” All models are caricatures

Adaptation, Plasticity, and Extinction in a Changing Environment: Towards a Predictive Theory

Luis-Miguel Chevin^{1*}, Russell Lande¹, Georgina M. Mace²

¹ Division of Biology, Imperial College London, Silwood Park, United Kingdom, ² Centre for Population Biology, Imperial College London, Silwood Park, United Kingdom

Adaptation à un environnement changeant:

- Plasticité à l'échelle d'un organisme
- Evolution génétique à l'échelle d'une population
- Migration et réarrangement des communautés à l'échelle des écosystèmes

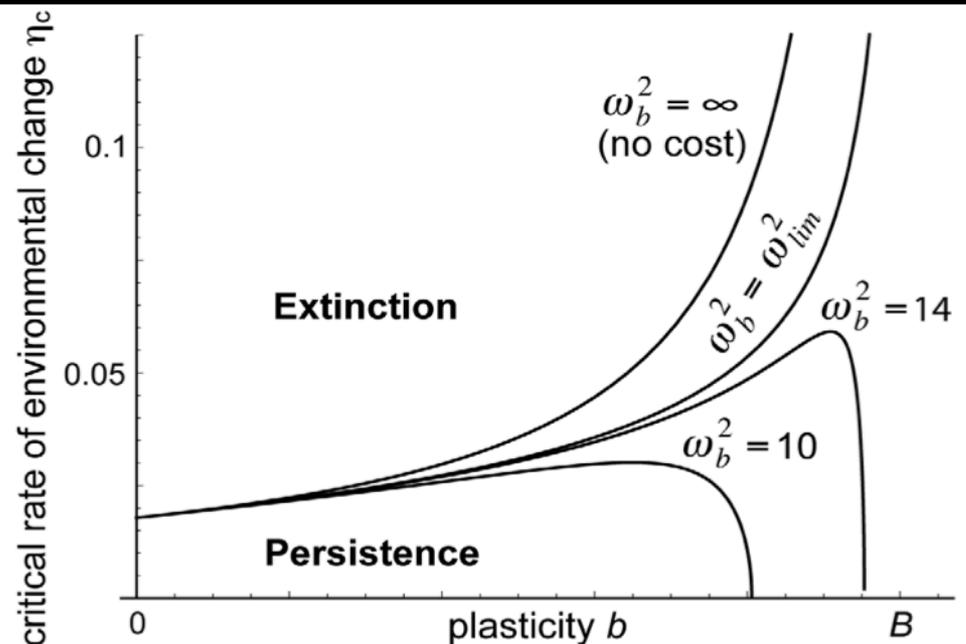
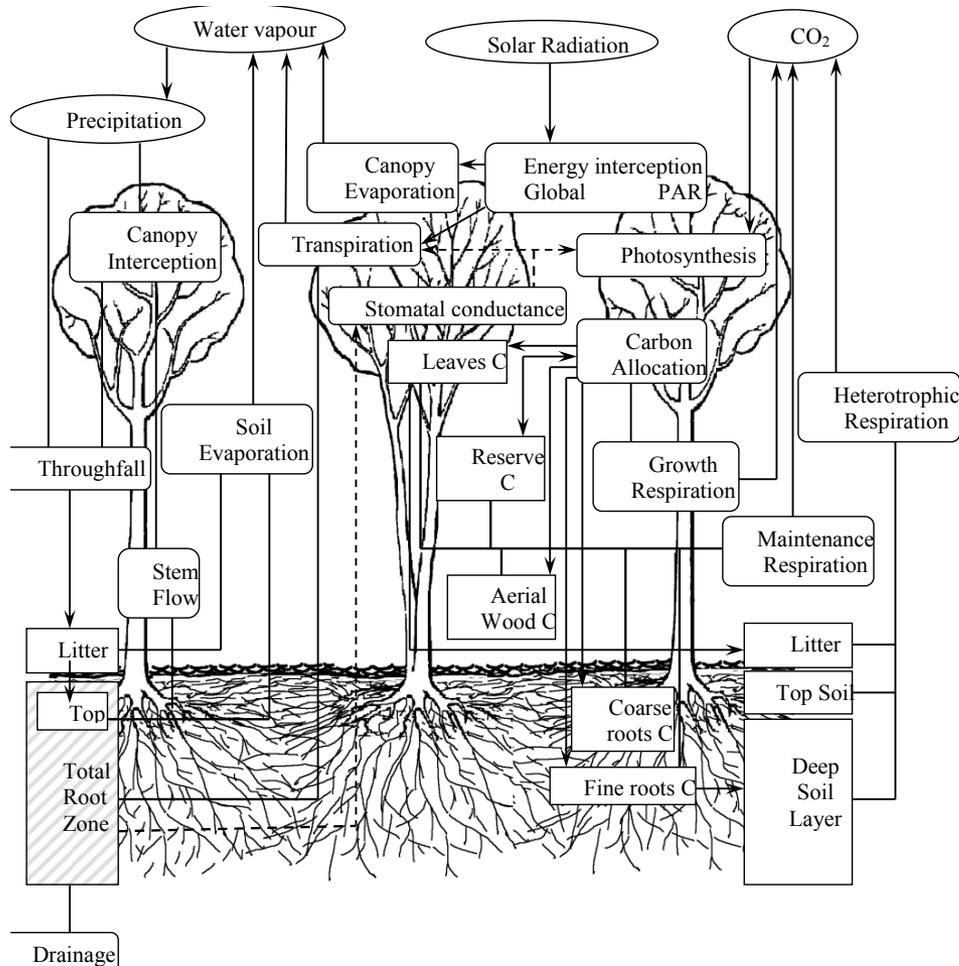


Figure 2. Critical rate of environmental change with costly phenotypic plasticity. The maximum rate of environmental change allowing long-term persistence of a population, η_c is plotted against plasticity b , for several values of the cost of plasticity. For a given plasticity b , the cost increases with decreasing ω_b . For each ω_b , rates of environmental change higher than the corresponding line cause population extinction. Parameters: $r_{max}=0.140$, $T=1$, $\gamma=1/51$, $B=2$, $\sigma^2=1$, and $h^2=0.5$.

Modèles de simulation: couplage de processus

Modelling carbon and water cycles in a beech forest Part I: Model description and uncertainty analysis on modelled NEE

E. Dufrêne^a, H. Davi^{a,*}, C. François^a, G. le Maire^a, V. Le Dantec^b, A. Granier^c



Bilan carbone

- Photosynthèse
- Respiration des arbres
- Respiration du sol

Bilan énergétique

- Interception de la lumière
- Bilan thermique

Bilan hydrique

- Transpiration
- Evaporation du sol
- Interception des pluies

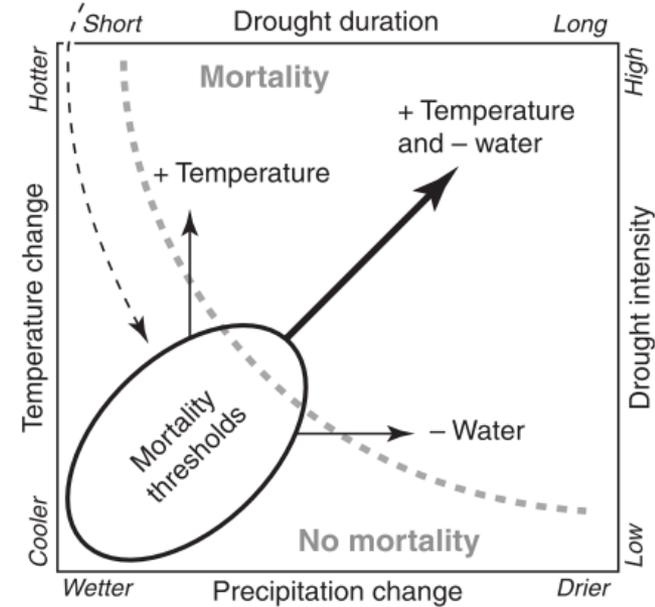
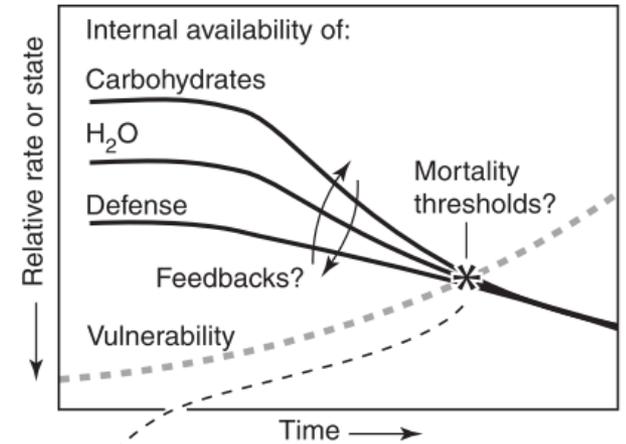
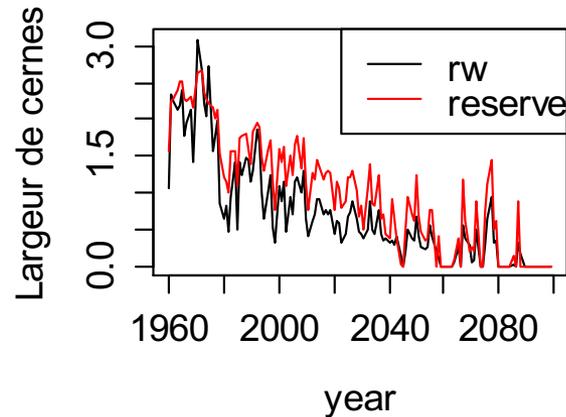
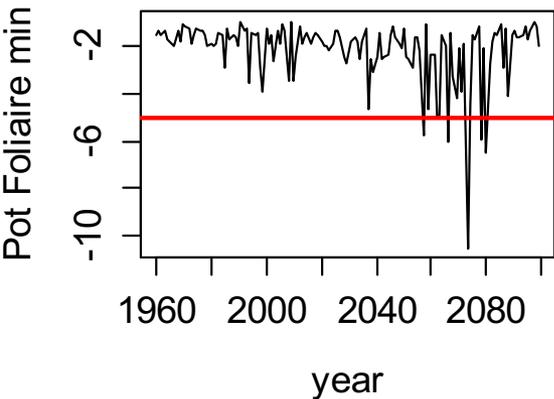
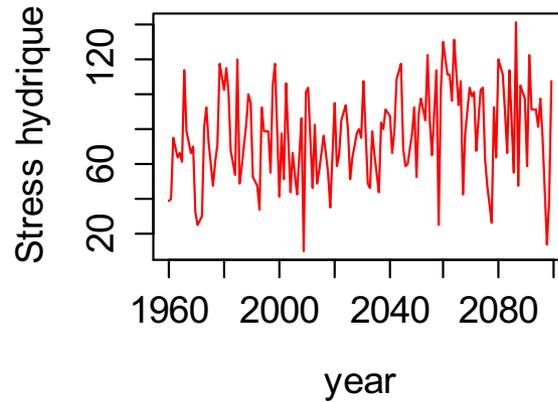
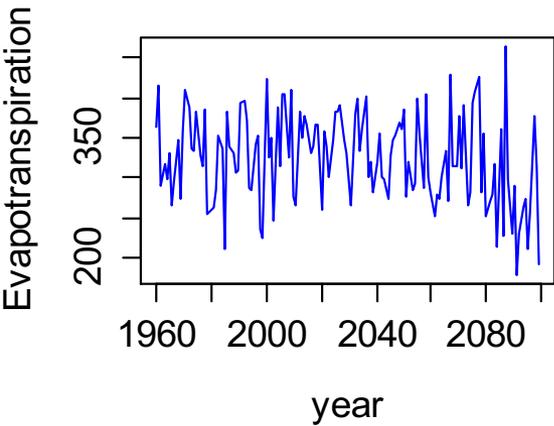
Croissance

- Hauteur
- Diamètre
- Largeur des cernes
- Reproduction

Modèles de simulation: stratégie de validation

Processus	Echelle spatiale	Echelle temporelle	Disciplines
Flux net de carbone	Couvert	jour/ année/ décennie	Mesures physiques (théorie fluctuations turbulentes : EC)
Flux net d'eau	Couvert		Physiologie de l'arbre
Flux de sève	Arbre		Physique
Bilan énergétique	Couvert		
Photosynthèse	Branche	jour	Ecophysiologie
Bilan hydrique du sol	Sol	année/ décennie	Physique du sol
Respiration du sol	Sol	Jour/année	Ecophysiologie
Croissance du bois	Arbre	Année/siècle	Dendrochronologie

Modèles de simulation: prédiction



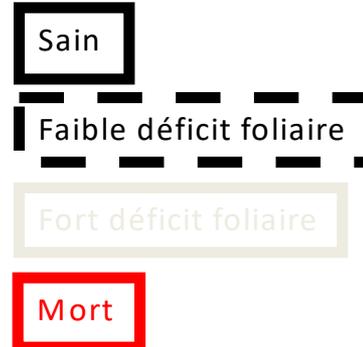
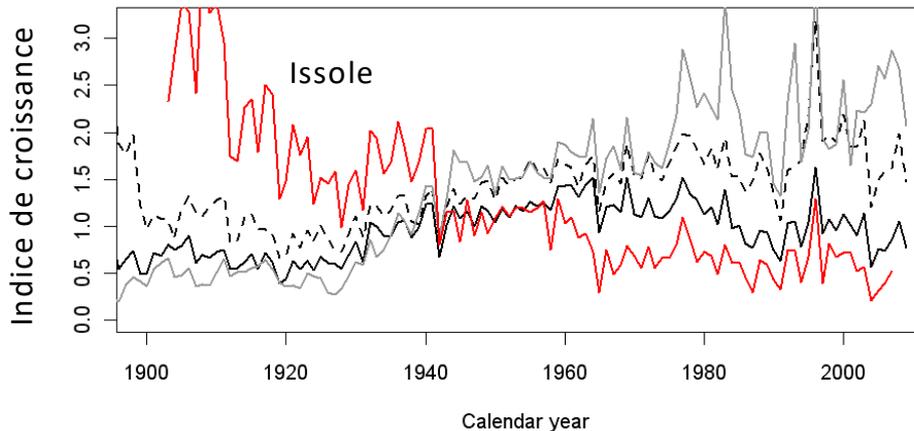
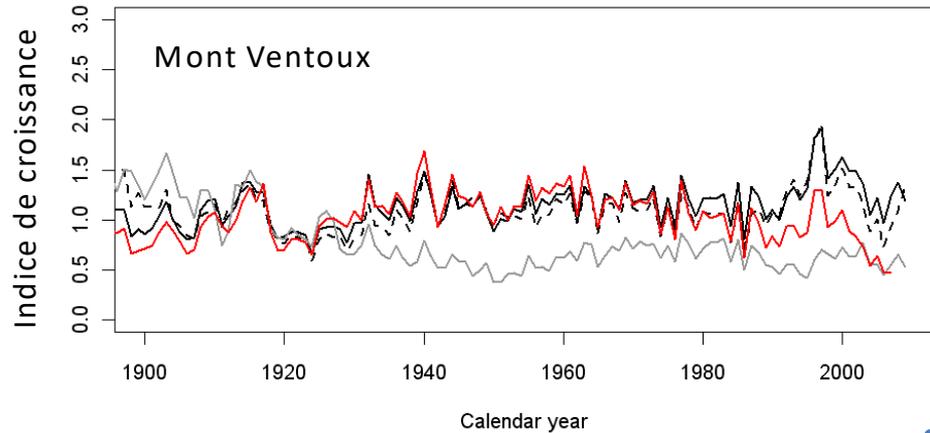
Devenir du Hêtre en basse altitude

TRENDS in Ecology & Evolution

Sciences & Philosophie: Regards croisés sur les simulations numériques

Modèles empirique: mortalité et largeur de cernes

Drought-induced decline and mortality of silver fir differ among three sites in Southern France



Prédire la mortalité à partir des largeurs de cernes

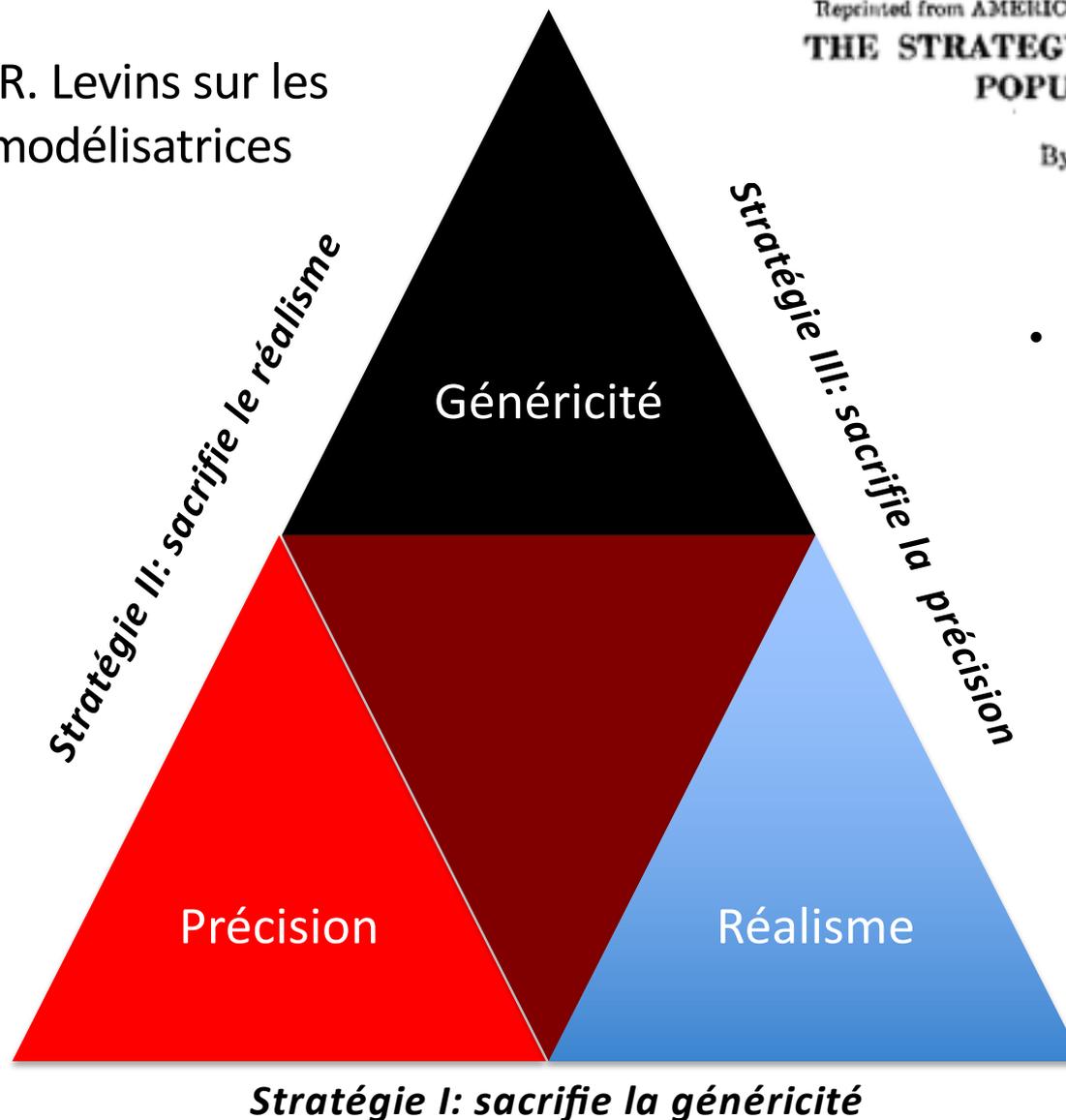
1. Le niveau de croissance moyen des dernières années prédit mal la mortalité
2. Meilleurs modèles (AUC élevée)
 - > Prise en compte de la croissance juvénile
 - > Mémoire de stress de 2 ans

Typologie des modèles en écologie

	Empirique	Théorique	Simulation
Mode d'inférence	Inductif	Hypothético Déductif	IME
Catégories de l'entendement	Synthèse	Analyse	Synthèse et analyse
Extension de la classe des types de faits	Faible	Forte	Intermédiaire
Force	Précision	Généricité	Réalisme

Le triangle de Levins

Triangle de R. Levins sur les approches modélisatrices (1966)



Reprinted from AMERICAN SCIENTIST, Vol. 54, No. 4, December 1966
**THE STRATEGY OF MODEL BUILDING IN
POPULATION BIOLOGY**

By RICHARD LEVINS

- Pour Levins
 - Illusion de « brute force approach »
 - Aucun modèle ne peut concilier les trois propriétés

Des questions pratiques aux problèmes épistémiques

1. Option « brute force approach » de nouveau valide, du fait de la quantité de données et des capacités de calcul?
2. Empirique vs théorie vs modèle de simulation? Quel outil choisir? Pour répondre à quelle questions et dans quel contexte?
1. Lien « monde réel » et modèle/ représentation => référence des entités théoriques ou idéels (débat philosophique réalisme/antiréalisme)
1. Place de la question scientifique dans la construction du modèle et dans l'interprétation: pluralité des modèles

L'œuvre philosophique de Gödel

1. **Logicien et mathématicien**
2. **Réflexions philosophiques et épistémiques importantes mais souvent non publiées**



Les livres de Hao Wang :

- Reflexion on Kurt Gödel MIT Press 1980
- A logic journey from Gödel to philosophy. 1996 MIT Press.
- Collected works of Kurt Gödel. Oxford University Press.
- Russell's Mathematical logic un article que Gödel a publié en 1944.
- Les textes des Max Phil X, qui sont encore inédits sont des notes de lecture que Gödel a fait.
- The philosophical signifiante of Gödel's slingshot argument. Article de S Neale dans mind

Gomperz

Hilbert

Türing

Kant

Leibnitz

Husserl

2 caractéristiques de la philosophie de Gödel => rencontre possible avec les problèmes sous jacents au modèles et l'application à l'écologie

1. Gödel cherche un système philosophique exprimable dans une axiomatique des concepts: :
 - I. Les problèmes de la référence/dénotation
 - II. Notion de concept .vs. Notion de classe

2. Gödel est contre la spécialisation des sciences et de la philosophie
 - I. Il ne se satisfait pas d'une philosophie/science morcelée
 - II. Il pense que le monde est un système qui fait un tout que l'on ne pas découpé sans perdre quelque chose de sa substance.

La référence/ dénotation des termes idéels

$$SNP_i = a \times altitude_i + b \times espece_i + c \times ann\u00e9e_i + d \times diam\u00e8tre_i + \epsilon$$

Typologie des r\u00e9f\u00e9rences des termes id\u00e9els

- Objets
 - Relations entre objets
 - Faits/processus
 - Classe finie d'objets, faits, relation
 - **Classe infinie d'objets, faits, relation**
 - **Concept**
1. H\u00e9t\u00e9rog\u00e9n\u00e9it\u00e9 des types de r\u00e9f\u00e9rences au sein d'un m\u00eame mod\u00e8le
 2. Le probl\u00e8me de la r\u00e9f\u00e9rence existe surtout pour les deux derniers types !

Quand on a unifi\u00e9 un grand nombre de processus sous le concept d'adaptation ou de plasticit\u00e9, qu'\u00e0 t'on dit de l'unit\u00e9 du monde r\u00e9el?



Rayon no\u00e9tique
(Putnam) entre faits et
repr\u00e9sentation ?

$$\frac{dX}{dt} = r \times X - g \times X \times Y$$

$$\alpha = \langle A, R_1, R_2 \dots R_n \rangle$$

$$A = \{A_1, \dots, A_x\}$$

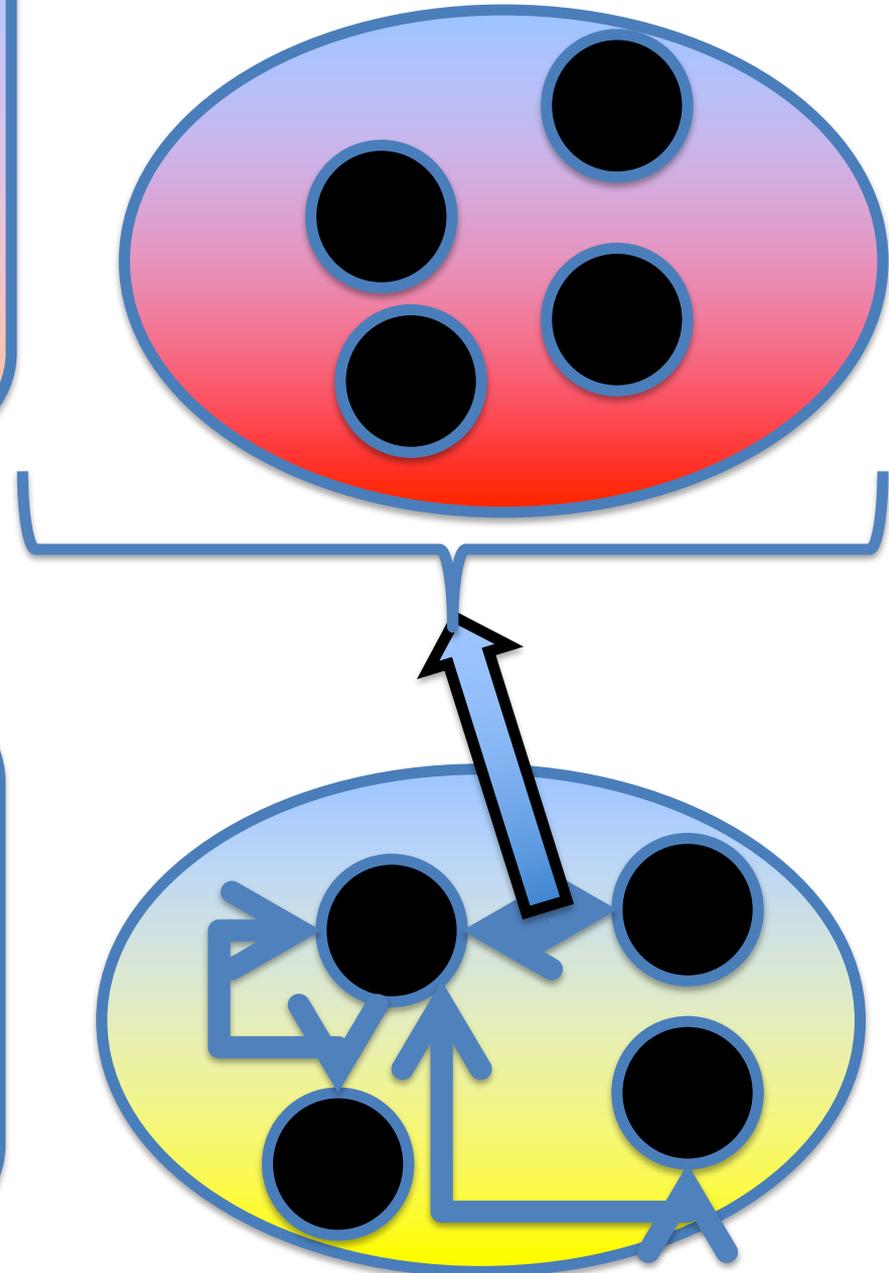
A_i est un objet, R est une relation dans le monde théorique

Φ est il unique?

$$\beta = \langle B, R'_1, R'_2 \dots R'_m \rangle m \leq n$$

B_i est un objet, R'_i est une relation dans le monde des phénomènes

Modèle de Friedman
(Morrison 1988)



Gödel et la théorie de la référence

3 questions:

- Nature de la référence des entités conceptuelles?
- Pluralité des modèles représentant d'un même fait?
- Vérité et modèle?

« Les signes donnent présence à ce qui est absent invisible, et le cas échéant inaccessible au sens (...). Sans les signes nous ne nous élèverions pas à la pensée conceptuelle » Frege (1882), p63

Classe => Concept
Concept ≠> Classe

8.6.14 : *« Il n'est pas évident que chaque ensemble est l'extension d'un concept. Mais une telle conclusion peut être prouvée une fois que nous aurons développé une théorie des concepts et une théorie des ensembles plus complète. Alors que c'est une hypothèse incorrecte de prendre comme propriété du concept de concept, le fait de dire que tout concept définit un ensemble. Il n'y a pas d'erreurs à dire que les ensembles ne peuvent seulement être définis par des concepts ou qu'un ensemble est une certaine façon de parler d'un concept »*

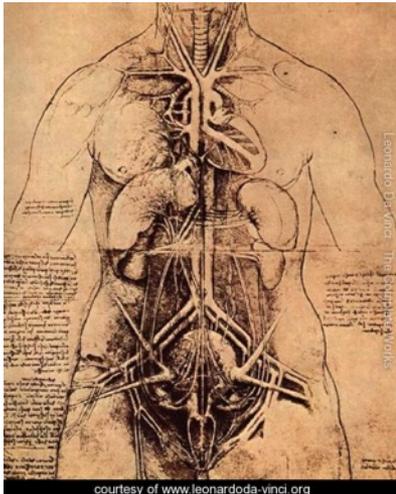
Gödel : faits et vérité

« La vérité (ou les vérités), sont une partie de la réalité, la réalité étant constitué de deux parties, à savoir les choses et les faits (ces derniers étant les liaisons entre les choses) » p20

« ...nous ne voyons rien de nouveau (dans le ciel des concepts) lorsqu'on regarde une chose à la lumière d'un concept, mais seulement lorsqu'on regarde une chose et un concept à la lumière de ε (ou de la vérité) » Max Phil X, p11



on applique un prédicat à un sujet et on regarde dans les faits si l'énoncé produit est vrai => En modélisation on applique une relation théorique à un cas concret et on confronte le résultat aux observations



La science est le développement itératif, de sélection de certains faits possibles que l'on a invalidé par l'observation. Les faits probables sont ainsi déduits des faits possibles.

Modélisation et espace logique

- Espace logique n'est pas une image du monde réel: Image **du monde potentiel**
- Espace logique et modèle caractérisée par **l'intentionnalité**
- Objectivité et lien au monde réel: **application** d'un prédicat à un objet idéal => faits potentiels comparés aux faits réels
- Diffère du **troisième monde** (Popper) qui est lui le lieu de sédimentation du savoir objectif



Strates dans l'espace logique

Expérimentation: Pour mieux confronter l'espace logique au monde, on **déforme** le monde en créant une expérience qui permet **d'éliminer certaines interactions** pour mieux tester des interactions majeures attendues dans l'analyse du monde logique des faits possibles.

Concept: Une des conséquences du caractère potentiel et intentionnel des entités de l'espace logique est qu'elles sont **potentiellement finalement vides** tant qu'elles ne sont pas appliqués à un phénomène

« Les intentions véritablement objectivantes, ce sont les intentions vides, celles qui visent par-delà l'apparition présente et subjective la totalité infinie de la série d'apparitions » p28 L'être et le néant de Sartre

Modèles empiriques

Modèles théoriques

Proximité aux faits

Modèles de simulation



Médiation

Proximité
question/intention

Inductif

Hypothetico-deductif

Structure l'espace logique



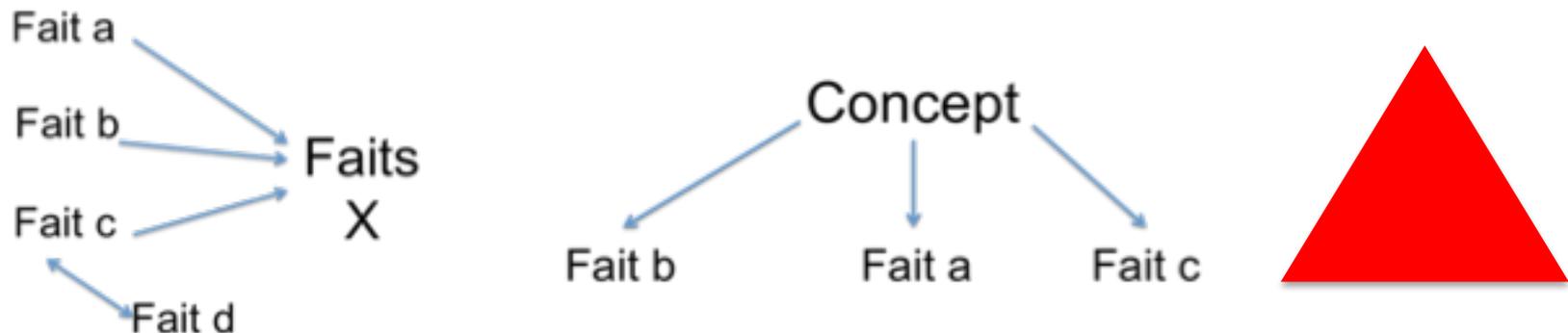
Espace logique s'apparente à un **espace de n-dimensions** constituées de points, équivalents des **monades** dans le monde réel, de **relations** entre ces points, qui modifient les propriétés intrinsèques de ces points et de **faits potentiels** qui correspondent à la mise en relation dans le temps et dans l'espace de différents points.

Mais ces points ou relations peuvent être à leur tour reliés entre eux pour définir des **types de points** ou des **types de relations** de **classe potentiellement infinie**, au contour flou et qui ne **dénotent pas sur des entités réelles** directement : ce sont les **concepts**.

En guise de conclusion

1. Option « brute force approach » n'est pas à généraliser mais utile car elle multiplie les « points de rencontre » structure théorique-faits
2. Différents types de modèles sont complémentaires

1. Clarifier la dénotation des entités idéels (homogénéité), dénotation des concepts demeure problématique
1. Place de l'intentionnalité n'est pas une faiblesse mais une force, pluralité des modèles est absolument nécessaire.
2. Opposition irréductible entre précision et le couple généralité/réalisme



Merci



Sciences & Philosophie: Regards croisés sur les simulations numériques