

# Faits, modèles et théories en écologie :

*Revisiter les intuitions de Levins à partir de la philosophie de Gödel*

Hendrik Davi (INRA, Avignon)

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

Gabriella Crocco (Directrice du CEPERC, Aix)

1. **Généalogie d'une réflexion**
2. **Autour de l'article de Levins (1966)**
3. **Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel**
4. **L'évolution dialectique de l'espace des concepts et du monde réel**



**Peut on dépasser le pluralisme en écologie par la modélisation ?**

# Généalogie d'une réflexion



1. Thèse sur la **modélisation des flux de carbone et d'eau** dans les forêts
2. Rendre **générique** un modèle développé pour le Hêtre
3. Recruté pour travailler sur la **dynamique des forêts mélangées**
4. ANR sur la **mortalité** des arbres
5. Lien avec la **biologie évolutive**
6. Champs de recherche actuel: **Adaptation des forêts** au changement climatique



Pluralité d'objets

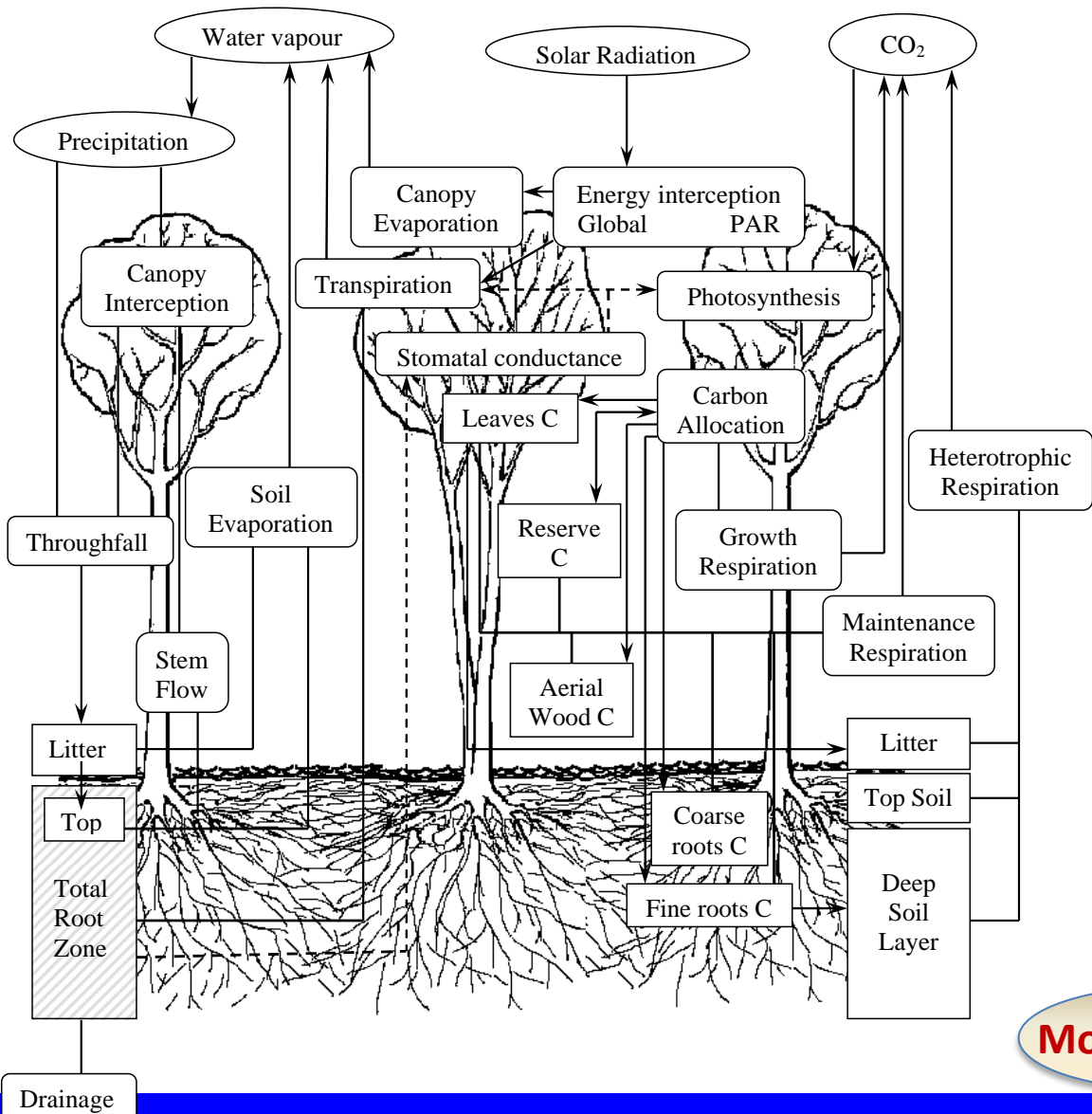
Interdisciplinarité



# Généalogie d'une réflexion

Water Balance Model

Carbon Balance Model



## 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

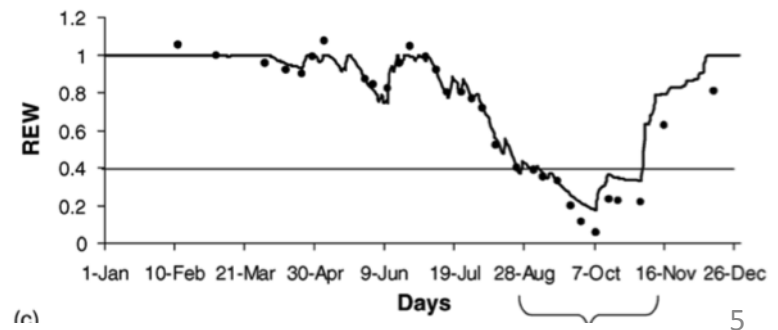
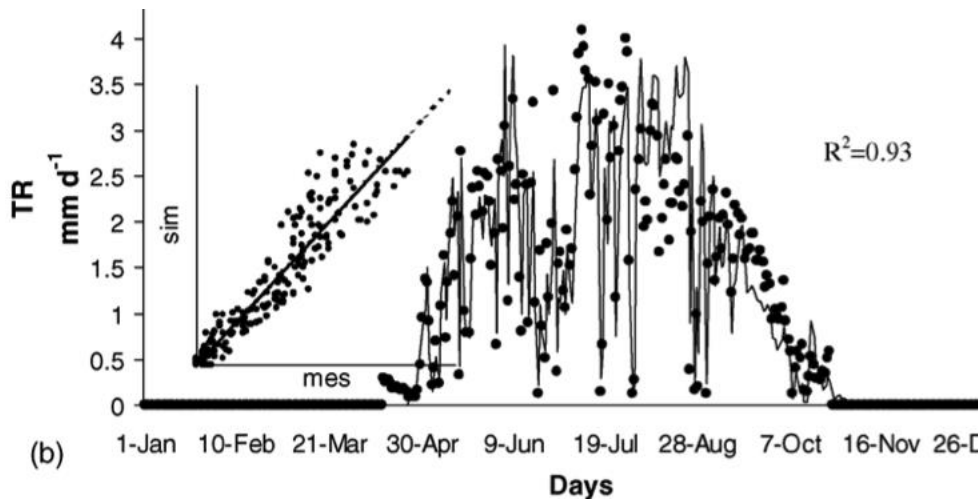
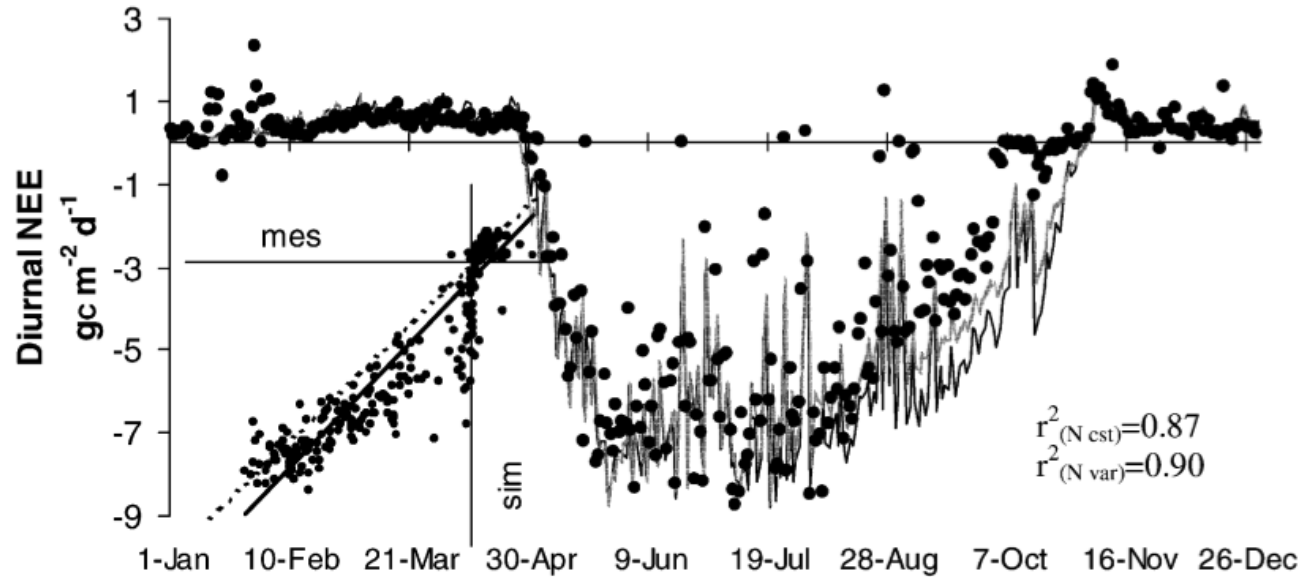
- Hauteur
- Diamètre
- Largeur des cernes
- Reproduction

**Modélisation**

# Evaluation of CASTANEA model

Validation

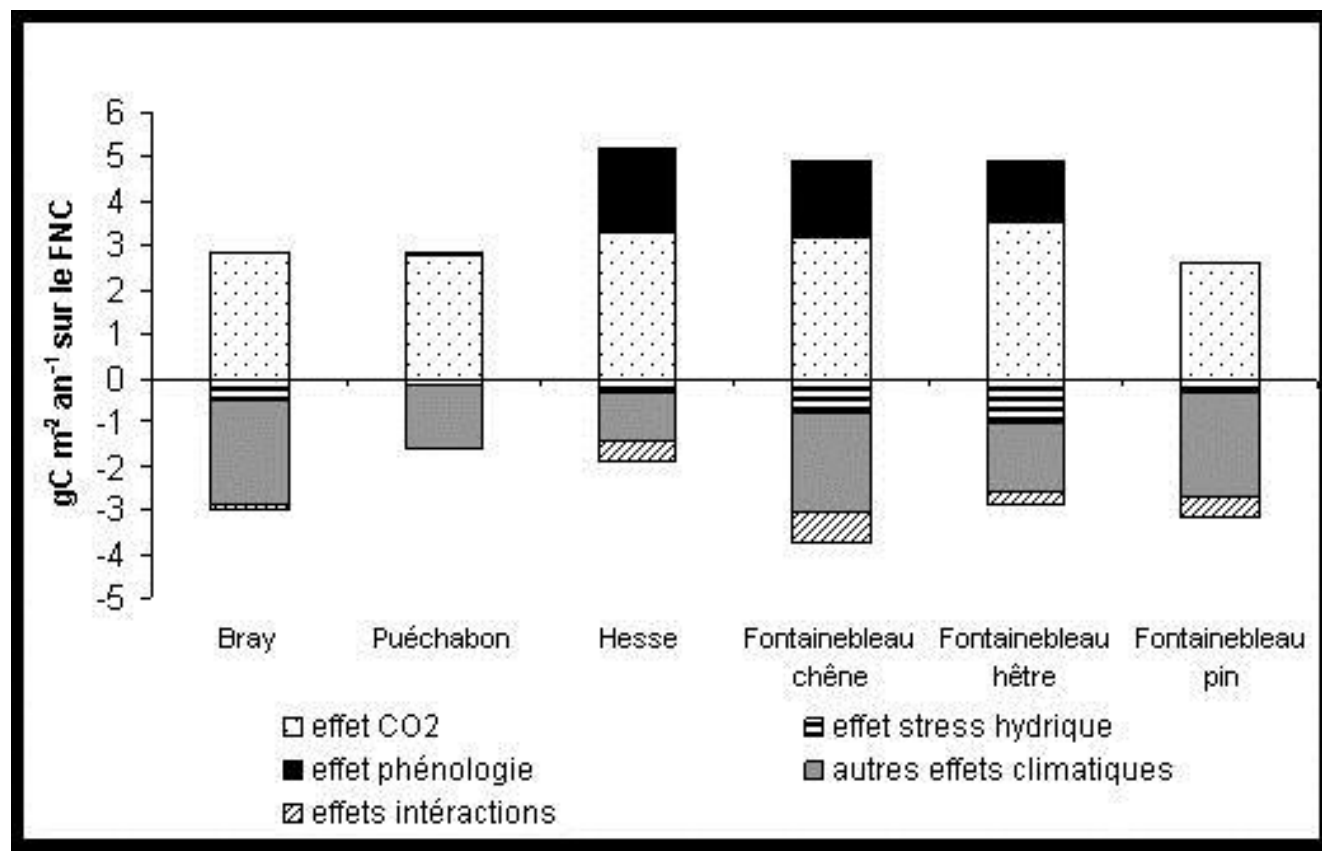
Model evaluation on several processes (Davi et al. 2005)



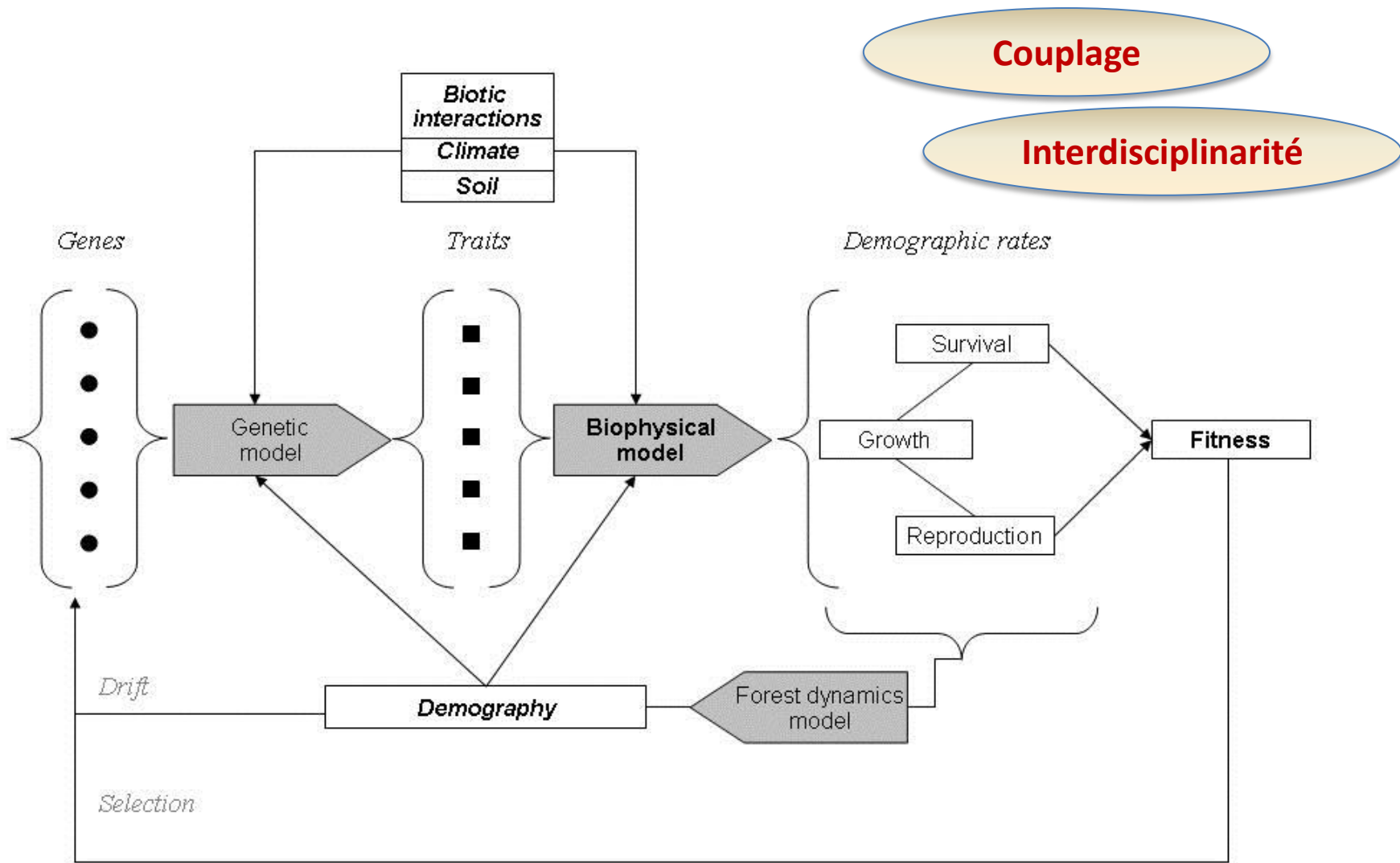
# Augmentation conjointe de la température, du stress hydrique et du CO2 sur le flux net de carbone

➔ Modélisation des effets est complexe (dépendent de l'espèce)  
Modèles statistiques sont inopérants

« Prédiction »



# Généalogie d'une réflexion



Oddou-Muratorio & Davi 2014

# PDG, a new hybrid model

**CASTANEA**

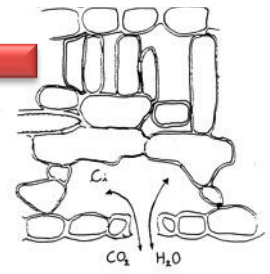
Dufrêne et al. 2005



$Fecundity = f(reserves)$



ADULTS



Growth/ mortality

ADULTS

Date of Budburst

Dispersal  
-pollen dispersal kernel

Mating system

(2% selfing)

SEEDS



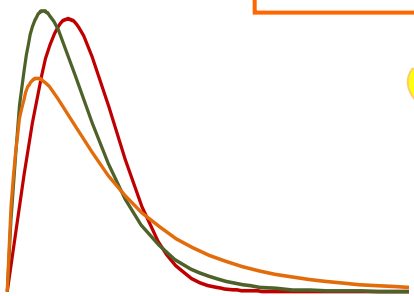
GENETICS

Rate of empty seed,  
germination, survival

Density-dependence  
mortality

SEEDLINGS

Dispersal





# Généalogie d'une réflexion



Champ de recherches scientifiques

Question(s)  
Spécifique(s)



Réalité



**Modéliser**

Construire une abstraction d'une réalité  
en définissant un système

Dialectique

# Généalogie d'une réflexion

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:

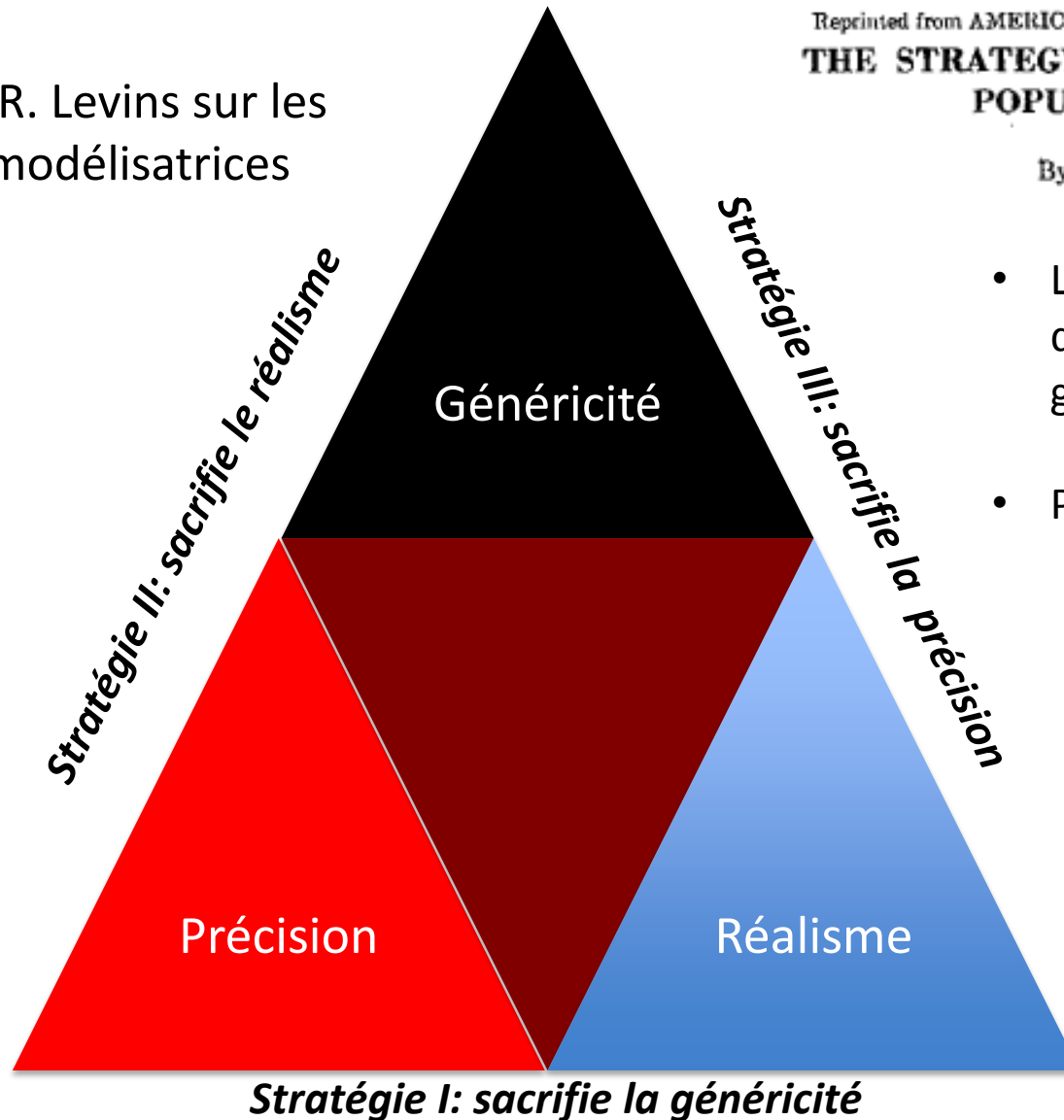
1. De connecter des champs disciplinaires variées (e.g modèles climatiques)
2. D'absorber une importante quantité de données (e.g satellite, images diverses, génomes)
3. De prédire l'évolution des systèmes et d'être des outils d'aide à la décision et à la gestion adaptative

## Posent questions épistémiques:

- Pluralité des modèles
- Place des modèle .vs. théorie .vs. observations et l'expérimentation
- Référence des entités théoriques
- Réalisme / Instrumentalisme
- Véracité des modèles

# Around the article of Levins (1966)

Triangle of R. Levins on the modeling approaches (1966)

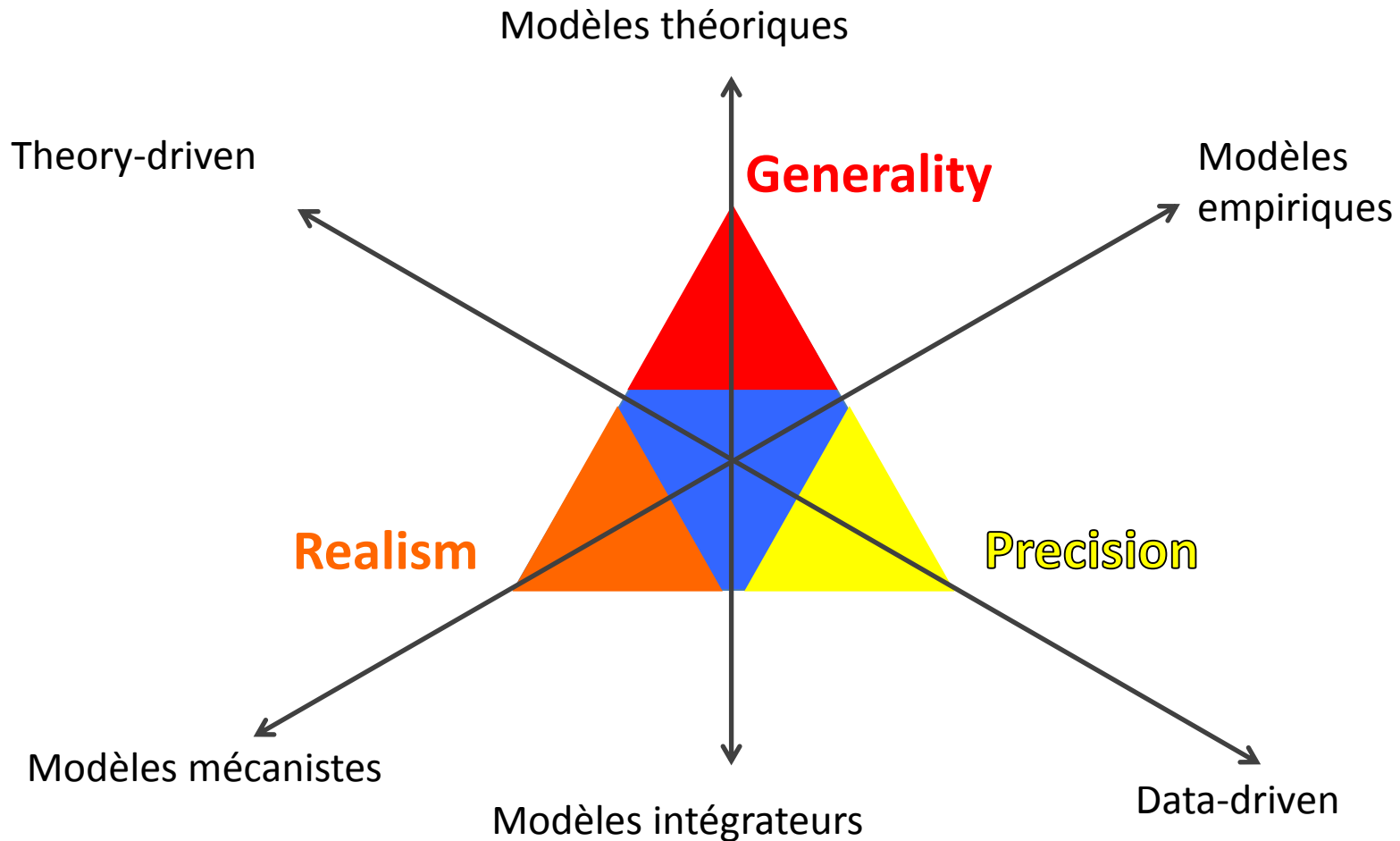


Reprinted from AMERICAN SCIENTIST, Vol. 54, No. 4, December 1966  
**THE STRATEGY OF MODEL BUILDING IN  
POPULATION BIOLOGY**

By RICHARD LEVINS

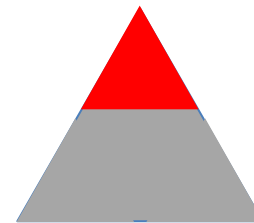
- La **question**: l'importance de la démographie en génétique des populations
- Pour Levins
  - Illusion de « brute force approach »
  - Aucun modèle ne peut concilier les trois propriétés

# Autour de l'article de Levins (1966)



# Exemple la dispersion: E. Klein (INRA Avignon)

- Modèles théoriques à 2 ou 3 paramètres
- Dérivations mathématiques des solutions



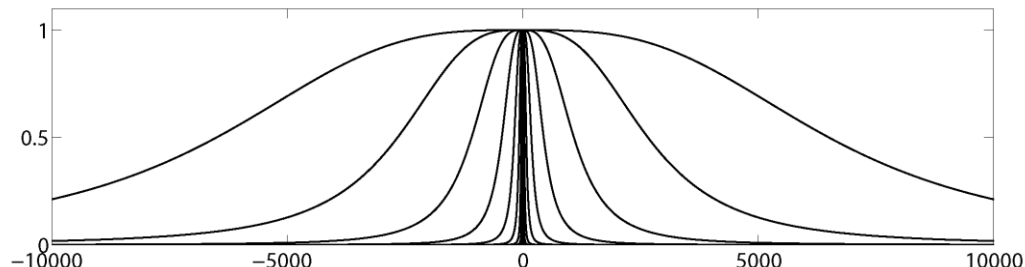
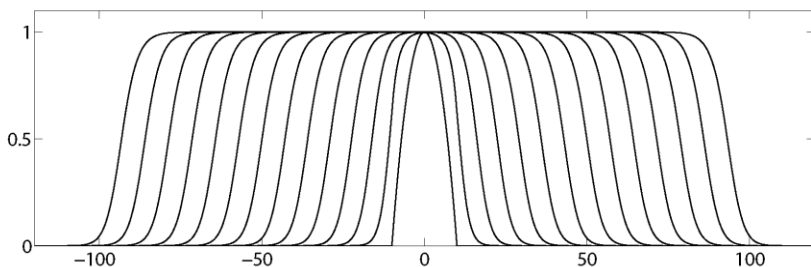
$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} + f(u(x,t))$$

$$v_{\infty} = 2\sqrt{Df'(0)} = 2\sqrt{Dr}$$

-> diffusion et le taux de reproduction à faible densité contribuent également à  $v_{\infty}$ , pas la densité dépendance.

$$\frac{\partial u(x,t)}{\partial t} = \int_{-\infty}^{+\infty} K(x-y)(u(y,t) - u(x,t)) dy + f(u)$$

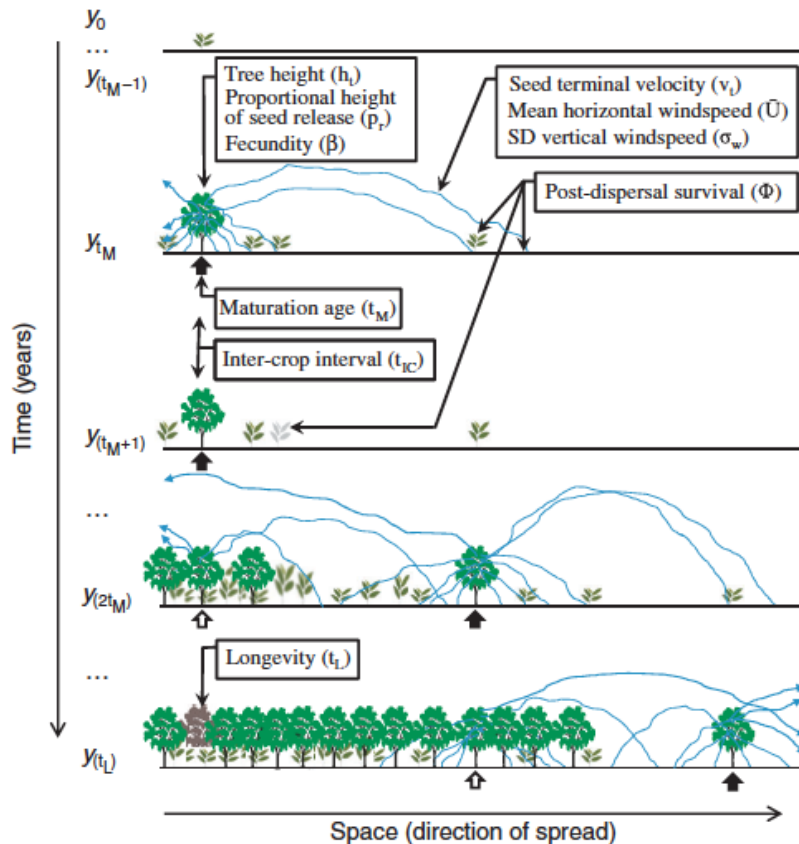
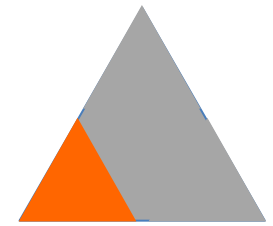
-> Vitesse constante si  $K$  à queue légère  
-> Accélération si  $K$  à queue lourde



-> La dispersion à longue distance à un effet majeur sur la vitesse de colonisation

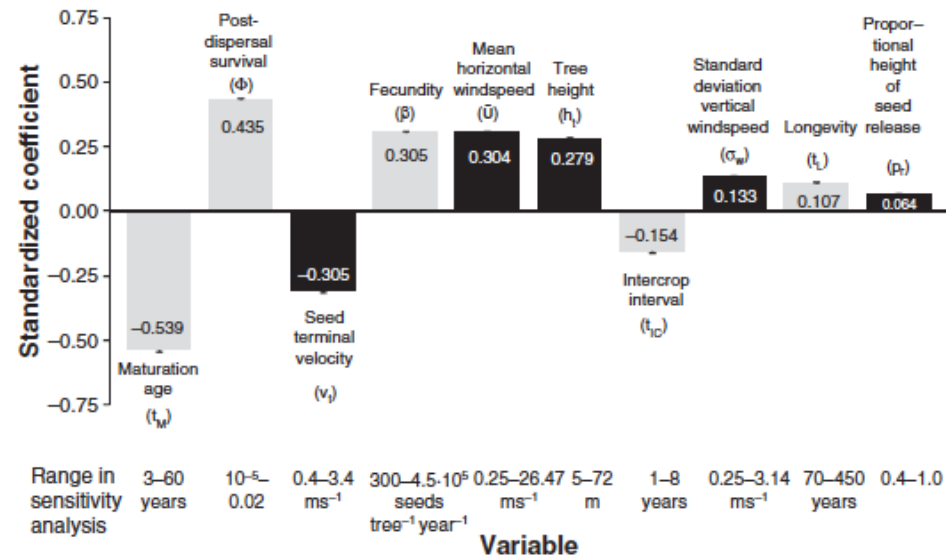
# Exemple la dispersion: E. Klein (INRA Avignon)

Realism



- 10 paramètres mécanistes
- Gamme de variation pour 12 espèces contrastées d'arbres
- Analyse de sensibilité globale

-> **âge de maturité et la survie post-dispersion** contribuent majoritairement à la variation de vitesse (pour ces espèces)



Variable	3-60 years	10 <sup>-5</sup> -0.02	0.4-3.4 ms <sup>-1</sup>	300-4.5 · 10 <sup>5</sup> seeds tree <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup>	0.25-26.47 m	5-72 m	1-8 years	0.25-3.14 ms <sup>-1</sup>	70-450 years	0.4-1.0
----------	------------	------------------------	--------------------------	---	--------------	--------	-----------	----------------------------	--------------	---------

ECOLOGY LETTERS

Ecology Letters, (2011) 14, 211-219

doi: 10.1111/j.1461-0248.2010.01573.x

LETTER

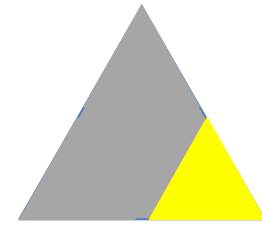
Spread of North American wind-dispersed trees in future environments

Abstract

Despite simple research, understanding plant spread and predicting their ability to track projected climate changes remain a formidable challenge to be confronted. We modelled the spread of North American wind-dispersed trees in current and future (c. 2060) conditions, accounting for variation in 10 key dispersal, demographic and environmental factors affecting population spread. Predicted spread rates vary substantially

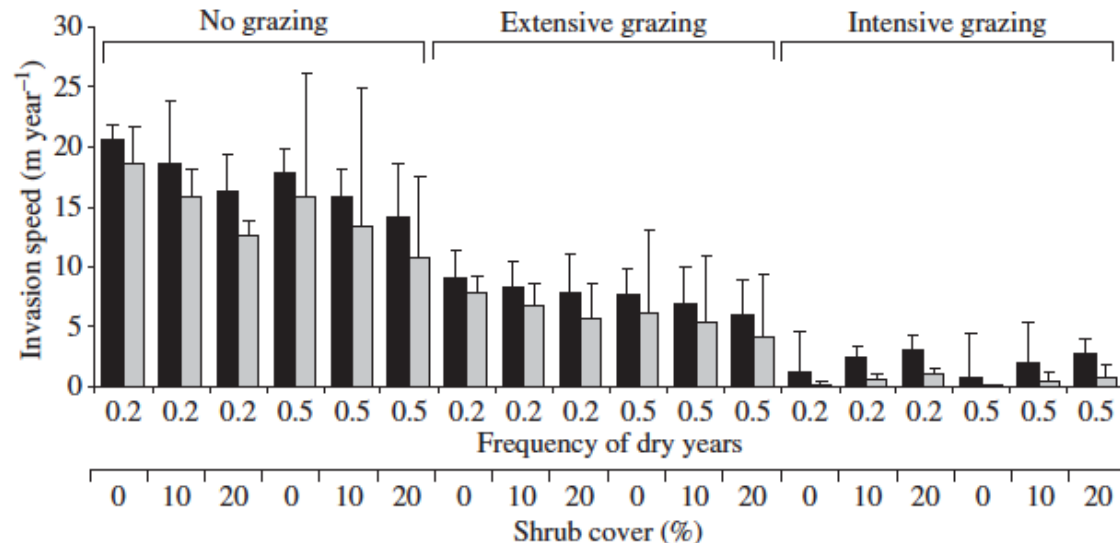
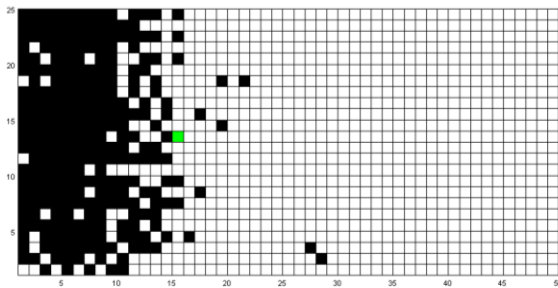
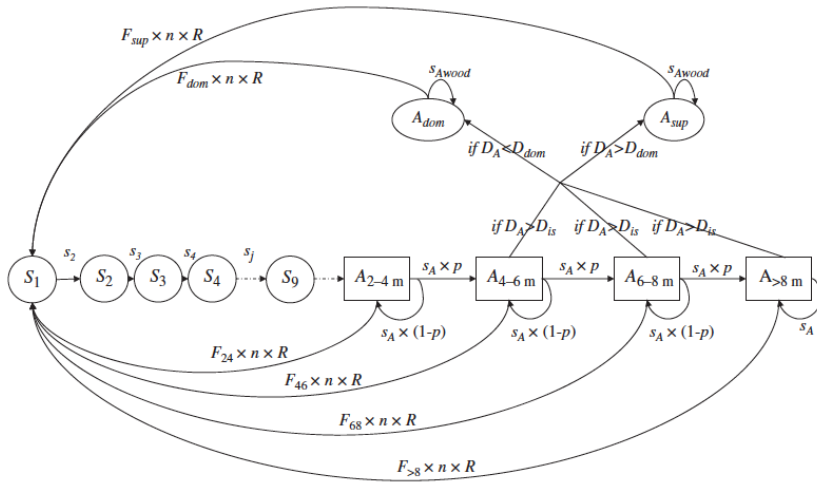
Ran Nathan,<sup>1</sup> Nir Horvitz,<sup>2</sup> Yanling He,<sup>2</sup> Anna Kaplan,<sup>2</sup> Frank M. Schemm<sup>1</sup> and Gabriel G. Katul<sup>1</sup>

# Exemple la dispersion: E. Klein (INRA Avignon)



Precision

- **Un système identifié:** *Grands Causses, Pinus sylvestris & Pinus nigra*
  - 49 paramètres calibrés par des **expériences préliminaires** + littérature
  - Prédictions quantitatives de la vitesse d'expansion dans différents environnements
  - + analyse de sensibilité locale
- > Vitesses attendues sous différents contrôles de l'environnements



Diversity and Distributions, (Diversity Distrib.) (2009) 1–13



Disentangling the effects of land use, shrub cover and climate on the invasion speed of native and introduced pines in grasslands

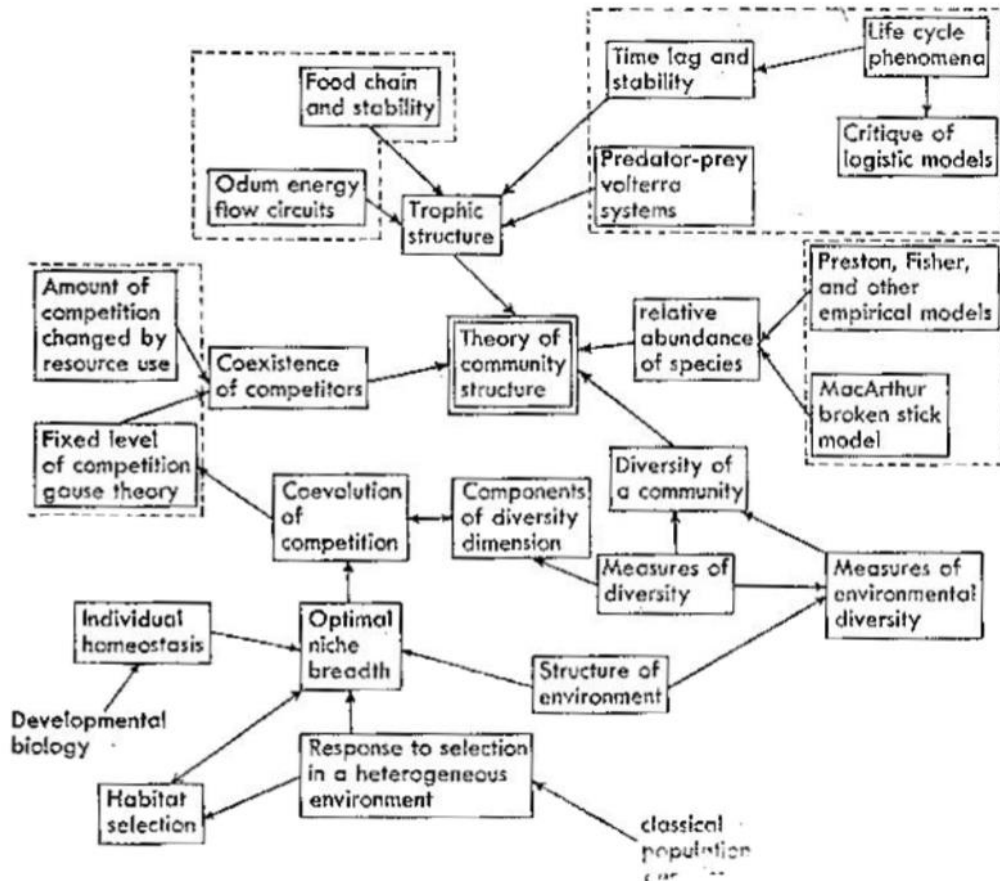
Nadine Boulant, Aurélie Garnier<sup>2</sup>, Thomas Curt<sup>3</sup> and Jacques Lepart<sup>1\*</sup>



# Autour de l'article de Levins (1966)

## Autres aspects de l'article de Levins

- Nature de la modélisation
- « Robustesse » d'une approche de modélisation / paramètres suffisants
- Cluster de modèle => dépend de la question



« Un modèle n'est ni une hypothèse, ni une théorie. Contrairement à une hypothèse scientifique un modèle n'est pas directement vérifiable par une expérience. Tous les modèles sont à la fois vrais et faux. Presque toutes les relations proposées concernant des aspects de la nature sont en quelque sorte vrais, dans le sens qu'elles ont effectivement lieu (même si c'est faiblement ou rarement) »

# Atour de l'article de Levins (1966)

## 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

# Atour de l'article de Levins (1966)

## Les définitions d'Orzack & Sober (1993)

- « Si un modèle s'applique à plus de systèmes réels dans le monde qu'un autre, il est dit plus **générique** »
- « Si un modèle prend plus de variables indépendantes connues pour avoir un effet qu'un autre, il est dit plus **réaliste** »
- « Si un modèle génère des prédictions plus précises qu'un autre, alors il est dit plus **précis** »

## La critique d'Orzack & Sober (1993)

- Critique de la taxonomie donnée par Levins qui ne repose sur rien:
  - notions relatives
  - problème de l'instanciation
- Pas de trade-off entre généralité, réalisme, précision

$$\frac{dN}{dt} = rN,$$

$$\frac{dN}{dt} = rN + \alpha N^2$$

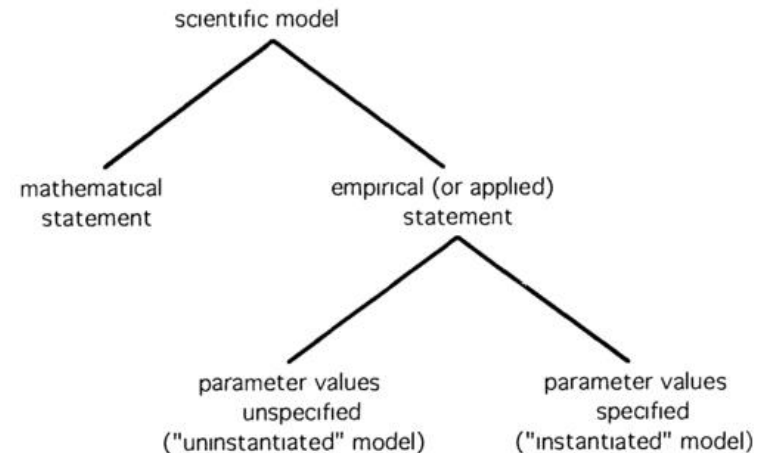
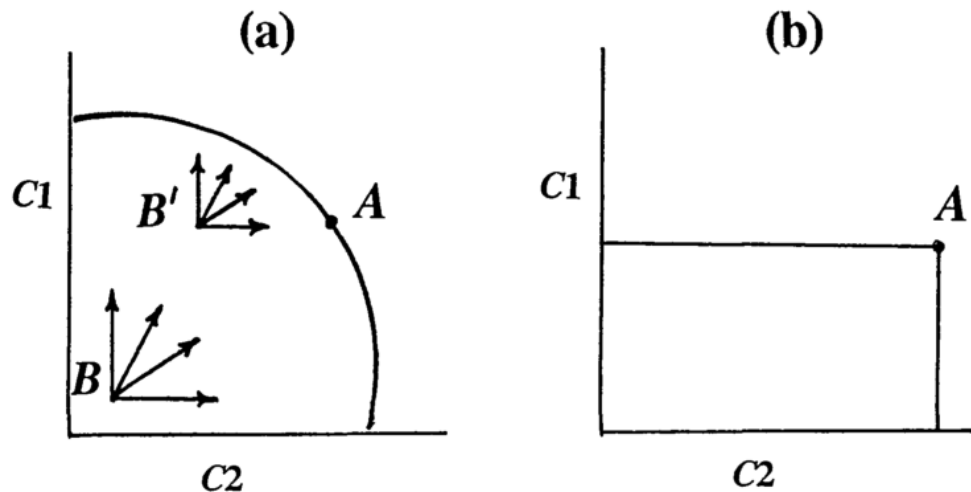


FIG. 1. THE RELATIONSHIP BETWEEN THE MATHEMATICAL STATEMENT OF A SCIENTIFIC MODEL AND TWO TYPES OF EMPIRICAL FORMULATION IT MIGHT RECEIVE

# Atour de l'article de Levins (1966)

## La réponse de Levins (1993)

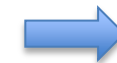
- Vision dialectique *versus* vision analytique
  - « Orzarck et Sober réifient une discussion, sur la construction des modèles à une discussion sur les modèles (essence des modèles) »
- La construction dépend de la question et est contraint par l'état du champs scientifique (capacité de calcul)
- Instanciation: point dans un continuum de spécification



« Formal analysis freezes moments of a process into things »

« Formal analysis prefers fixed definitions of objects free of their context »

« Formal analysis breaks the world and the scientific process that study the world into mutually exclusive categories, although the world is fluid and categories forms, dissolve, overlap and interpenetrate »



**Différence entre maximisation et accroissement**

# Around de l'article de Levins (1966)

## En guise de conclusion:

1. La critique d'Orzack & Sober est justifiée => pousse Levins à préciser son article initial
2. La réponse de Levins (sa critique de la vision analytique) est aussi convaincante
3. Elle élude en partie le problème:
  - Pas de fondation théorique du trade-off proposé
  - Origine du trade-off dans la nature du monde (limite ontologique) ou dans la connaissance (limite épistémique)?
  - Pas de fondation « empirique » convaincante
4. Soulève des questions épistémiques
  - Quelle est la nature des modèles utilisés en écologie?
  - Existe-t-il une typologie « naturelle » des modèles?
  - Question des références des entités théoriques
  - Relation entre modèle et vérité



**Vision dialectique revient à une vision **instrumentaliste** de la modélisation  
Mais sa notion de robustesse tend à réhabiliter une vision **réaliste****

# Revisiter ces problèmes philosophiques avec 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 signifiance of Gödel's slingshot argument. Article de S Neale dans mind

*Gomperz*

*Hilbert*

*Türing*

*Kant*

*Leibnitz*

*Husserl*

# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

1. *Le monde est rationnel*
2. *La raison humaine peut en principe encore être plus développée (par le biais de certaines techniques)*
3. *Il existe des méthodes systématiques pour la résolution de tous les problèmes*
4. *Il existe de façon incomparable plus de connaissances a priori que ce qui est actuellement connue.*
5. *Les concepts ont une existence objective*

**9.4.17**

« Un ensemble est un type spécial de tout. Les ensembles sont des unités qui sont juste des multitudes ; mais généralement les entières (ou les tous) sont plus que seulement des multitudes, se sont aussi des unités »

**9.1.28**



- **Position réaliste**
- Position rationaliste
- Position positiviste
- Position holiste
- **Rôle prédominant de la pensée conceptuelle**

# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

## La nature du débat réalisme / antiréalisme

Thèse métaphysique : être réaliste, c'est affirmer que « **le monde a une structure indépendante de l'esprit** »

Thèse sémantique : être réaliste, c'est affirmer que « **les termes théoriques réfèrent à quelque chose dans le monde et qu'une théorie est vraie si les inobservables qu'elle postule existent** »

Thèse épistémique : être réaliste, c'est affirmer que « **les théories bien confirmées sont tenues pour approximativement vraies et que les entités qu'elles postulent existent, ou tout du moins quelque chose qui leur ressemble** »



# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

## L'argument du miracle et les positions réalistes

« *The positive argument for realism is that it is the only philosophy that doesn't make the success of science a miracle* » Putnam 1975.

### Boyd définit le réalisme par 4 thèses

1. Les termes théoriques des théories scientifiques (les inobservables), doivent être pensés comme des **expressions référant réellement** ; les théories scientifiques doivent être interprétées de façon réaliste
2. Les théories scientifiques interprétées de façon réaliste peuvent être **confirmées** et en fait le sont souvent comme étant **approximativement vraies** par les preuves scientifiques habituelles en accord avec les normes méthodologiques utilisées.
3. Les progrès historiques dans les sciences matures sont largement **le produit d'approximation de la vérité de plus en plus précise** à la fois sur les phénomènes observés et ceux qui demeurent inobservables. Typiquement les théories plus récentes sont construites à partir des connaissances (observationnelles ou théoriques) qui étaient présentes dans les théories anciennes.
4. **La réalité décrite par nos théories scientifiques est largement indépendante de notre pensée et de nos engagements théoriques.**

# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

## L'instrumentalisme du Duhem

**Duhem** : « *Les propositions théoriques ne disent pas quelque chose du monde, ce sont des constructions syntaxiques pour aider l'expérience* ».

« *Une loi de sens commun est un simple jugement général ; ce jugement est vrai ou faux. (...). Il n'en est pas de même des lois que la science physique, parvenue à son plein développement, énonce sous forme de proposition mathématiques ; une telle loi est toujours symbolique ; or un symbole n'est à proprement parler, ni vrai, ni faux ; il est plus ou moins bien choisi pour signifier la réalité qu'il représente, il la figure d'une manière plus ou moins précise, plus ou moins détaillée, mais appliqués à un symbole, les mots vérité, erreur, n'ont plus de sens...» 255 (237).*

## Poincaré / Worrall : réalisme structurale

« (...) *mais ce qu'elle peut atteindre, ce ne sont pas les choses elles-mêmes, comme le pensent les dogmatistes naïfs, ce sont seulement les rapports entre les choses ; en dehors de ces rapports, il n'y a pas de réalité connaissable*»

« *Peu nous importe que l'éther existe réellement, c'est l'affaire des métaphysiciens ; l'essentiel pour nous c'est que tout se passe comme s'il existait et que cette hypothèse est commode pour l'explication des phénomènes* » p215.

# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

## Réalisme et le problème de la référence

Sémantique de Frege

Langage	Nom propre & DD	Prédicat	Énoncé
Sinn	Mode de donation de l'objet	Sens du prédicat	Pensé : Gedanke
Bedeutung	Objet	Concept	Valeur de vérité

« *Le sens d'un nom propre est donné à quiconque connaît suffisamment la langue ou l'ensemble des désignations dont il fait partie ; mais la dénotation d'un signe à supposer qu'elle existe, n'est jamais donné en pleine lumière* » p104. Frege 1892

« *George IV wished to know if Scott is the author of Waverley* »

Ou "L'actuel roi de France est chauve"

Russell

La posture réaliste de Frege aboutit à des paradoxes logiques

- tout énoncé vrai équivaut à tout autre énoncé vrai
- abandon du réalisme=> absence de rayon noétique

# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

Gödel refuse dans son article sur Russell l'abandon du réalisme

- Donne une autre interprétation de l'argument du lance pierre
- Le problème est le passage d'un concept à une classe

Classe => Concept

Concept ≠> Classe

8.6.14 : « *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* »

Pour **Frege** la dénotation des concepts pose aussi problème car les fonctions propositionnelles sont insaturées (Frege 1891):

*« Mon propos est de montrer que l'argument n'appartient pas à la fonction, mais que fonction et argument pris ensemble constituent un tout complet. De la fonction prise séparément on dira qu'elle est incomplète, ayant besoin d'une autre chose, ou encore insaturée. C'est par là que les fonctions se distinguent radicalement des nombres ».* p84

# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

## La référence des termes dans les modèles

### Typologie des références des termes idéels

- Objets
- Faits/ Relations entre objets
- Classe finie d'objets, faits, relations
- ***Classe infinie d'objets, faits, relation***
- ***Concept***

Empirique



Théorique

Le problème de la référence existe surtout pour les deux derniers types, la notion **d'échantillons résolvant le problème jusqu'aux classes finies !**

Quand on a unifié un grand nombre de processus sous le concept d'adaptation ou de biodiversité, qu'à ton dit du monde réel?

# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

## La notion d'espace des concepts

<b>Espace logique</b>	<b>Réel</b>	<b>Champs</b>	<b>philosophe</b>
<b>Description (concept/symbole)</b>	Choses	<i>Langue</i>	<i>Russell</i>
<b>Phénomènes (erscheinung)</b>	Chose en soi/ Dinge an sich	<i>Théorie de la connaissance</i>	<i>Kant</i>
<b>Sinn</b>	Bedeutung	<i>Sémantique</i>	<i>Frege</i>
<b>Possibilité</b>	Réalité	<i>Métaphysique</i>	<i>Leibnitz</i>
<b>Multiple</b>	Un		<i>Platon ou Leibnitz ?</i>
<b>Lumière</b>	Ce qui est éclairé	<i>Physique ?</i>	<i>Platon ?</i>
<b>Ce que dans l'acte de connaissance est en nous</b>	Ce que dans l'acte de connaissance est devant nous	<i>Epistémologie</i>	<i>Husserl</i>

***Ernst Gödel dans les Max Phils (Source G. Crocco)***

On part du réel, on passe par le concept pour mieux revenir à l'essence du réel => au save le réalisme des concepts par une dynamique (dialectique) entre les deux colonnes

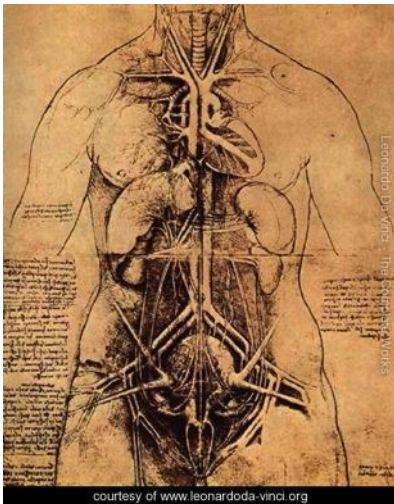
# Revisiter ces problèmes philosophiques avec Gödel

« 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  $\varepsilon$  (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



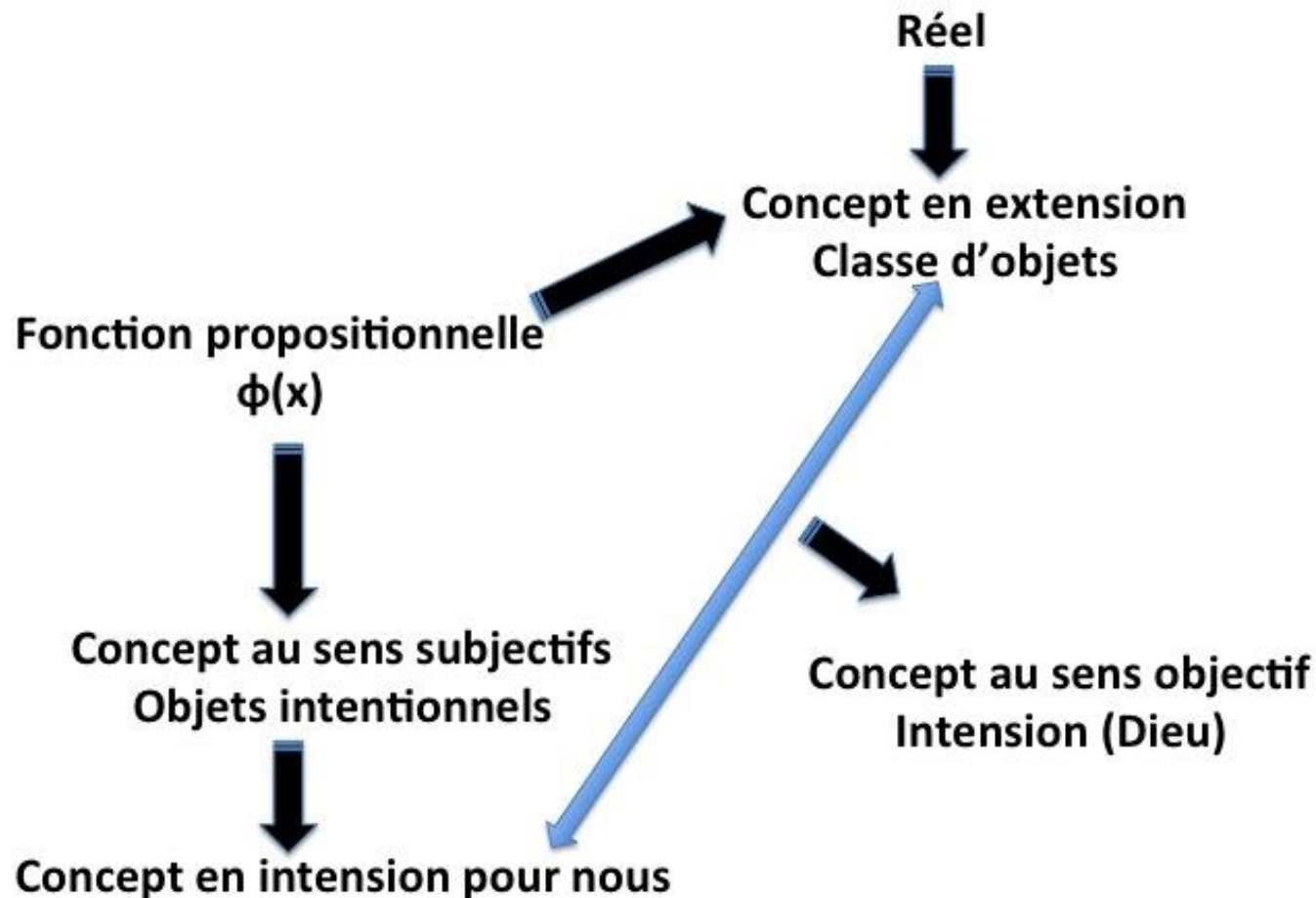
# L'évolution dialectique de l'espace des concepts et du monde réel

Le point de vue est déterminé par la question posée:





# L'évolution dialectique de l'espace des concepts et du monde réel



# L'évolution dialectique de l'espace des concepts et du monde réel

## Espace des concepts : Allégorie de l'échiquier

- Le **monde** est un échiquier dont on ne connaît pas les règles de déplacement des pièces.
- Le but du jeu est **de connaître les règles de déplacement** des pièces.
- On crée un échiquier **imaginaire** qui est l'espace des concepts
- C'est l'échiquier sur lequel on **envisage les déplacements possibles des pièces**
- Le **Sinn** c'est la désignation des pièces de l'échiquier.
- La **bedeutung** est ce qui se passe quand on déplace certaines pièces au cours du temps: c'est leur règle de fonctionnement
- Le **esti** le ciment c'est la main du joueur qui manipule la pièce d'échec d'abord **virtuellement** puis sur l'échiquier **réel**

# L'évolution dialectique de l'espace des concepts et du monde réel

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.



Ce qui "valide" la position réaliste c'est le caractère évolutionniste



## Modélisation et espace des concepts

- Espace des concepts n'est pas une image du monde réel: Image **du monde potentiel**
- Espace des concepts 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
- Espace des concepts et **troisième monde** (Popper)

# L'évolution dialectique de l'espace des concepts et du monde réel

*« Nous pouvons donc dire que la science commence par des problèmes, et progresse à partir de là vers des théories concurrentes, qu'elle évalue de manière critique. L'évaluation de leur vérissimilitude a une portée particulière, car elle exige des tests critiques rigoureux et présuppose par conséquent, de hauts degrés de testabilité, qui dépendent du contenu de la théorie et que l'on peut évaluer a priori. Dans la plupart des cas, et dans les cas les plus intéressants, la théorie finira par s'effondrer et par donner naissance ainsi à de nouveaux problèmes. Et on pourra évaluer le progrès réalisé grâce à l'écart intellectuel entre le problème d'origine et le nouveau problème qui résulte de l'effondrement de la théorie »*

p230

*« Le monde est constitué d'au moins trois sous-mondes ontologiquement distincts (...) : le premier est le monde physique ou le monde des états physiques ; le second est le monde mental ; ou le monde des états mentaux ; et le troisième monde est le monde des intelligibles, ou des idées au sens objectif ; c'est le monde des objets de pensée possibles ; le monde des théories en elles-mêmes et de leurs relations logiques ; des argumentations en elles-mêmes ; des situations de problèmes en elles-mêmes »*

# L'évolution dialectique de l'espace des concepts et du monde réel

**Expérimentation:** Pour mieux confronter l'espace des concepts 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 des concepts est qu'elles sont **potentiellement finalement vides** tant qu'elles ne sont pas appliquées 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

Modèles de simulation

Proximité aux faits

Proximité  
question/intention

Médiation

**Inductif**

**Hypothetico-deductif**

# L'évolution dialectique de l'espace des concepts et du monde réel



**Espace des concepts** 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.

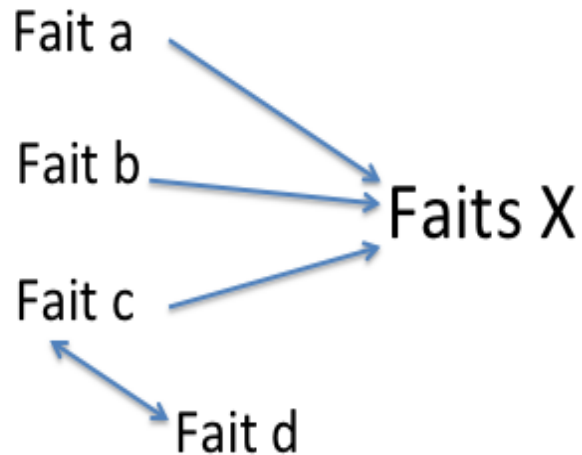
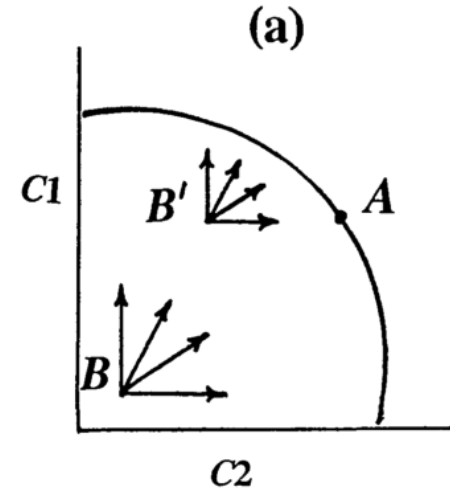
Mais ces points ou relations peuvent être à leur tour reliés entre eux pour définir des **types de points** ou des **types de relations de classe potentiellement infinie**, au contour flou et qui ne **dénotent pas sur des entités réelles** directement : ce sont les **concepts**.

# En guise de conclusion

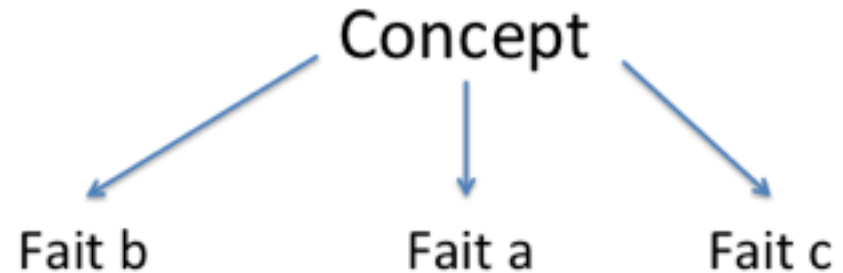
1. Le modèle n'est pas une image de la réalité
  - ✓ c'est un outil
  - ✓ Représentation de potentialités conditionnées
  - ✓ cela « dit » quelque chose du réel, notamment des relations
2. Place de l'intentionnalité n'est pas une faiblesse mais une force, pluralité des modèles est absolument nécessaire
3. Pluralité des modèles n'est pas une preuve d'anti-réalisme
4. Dénotation des concepts est d'une nature qu'il reste à définir (Pour Gödel c'est des faits potentiels)

# En guise de conclusion

4. Dans les 3 pôles du triangle on travaille à des objectifs mais complémentaires => mais la surface de maximisation change avec l'accroissement de nos connaissances



Analyse de faits = Unité phénoménologique  
Modèles empiriques/ précision



Synthèse de faits = Unité nomologique  
Modèles théoriques/ généricité



# En guise de conclusion

- **Monde des concepts n'est pas que le produit de la science (position externaliste)**
- **Façonner au mieux le monde du savoir objectif et l'espace des concepts est le propre de la science moderne qui est un produit historique et sociologique**

*«Le sujet de la science est un non un collectif intégré (...), mais un champ et un champ tout a fait singulier, dans lequel les rapports de force et de lutte entre les agents et les institutions sont soumis aux lois spécifiques (dialogiques et argumentatives) découlant des deux propriétés fondamentales, étroitement liées entre elles, la fermeture (ou la concurrence des pairs) et l'arbitrage du réel (...). La logique elle-même, la nécessité logique est la norme sociale d'une catégorie particulière d'univers sociaux, les champs scientifiques, et elle s'exerce à travers des contraintes (notamment les censures) socialement instituées dans cet univers.» Bourdieu, Science de la science et réflexivité*

Course à la publication, injonction à servir la rentabilité du capital => menaces sur la science?

Merci



*Chaire Modélisation Mathématique et Biodiversité  
Ecole Polytechnique, Muséum national d'Histoire naturelle*