
Tronc commun scientifique 5IF – TCS2

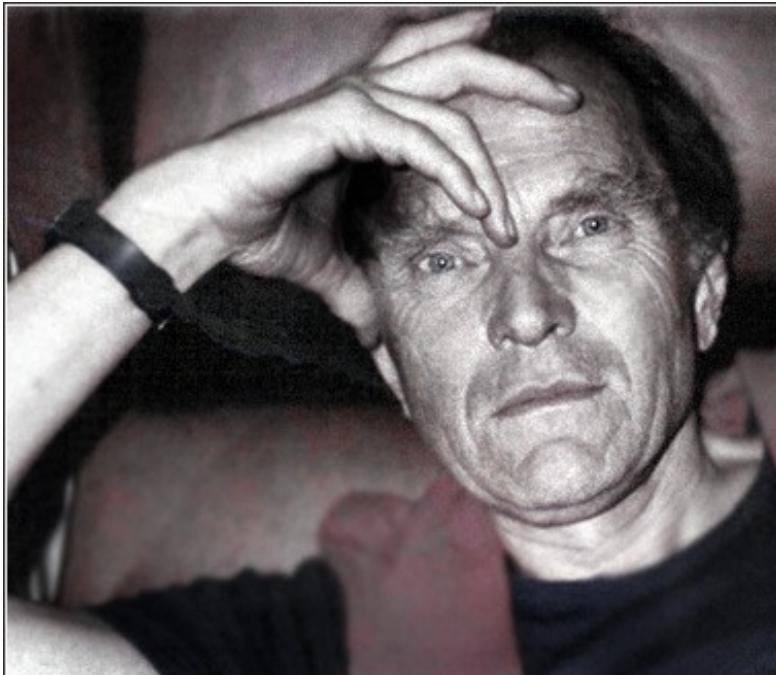
Qu'est-ce qu'un modèle ?

Guillaume Beslon

INSA – INRIA – LIRIS – BEAGLE – IXXI



“A mature citizen is not a man who has been instructed in a special ideology, such as Puritanism, or critical rationalism, and who now carries this ideology with him like a mental tumour, a mature citizen is a person who has learned how to make up his mind and who has then decided in favour of what he thinks suits him best.”



*Paul Feyerabend,
Against Method, 1975*





NUCLEAIRE
NON MERCI

Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Définitions « courantes » (*Le Robert*) :
 - Ce qui sert ou doit servir d'objets d'imitation pour faire ou reproduire quelque chose,
 - Personne ou objet dont l'artiste reproduit l'image,
 - Objet, fait, personne possédant au plus haut point certaines qualités et caractéristiques et à laquelle peuvent se rapporter des faits ou des objets réels,
 - Objet, type déterminé selon lequel des objets semblables peuvent être reproduits en de multiples exemplaires,
 - Objet de même forme qu'un autre objet mais exécuté en réduction
 - Représentation simplifiée d'un processus, d'un système





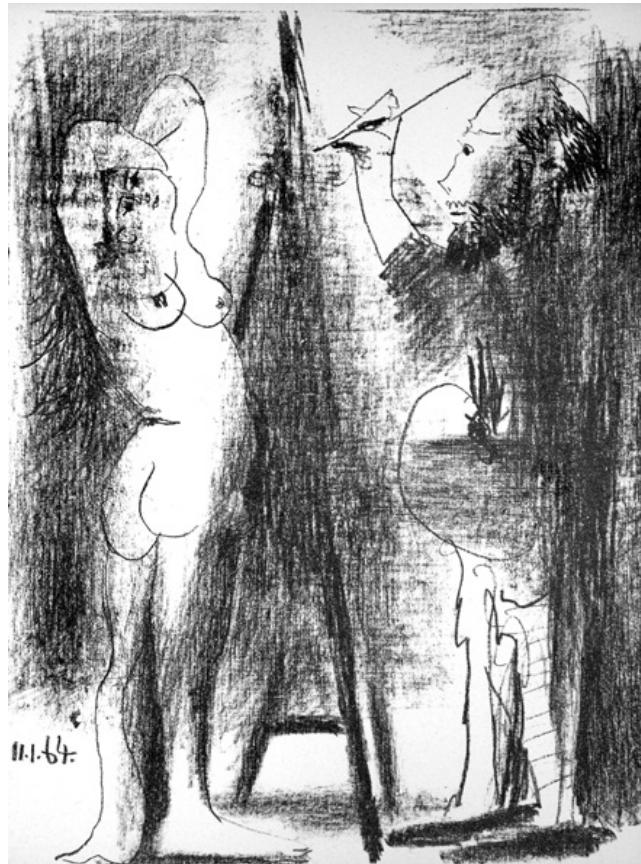


Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Pas d'acception claire, même en science
- Le modèle est intimement lié à l'imitation, à l'analogie, à la ressemblance
 - Mais il peut représenter aussi bien l'objet à imiter que l'imitation de l'objet ou un intermédiaire entre l'objet et l'imitation ...
 - Modèles comme médiateurs ...
- La modélisation est souvent considérée comme une démarche interdisciplinaire ...
 - Les modèles sont souvent à l'interface entre sciences appliquées, sciences expérimentales et sciences théoriques ...
 - Pourtant, chaque discipline a sa propre conception des modèles ...
 - Dialogues de sourds autour des modèles (e.g. modèle de données/modèles d'objets)
 - Modèle normatif/modèle descriptif ...

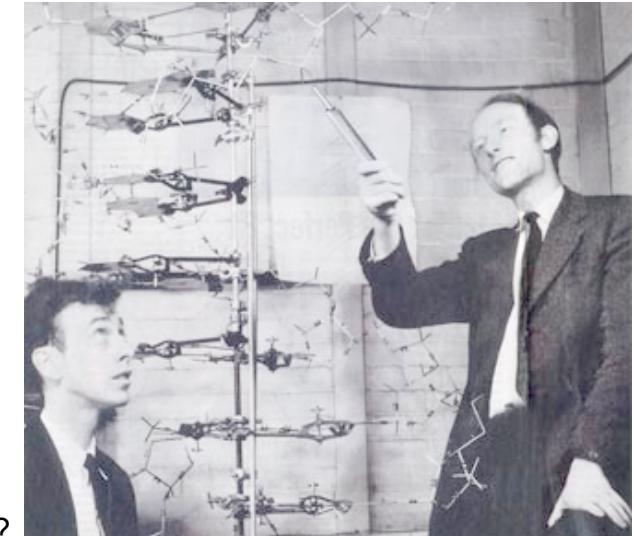
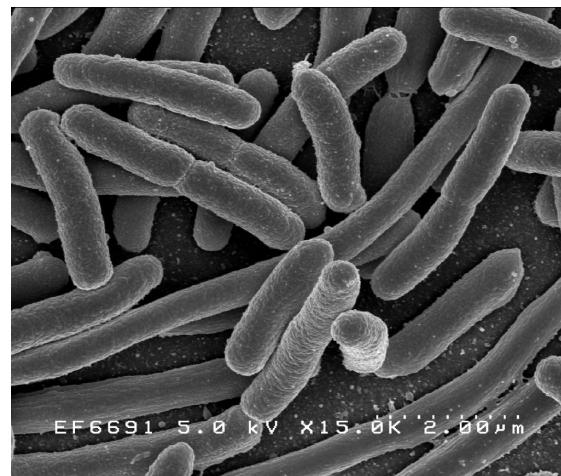
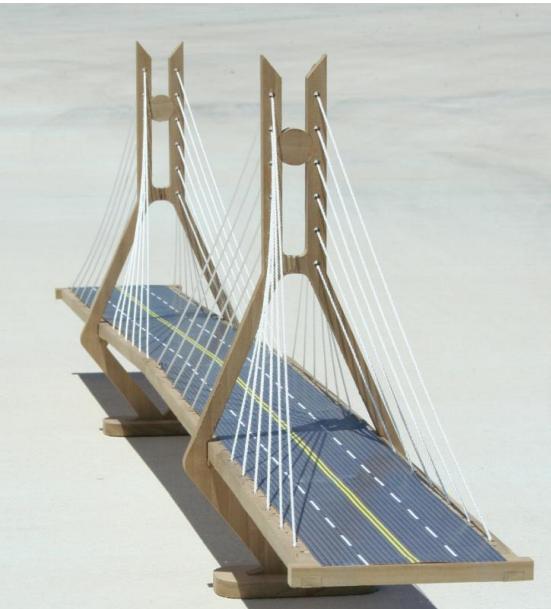
Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Pablo Picasso : « Le modèle n'est que la réalisation d'un être imaginé au préalable » (d'après LeGay, 1997)



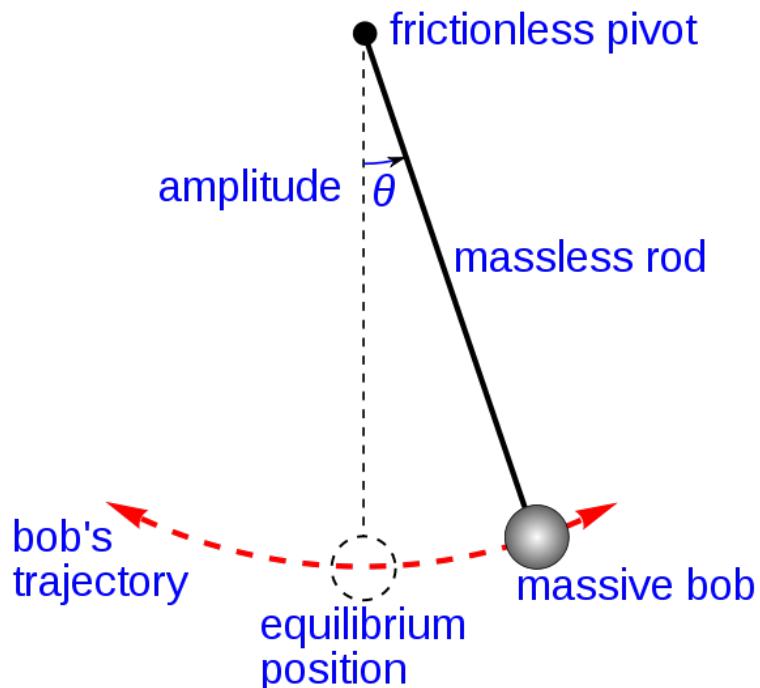
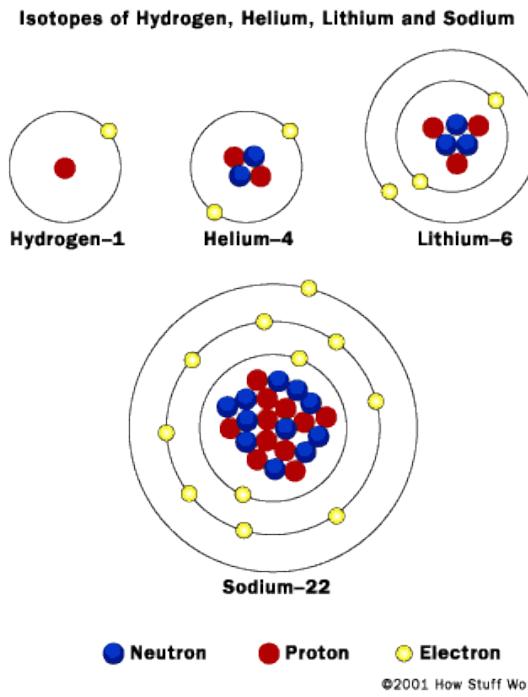
Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Entités physiques permettant la représentation d'un objet



Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Représentations « mentales » d'un objet et de son fonctionnement (souvent irréalisables en pratique) ...
 - Analogies mentales (l'atome de Bohr)
 - Systèmes idéaux (systèmes sans frottement, population isolées, systèmes à l'équilibre, ...)



Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Système d'équations
 - Modèle de Black-Scholes pour le calcul des prix d'actions

Theoretical option price = $pN(d_1) - se^{-rt}N(d_2)$

where $d_1 = \frac{\ln\left(\frac{p}{s}\right) + \left(r + \frac{v^2}{2}\right)t}{v\sqrt{t}}$

$d_2 = d_1 - v\sqrt{t}$

The variables are:

p = stock price

s = striking price

t = time remaining until expiration, expressed as a percent of a year

r = current risk-free interest rate

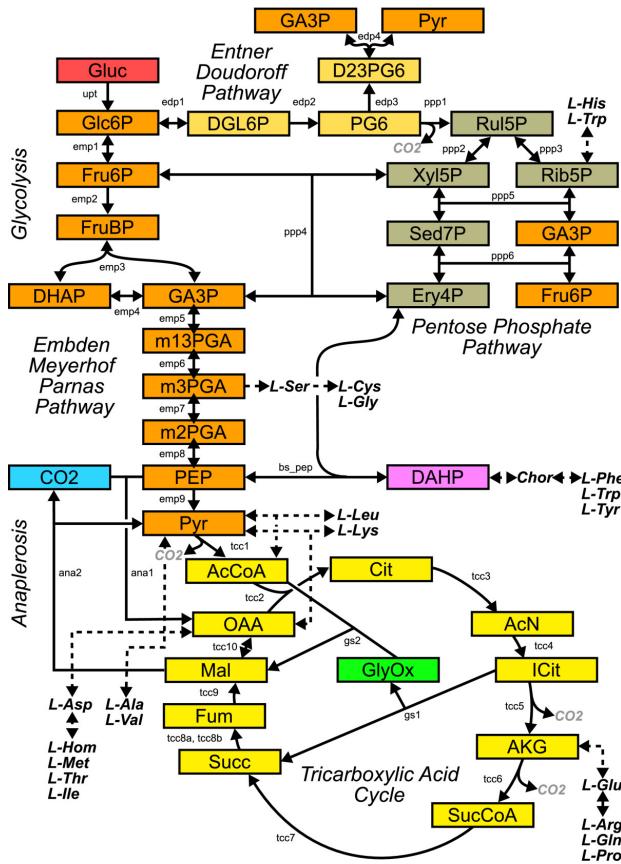
v = volatility measured by annual standard deviation

\ln = natural logarithm

$N(x)$ = cumulative normal density function

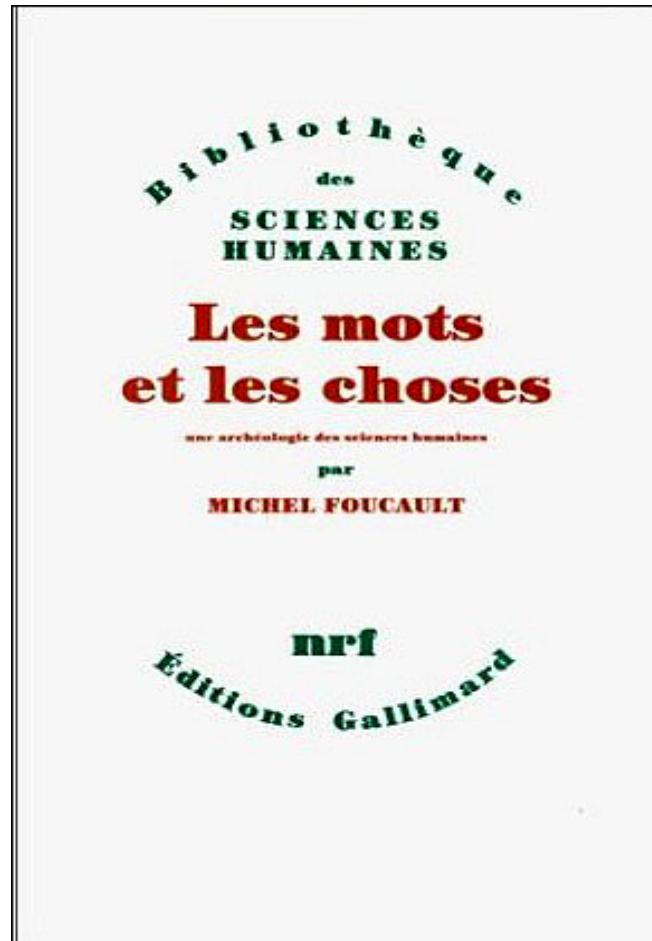
Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Descriptions plus ou moins stylisées d'un système d'intérêt



Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Descriptions plus ou moins stylisées d'un système d'intérêt



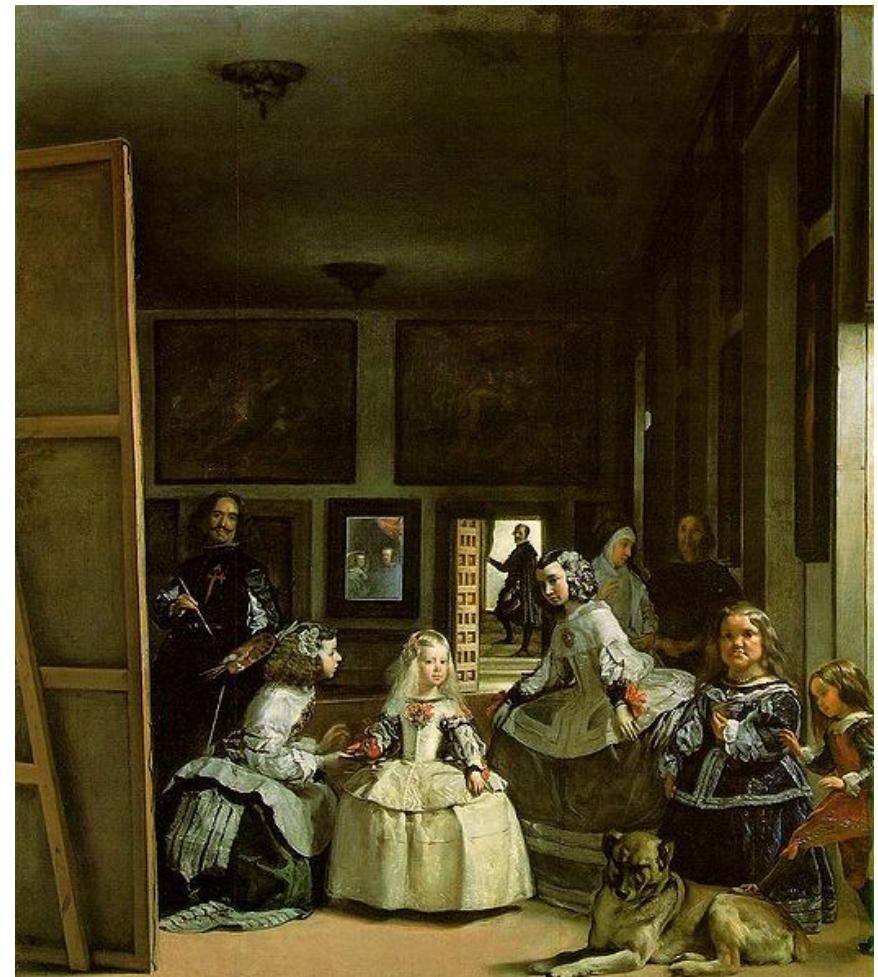
Qu'est-ce qu'un modèle ?

- Descriptions plus ou moins stylisées d'un système d'intérêt

Le livre s'ouvre sur une description et un commentaire détaillés du tableau Les Ménines de Diego Velázquez et de l'arrangement complexe de ses lignes de plan et de ses effets cachés. « Peut-être y a-t-il, dans ce tableau de Velásquez, comme la représentation de la représentation classique », écrit Foucault.

Y est ensuite développée l'idée maîtresse de l'ouvrage : dans toutes les périodes de l'histoire, il existe un certain nombre de conditions de vérité qui conditionnent ce qu'il est possible et acceptable de dire ; par exemple dans un discours de connaissance puis scientifique. Foucault défend la thèse que les « conditions » du discours changent au cours du temps de façon plus ou moins progressive.

Wikipedia “les mots et les choses”



Qu'est-ce qu'un modèle ?

Hum ... un modèle est « un peu de tout cela » ...

D'une façon générale, un modèle est une « représentation » de quelque-chose

...

Le modèle comme représentation

- Représentation des « phénomènes »
 - Changement d'échelle
 - Idéalisation (simplification délibérée, caricatures)
 - Aristotélicienne (restriction de la représentation aux seuls éléments « importants »)
 - Galiléenne (distorsion de la réalité, passage à la limite, ...)
 - Représentations par analogies (les boules de billard pour le gaz)
 - Représentations phénoménologiques (rien de commun avec l'objet sauf le « rendu » ; e.g., image de synthèse, réalité virtuelle, ...)
- Représentation des « données »
 - Version « idéalisée » des données brutes
- Représentation des théories
 - Mais c'est une autre histoire ...

Qu'est-ce qu'un modèle ?

« To an observer B , an object A^* is a model of an object A to the extent that B can use A^* to answer questions that interest him about A . »

Marvin Minsky

- Le modèle est donc un outil de découverte scientifique
 - C'est un « instrument scientifique »
- Il n'a de sens que par rapport à un triplet
 - <Objet, Question, Interprète>
 - Le modèle n'est jamais une « simple » représentation d'un objet !
- Quelles sont les implications méthodologiques pour le(s) modélisateur(s) ?
 - Est-ce que « tout est bon ? » (Paul Feyerabend)

Qu'est-ce qu'un modèle ?

« To an observer B , an object A^* is a model of an object A to the extent that B can use A^* to answer questions that interest him about A . »

Marvin Minsky

- Définition très permissive : est-ce que tout est modèle ?
 - Non : le modèle doit *servir* à produire de la connaissance
 - Le modèle est donc un instrument scientifique et doit être utilisé comme tel
 - Est-il un instrument comme un autre ? Qu'est-ce qu'un instrument scientifique ? Quelles en sont les limites ?
- Conséquence : si le modèle est un instrument, il doit être accepté par une communauté scientifique
 - Le modèle doit être considéré comme un instrument valide
 - Il doit se conformer aux pratiques scientifiques correspondant au champs d'étude de A (et de B ? Et de A^* ?)
 - Mais chaque modèle est un instrument différent ...

Une pièce à deux faces

- Le modèle est un instrument personnel
 - En ce sens son usage est TRES permissif ...
- Le modèle est un instrument collectif
 - En ce sens son usage est TRES restrictif ...
- Dans les deux cas son usage est dangereux
 - Car en tant qu'instrument systématiquement nouveau, il doit systématiquement faire ses preuves (et non faire preuve) ...
 - Risque personnel (mon modèle me trompe)
 - Risque collectif (mon modèle n'est pas accepté par la communauté)
- Or, la modélisation a toujours un caractère interdisciplinaire
 - L'usage individuel et l'usage collectif peuvent être conduits au sein de disciplines différentes ...
 - En particulier dans les systèmes complexes ...

Un instrument personnel

- Comment le modèle peut-il « faire preuve »
 - « Ce qui est simple est toujours faux. Ce qui ne l'est pas est inutilisable » (P. Valery)
 - « The decisive thing with modelling is not the model per se, but what the model and working with the model does to our mind » (V. Grimm, 1999)
 - « It could be argued that a criterion to determine good models is that they are no longer needed afterward » (V. Grimm, 1999)
 - Le seul critère de qualité d'un modèle est son « utilité » (J.-M. Legay, 1973) ou sa « pertinence » (J.-L. Le Moigne, 1977)
- Le modèle ne fait donc *jamais* preuve
 - Mais ça n'interdit pas son utilité
 - Qu'est-ce qu'une preuve scientifique ? Qu'est-ce que la science ?
- C'est le modélisateur qui incarne le lien entre le modèle et l'objet modélisé
 - Mais cela ne suffit pas ...

Un instrument personnel

- Le modèle est indissociable de sa conception et de son utilisation (i.e., de son interprétation)
 - « La connaissance-projet se produit – et se représente – par conception de modèles (...) et non plus par analyse. Le modèle alors, qu'il soit iconique ou symbolique, devient source de connaissance et non plus résultat. Il ne décrit plus, ex-post, une connaissance-objet tenue pour ex ante ; il représente a priori une connaissance-projet qui n'existe que par lui. » (J.-L. Le Moigne, 1987).
- Le modèle n'a de sens que par rapport à une question sur un objet et par rapport à un interprète ...
 - « Le hasard ne sourit qu'aux esprits préparés » (L. Pasteur)
- Le modèle n'est donc pas un résultat, un objectif scientifique *en soi*
 - Le modèle scientifique doit s'effacer derrière la connaissance produite par son usage
 - Mais ça n'interdit pas de communiquer sur la méthode... donc sur le modèle !

Un instrument collectif

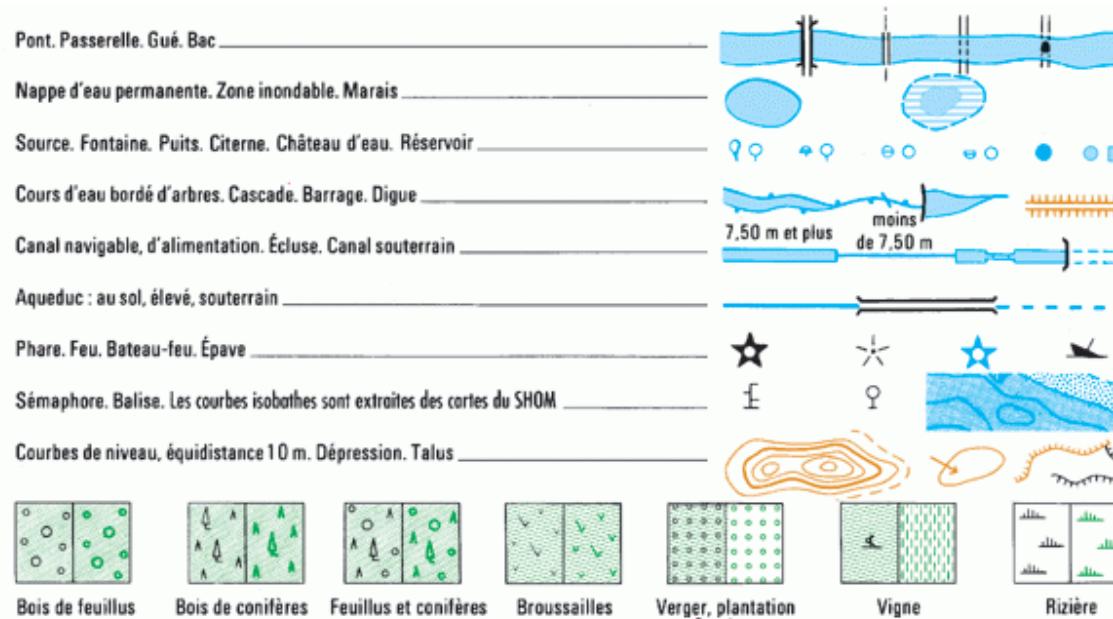
- Le modèle est un instrument personnel mais qui doit autoriser les échanges avec le collectif ...
 - Sinon, risque de dérive intuitionniste ...
 - Qu'est-ce qu'une science ?
 - La science qui se fait est la science qui se communique ...
 - A qui ?
 - Que doit-on communiquer ? Le modèle, l'intuition ou la « conclusion » ?
 - La communication change-t-elle le statut du modèle ?
- « Il y a peu de controverses entre simulateurs car il y a peu de travail collectif. Les simulateurs sont rassemblés par l'équipement informatique qui leur est nécessaire, mais ils fonctionnent plutôt à la manière de petits artisans : chacun son problème, son modèle, son programme » (I. Stengers et B. Bousaude-Vincent, 2003)

Un instrument collectif

- Chaque champ d'application, chaque domaine scientifique, va exiger du modèle (et du modélisateur) qu'il se plie aux règles (implicites) du domaine
 - Sous peine de ne pas être considéré comme un instrument valide
 - Qu'est-ce qui fait la validité d'un instrument ?
 - Un modèle peut-il être un instrument valide puisqu'il est toujours un instrument ad-hoc ?
 - Le grand problème des modèles c'est de convaincre ...
- Le modèle doit être intégré à la connaissance du domaine et non à la connaissance « des modèles »
 - Imagine-t-on Galilée communiquer ses résultats à des opticiens ?
 - Il doit convaincre que les lois de l'optique sont valides pour l'astronomie
 - Le modèle doit définitivement s'insérer dans la pluridisciplinarité ...
- Le point clé est le discours scientifique développé grâce aux modèle
 - Il n'y a pas « une » méthodologie de modélisation mais il y a des bonnes pratiques en vue de la production d'un discours

Le Méta-Modèle

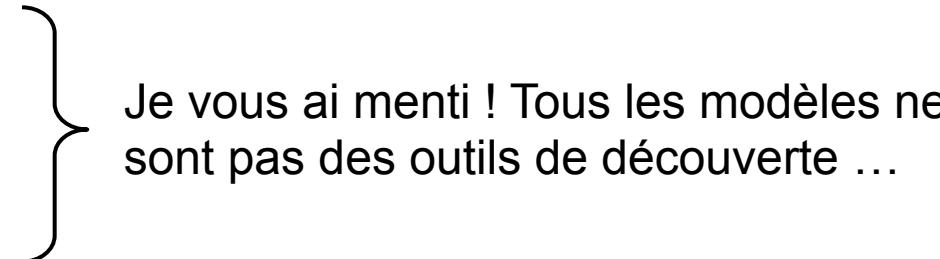
- Tout modèle utilise un « langage » de modélisation plus ou moins formalisé ...
 - Ce langage constitue le META-MODELE (le « modèle du modèle »)
 - Exemple : la carte est le modèle du territoire
 - La légende de la carte est le méta-modèle de la carte



Le Méta-Modèle

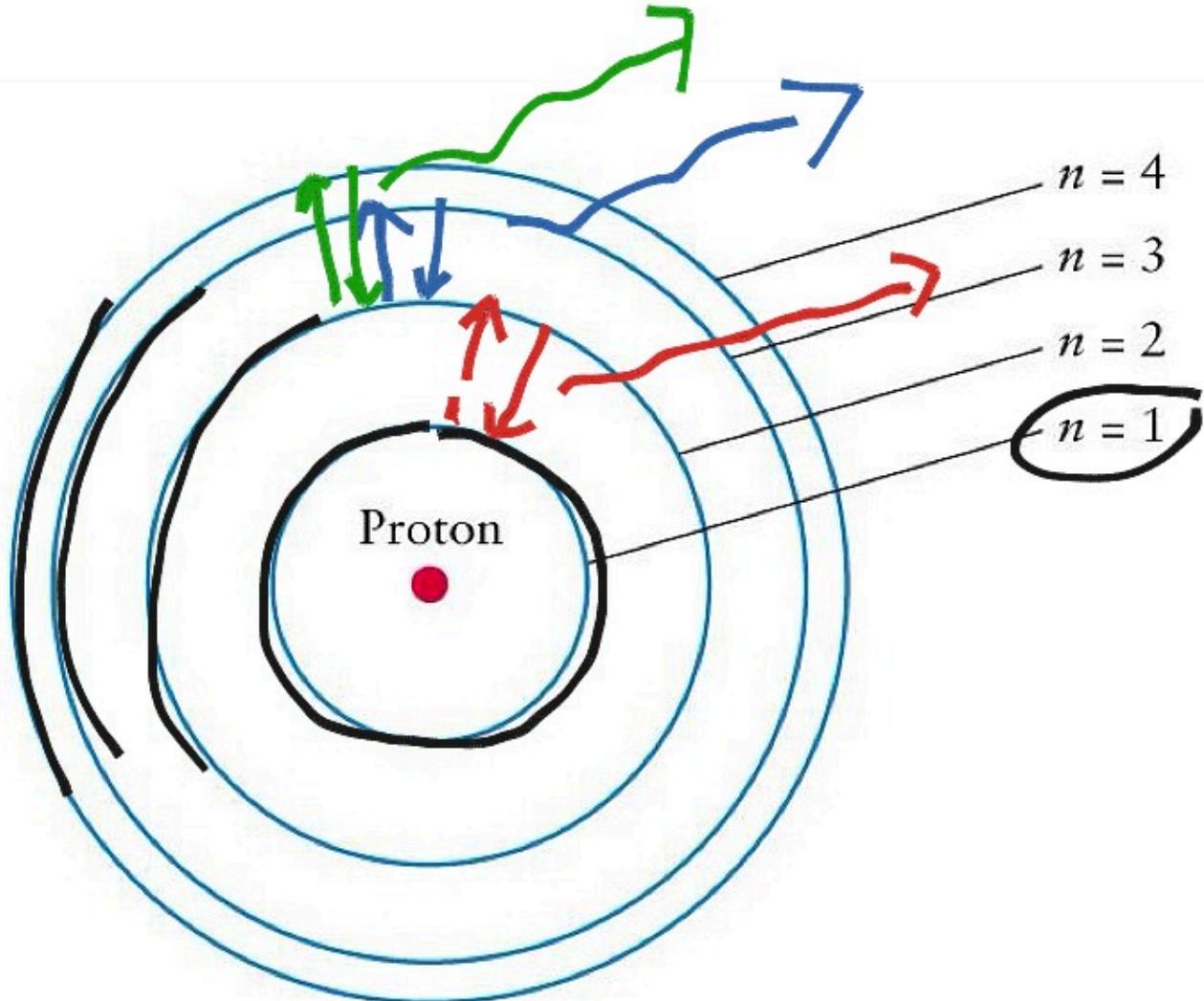
- Le méta-modèle décrit les règles à respecter pour construire le modèle
 - Notez que le méta-modèle étant un modèle ... il est soumis aux mêmes limites que tout modèle (en particulier doit répondre à une question sur le modèle)
 - Expliciter le méta-modèle est donc à la fois une aide ET une contrainte (puisque le modèle doit respecter le méta-modèle)
 - Respecter le méta-modèle permet de garantir certaines propriétés du modèle (e.g. cohérence mathématique)
 - Respecter un méta-modèle (connu !) permet de communiquer plus facilement le modèle
- Il n'existe pas de méta-méta-modèle ... pourquoi ?
- Les méta-modèles permettent de répondre à certaines limites des modèles
 - Les méta-modèles permettent d'éviter le tatonnement et de réutiliser des résultats théoriques

Classer les modèles ?

- Classiquement on classe les modèles par leurs métamodèles
 - Modèles mathématiques, équation maîtresse, éléments-fini, automates cellulaires, ...
 - Mais cette classification ne permet pas de rendre compte de la réalité de la modélisation ...
 - Il est plus efficace de classer les modèles en fonction de leur usage (i.e. du type de question qu'ils sont sensés résoudre)
 - Modèle descriptif
 - Modèle normatif
 - Modèle pédagogique
 - ...
 - Un même « modèle » peut changer de catégorie au cours du temps ... est-ce le même modèle ?
- 
- Je vous ai menti ! Tous les modèles ne sont pas des outils de découverte ...

BOHR'S MODEL

The electrons travel in very specific paths (called orbits). Electrons have definite, fixed energy. The closer they are to the nucleus, the less energy they possess.



Les grandes catégories...

- Modèle descriptif vs. Modèle normatif
 - Connaître vs. Faire
 - « *Quand le modèle descriptif est faux, il faut changer le modèle ; quand le modèle normatif est faux, il faut changer la réalité ...* » (Susan Stepney)
- Modèle descriptif vs. Modèle pédagogique
 - Comprendre vs. expliquer
- Modèle de découverte vs. Modèle de justification
 - Cf. Reichenbach (1938) : Contexte de ...
 - « Eureka » vs. « Validation »
 - Le modèle de découverte n'a (théoriquement) aucune contrainte ... et ne peut donc pas servir de modèle de justification !

KISS

(Keep It Simple and Stupid)

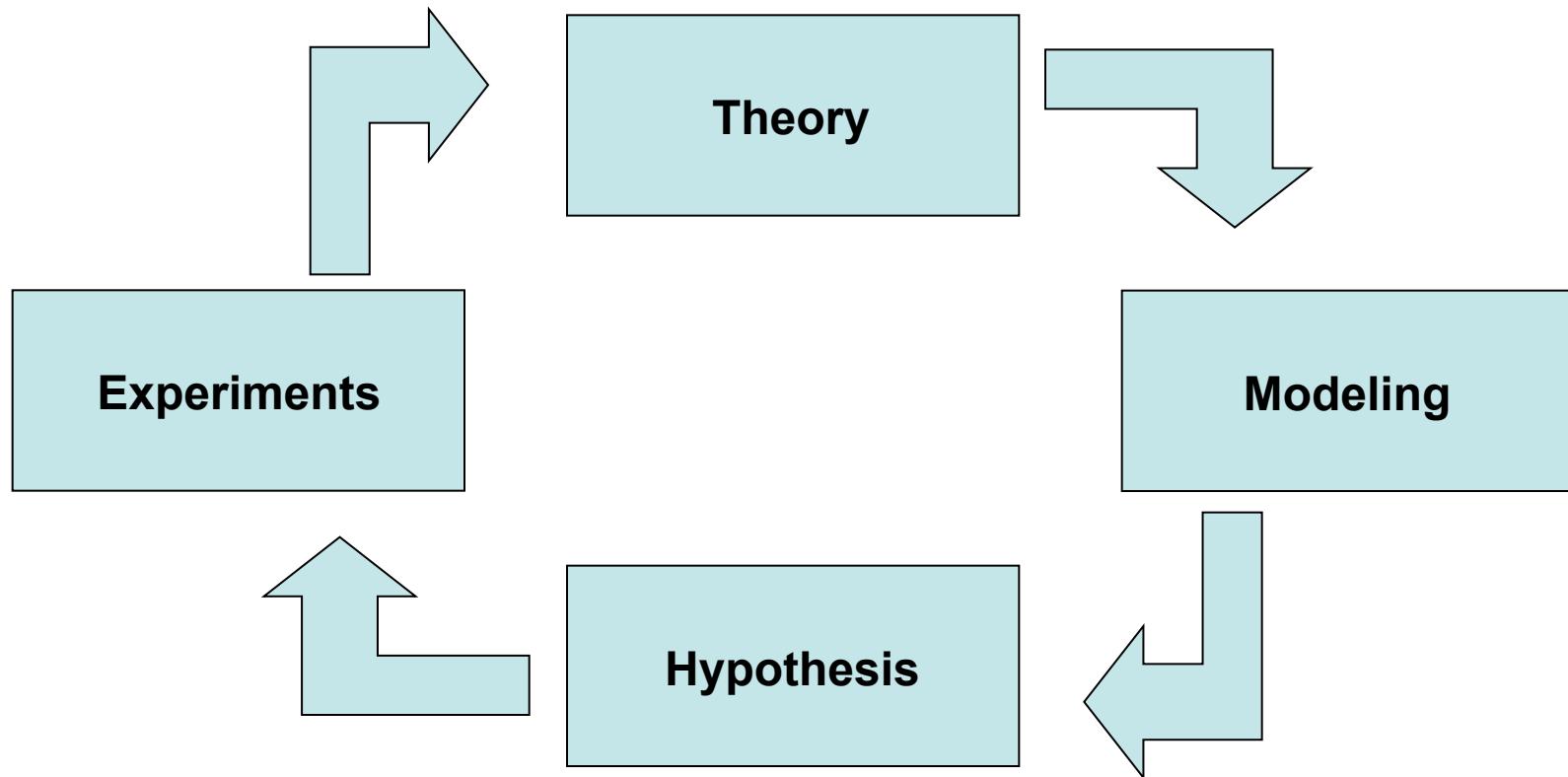
- We must keep the models as simple as possible
 - But no more (A. Einstein ?)
 - Variante du « rasoir d'occam » (mais le modèle n'est pas la théorie !)

“Ce qui est simple est faux. Ce qui ne l'est pas est inutilisable.”

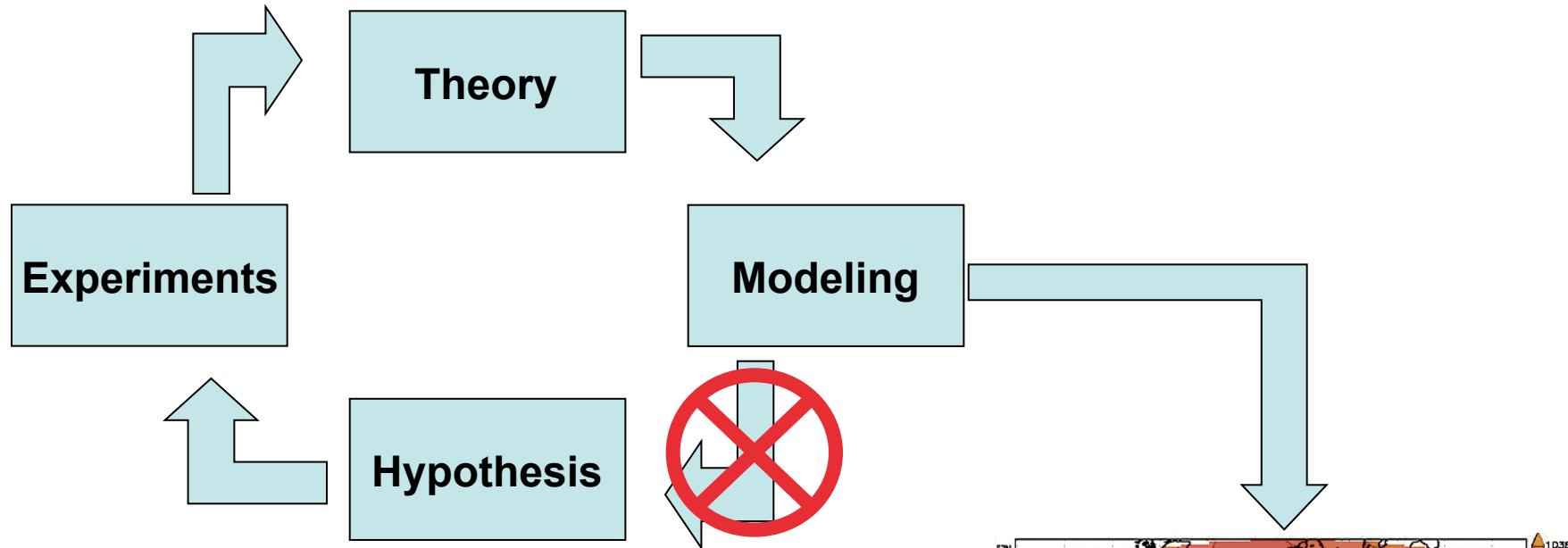
[Paul Valery]

- MAIS : ne jamais oublier qu'on travaille sur un modèle dans le but de découvrir des connaissances sur un objet ...
 - La simplicité n'est pas la seule vertu des modèles (KIDS)
 - Le modèle doit être suffisamment complexe pour permettre de réaliser plusieurs expériences (→ Zone de Medawar)
 - Il doit être suffisamment complexe pour être expressif vis à vis de la communauté
 - La complexité du modèle doit être guidée par la construction du discours, pas (pas exclusivement) par la volonté d'épurer la construction

Le cycle (classique) de la modélisation

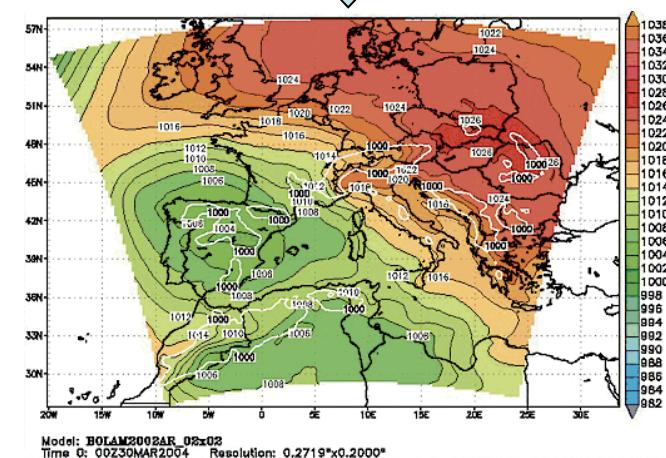


Quid de la simulation ?

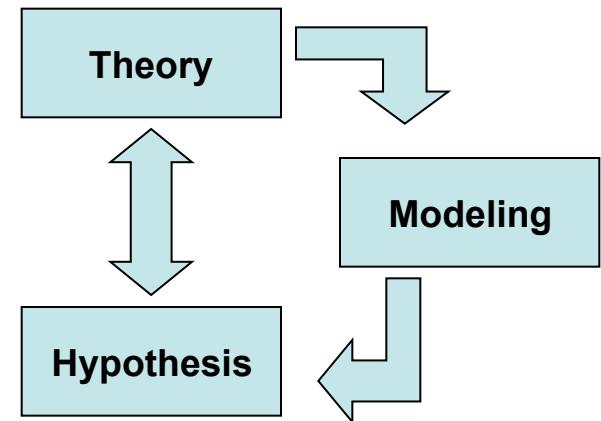


Est-ce toujours un modèle ?

OUI ... Mais son usage a changé (rappelez-vous : Les modèles sont principalement caractérisés par leur usage ...)



Deux cas particuliers



“what we see is what we know”

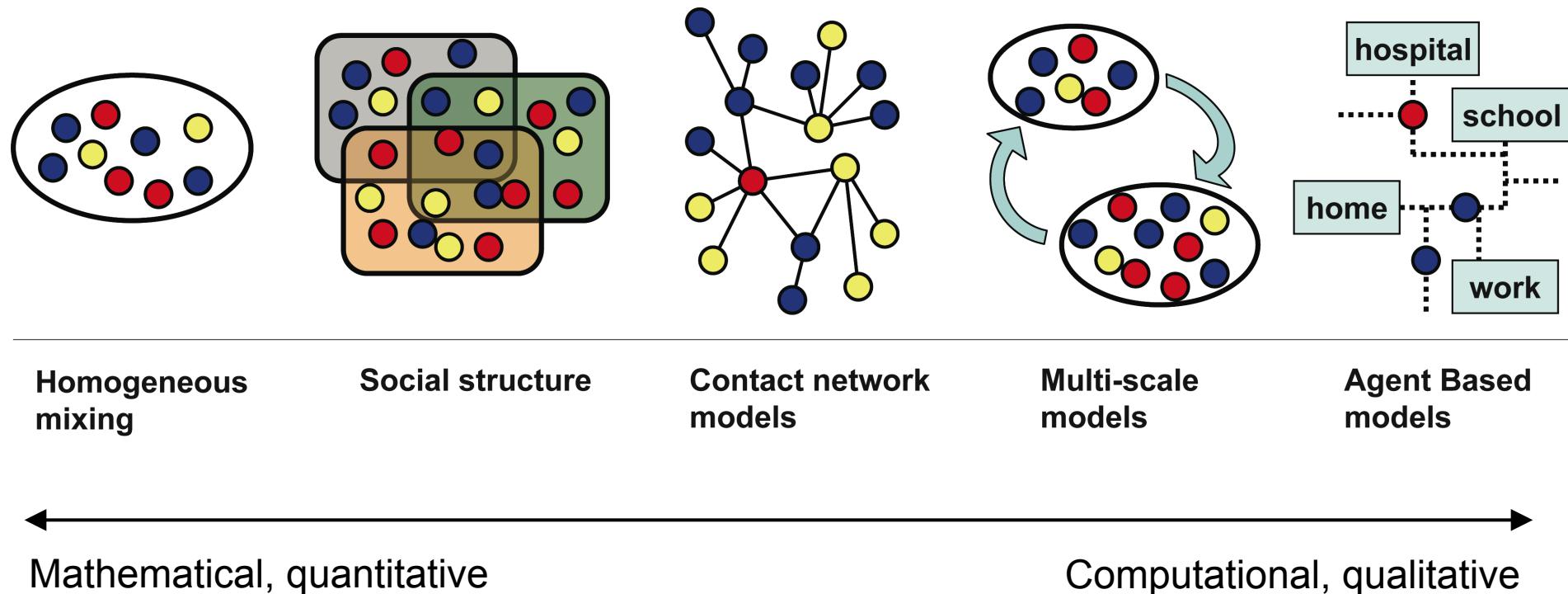
[T. Ray]

“A model of nothing”

- La encore, ce sont toujours des modèles
 - Mais leurs objectifs sont différents
 - Modéliser les données (et non les phénomènes)
 - Construire une théorie/un artefact (→ Deep Learning)
 - Attention à être toujours conscient de ce que vous attendez de vos modèles ...

Archipelago of models

Exemple : modèle de propagation d'épidémies



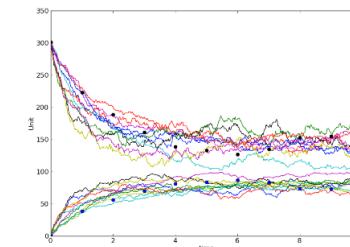
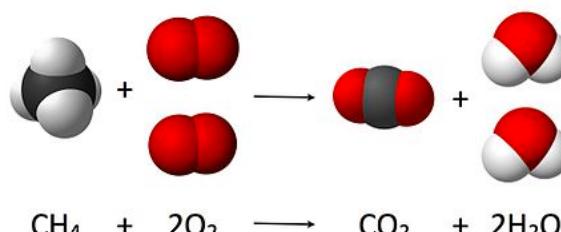
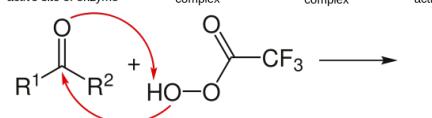
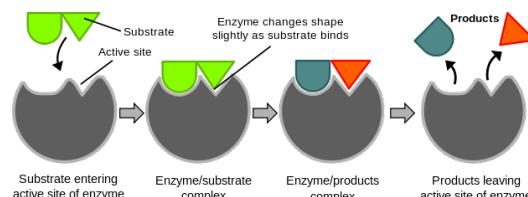
[From Barthelemy, 2008]

Quel est le meilleur ?

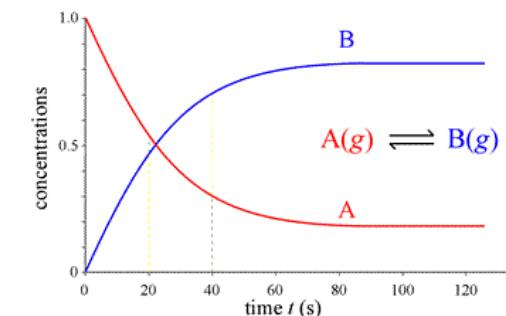
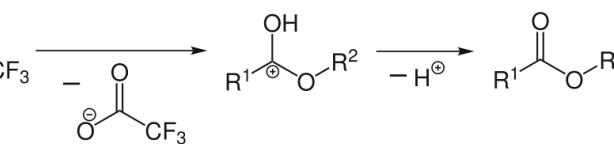
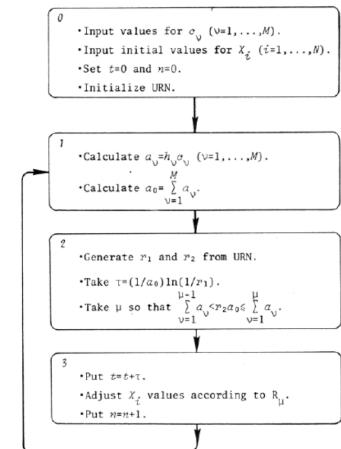
- Les modèles sont des instruments personnels
 - Le meilleur est donc le vôtre (pardon, le mien !)
 - Mais il ne pourra pas s'attaquer à n'importe quel problème !
 - En pratique, il y a co-détermination des modèles et des questions ...
- Attentions : tous les modèles ne sont pas équivalents (mais tous sont faux ;)
 - Les modèles mathématiques/formels permettent de développer des preuves formelles (mais elles ne concernent que le modèle) ; ils sont souvent limité dans leur complexité
 - Les modèles « computationnels » permettent des descriptions plus complètes, souvent plus proches de la réalité mais ils ne peuvent qu'être simulés
- Pas de modèle idéal mais la multi-modélisation est une clé ...
 - Modélez vos modèles ...

La multimodélisation : un modèle ne vient jamais seul ...

- La modélisation passe généralement par une chaîne de modèles (plus ou moins explicite)
 - Décrivant le même système
 - Se décrivant les uns les autres
 - Utilisant les méta-modèles différents
- Exemple : en biochimie



$$v = -\frac{d[\text{A}]}{dt} = k \cdot [\text{A}]$$



La question classique

- Peut-on valider et vérifier un modèle ?
 - Non et non mais pas pour les mêmes raisons
- Qu'est-ce que la vérification ?
 - Le modèle est conforme à mon discours *ante* et me permet donc de construire un discours *post*
 - La vérification est généralement impossible mais on peut s'en approcher → « Bonnes pratiques » de l'outil de modélisation
- Qu'est-ce que la validation ?
 - Le modèle est conforme à l'objet (et à la question) ; il se comporte bien comme lui (dans le contexte de la question)
 - Impossible dans un contexte de découverte
 - Impossible dans un contexte de prédiction (mais on peut s'en approcher)
- Ne jamais confondre le modèle et son instantiation ...

Take-Home Message

1. Un modèle est « une » représentation de « quelque chose » ...
... mais ce n'est pas si simple ...
2. Un modèle est un objet doté d'une intention : il est construit pour répondre à une question ...
3. Un modèle est limité puisqu'il doit répondre à une question précise (+/-)
4. Le modèle utilise un formalisme ce qui permet (1) d'éviter les erreurs et les dérives et (2) de mieux communiquer
5. Un modèle ne vient jamais seul : il s'intègre dans une démarche de modélisation comportant plusieurs modèles
6. Un modèle est toujours faux ... même quand il est prouvé vrai !
7. Mais ça n'empêche pas les modèles d'être très utiles

En conclusion : la modélisation est un paradoxe indispensable (dire du vrai avec du faux) ...



Portrait d'une danseuse
Joan Miró, 1928