

# La modélisation scientifique

LSC1120A  
séance 9

# Modèles scientifiques

- physique : plan sans friction, masse de point, densité homogène
- chimie : modèles boules-bâtonnets, gaz idéaux, modèles mathématiques du comportement quantique
- biologie : populations infinies, travail biochimique *in vitro*, dynamique des populations, modèles épidémiologiques, organismes modèles
- météorologie : modèles de la prévision du météo
- climat : modèles du climat/atmosphère/océan



## Modèles du climat

C'est principalement grâce à des simulations numériques que nous possédons des connaissances – certes encore imprécises et partiellement incertaines – sur l'évolution du climat. Des programmes tournent des jours durant sur les plus gros ordinateurs du monde, nous livrant des scénarii possibles sur le devenir climatique de notre planète dans vingt, cinquante, cent ans ou plus. (Barberousse, 299)



## Deux types de modèle

Les modèles en jeu sont de deux sortes : modèles de données, d'une part ; modèles dynamiques, de l'autre. Ils reposent sur deux usages distincts des ordinateurs, d'une part pour traiter les données provenant de divers capteurs et instruments de mesure, d'autre part pour faire « tourner » les simulations à proprement parler. (Barberousse, 300)

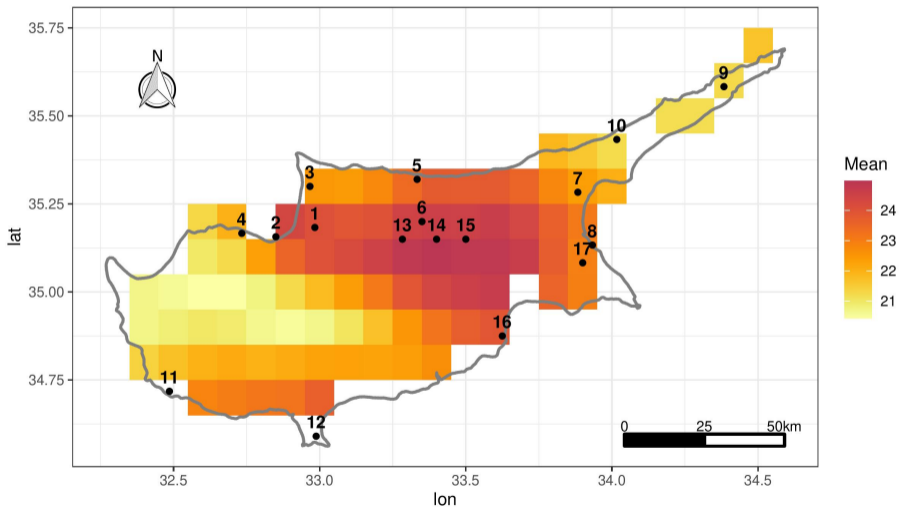


## Modèles de données

Les modèles de données permettent de rassembler et d'homogénéiser automatiquement les résultats des mesures qui sont faites quotidiennement partout dans le monde. [...] Les données brutes ne sont en effet pas directement utilisables au sein de ces modèles dynamiques. Elles doivent être homogènes ; les valeurs manifestement erronées doivent être supprimées, ainsi que les biais systématiques ou accidentels qui affectent parfois les mesures. (Barberousse, 300)



# Modèles de données



# Modèles dynamiques

Le second usage des ordinateurs qui sont mobilisés dans l'étude du climat est plus directement lié aux simulations numériques. C'est dans cet usage, où la représentation s'anime, en quelque sorte, que des futurs possibles, mais purement virtuels, apparaissent à l'écran. ...ils utilisent les simulations numériques pour effectuer à propos du climat l'équivalent des expériences contrôlées qui sont couramment pratiquées dans les laboratoires sur des systèmes réels. (Barberousse, 301)

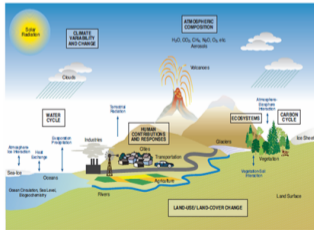
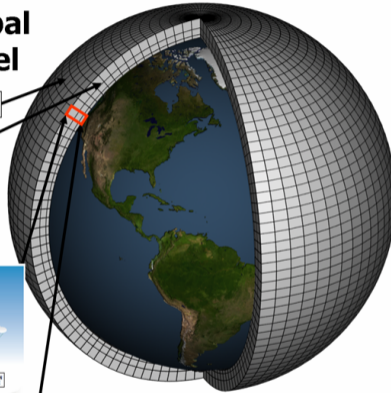


# Modèles dynamiques

## Schematic for Global Atmospheric Model

Horizontal Grid (Latitude-Longitude)

Vertical Grid (Height or Pressure)





# Modèles dynamiques

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{-1}{\rho_o r_e \cos \phi} \frac{\partial p}{\partial \lambda} + \frac{\partial}{\partial z} \left( A_v \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \mathcal{F}(A_h, u, v) + \frac{uv \tan \phi}{r_e} + fv - L(u) \quad (43)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{-1}{\rho_o r_e} \frac{\partial p}{\partial \phi} + \frac{\partial}{\partial z} \left( A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) + \mathcal{F}(A_h, v, -u) - \frac{u^2 \tan \phi}{r_e} - fu - L(v) \quad (44)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + L(T) = \frac{\partial}{\partial z} \left( k_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \mathbf{\nabla}(k_h \mathbf{\nabla} T) \quad (45)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + L(S) = \frac{\partial}{\partial z} \left( k_v \frac{\partial S}{\partial z} \right) + \mathbf{\nabla}(k_h \mathbf{\nabla} S) \quad (46)$$

$$\frac{\partial w}{\partial z} + \frac{1}{r_e \cos \phi} \left( \frac{\partial u}{\partial \lambda} + \frac{\partial(v \cos \phi)}{\partial \phi} \right) = 0 \quad (47)$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = -g\rho \quad (48)$$

# Modèles dynamiques

Le second problème posé par l'hydrodynamique est qu'il s'agit d'une théorie extrêmement générale, ce qui lui assure une grande puissance explicative, mais qui la rend difficile à appliquer à des situations complexes – or les phénomènes climatiques sont paradigmatiquement complexes. (Barberousse, 303)



# Modèles scientifiques

C'est le contrôle constant des hypothèses qui forme le cœur de l'activité scientifique, et non la quête de leur élimination. Même si les modèles de l'évolution du climat sont plus complexes que d'autres, et plus discutés pour cette raison, il n'y a aucune raison épistémologique de principe pour qu'ils ne puissent être fiables. (Barberousse, 304)



# Modèles scientifiques

Considérons les modèles d'un point de vue un peu plus abstrait. **En quoi consiste « être un modèle » ?**

système modèle  $\implies$  système cible

$\implies$  veut dire « substitution » ou « représentation »



# Trop de questions !

- Sur les systèmes modèles :
  - Qu'est-ce qu'ils sont ?
  - Qu'est-ce qu'« vrai (ou faux) dans le modèle » veut dire ?
  - Comment en dériver « nouvelles » connaissances ?
- Sur la représentation :
  - Qu'est-ce que c'est ?
  - Que faut-il pour représenter le système cible « précisément » ou « correctement » ?



## Sur les systèmes modèles

- Comment savoir que deux modèles,  $M_1$  et  $M_2$ , sont « le même » modèle, ou qu'ils décrivent « le même » système modèle ?
- Comment expliquer qu'« une population infinie n'est pas sujet à la dérive génétique », ou « le comportement d'un corps sans friction », bien que il n'y ait *aucune* population infinie ou corps sans friction dans le monde (et ce sont même conceptuellement impossibles) ?
- Comment comparer le modèle (qui n'existe peut-être pas) au système cible (qui existe) ? Comment « trier » les modèles—i.e., celui-ci ressemble plus le monde que cela ?



# Sur les systèmes modèles

- C'est « vrai » qu'une pendule idéale est composé de la matière normale. Mais il n'est pas vrai qu'une pendule idéale est toujours à l'intérieur. Mais le modèle ne parle ni de l'une ni de l'autre caractéristique. Qu'est-ce qui se passe ?
- On crée des modèles, les investigate, et en apprend des choses qu'on ne savait pas avant. Comment ?
- Dans quel sens doit-on croire que les modèles « existent » ou « représentent » quand on sait qu'ils disent au moins certaines choses fausses ?



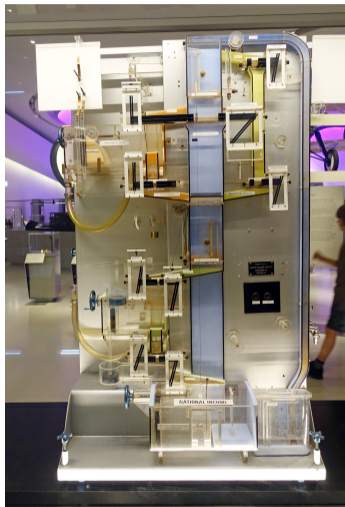
# Qu'est-ce qu'un système modèle ?

- Parfois : des **objets physiques**
- Une **fiction** ?
- Une collection de **descriptions et équations** ?





# Modèles comme objets physiques



# Qu'est-ce qu'un système modèle ?

- Parfois : des **objets physiques**
  - modèle hydrologique d'une économie, modèles des ponts dans l'ingénierie, organismes modèles en biologie
- Une **fiction** ?
- Une collection de **descriptions et équations** ?



# Les fictions

La fiction a aussi toutes les propriétés correctes !

- C'est vrai que Bilbo est un hobbit.
- C'est vrai que Sherlock Holmes a un pancréas, bien qu'il ne soit jamais dit dans les livres.
- C'est faux que Bilbo a un iPhone, bien que il aussi ne soit jamais dit dans les livres.
- On peut débattre et apprendre des choses qui ne sont jamais dits dans le récit : pourquoi les hobbits n'ont-ils tout simplement volé avec les aigles au mont Destin ?
- On peut apprendre des choses par rapport à la réalité externe de la fiction : *Les Frères Karamazov* nous apprend des risques d'approcher l'adversité avec trop de hédonisme ou trop de rationalisme.

# Comment fonctionnent les fictions ?

Les fictions sont des *jeux de faire semblant* et les fictions littéraires, en particulier, sont des jeux de faire semblant où nous nous accordons tous sur les règles.

Ça a du sens—pas tout ce qui ne correspond pas à la réalité est une fiction (par exemple, l'infox). Quelque chose n'est une fiction que s'il est le type de chose qu'on est censé lire comme fictif.



## Modèles comme fictions

- Énoncés vraies dans les modèles sont vraies dans le sens ou la fiction dit ces choses par rapport au modèle. Mais vérité-en-fiction n'est pas vérité tout court.
- Bilbo n'a pas d'iPhone parce que le récit ne nous permet pas d'y croire à partir de ce qu'elle dit sur le monde fictif. Les modèles peuvent fonctionner de la même manière.
- Deux fictions sont « la même » si elles construisent « le même » monde fictif.
- On compare des choses réelles et fictives toujours.
- On apprend des choses nouvelles du modèle en prenant les règles que le modèle nous donne et tentant de les pousser au-delà du récit.



## Un souci ?

Ne pose-t-il pas un problème de dire que les modèles sont imaginaires ou fictifs—deviennent-ils « subjectifs » ou « personnels » d'une façon problématique ?

Pas forcément. Si vous croyez que Bilbo a un iPhone, *vous avez tort*. On ne peut pas inventer n'importe quoi.



# Qu'est-ce qu'un système modèle ?

- Parfois : des **objets physiques**
  - modèle hydrologique d'une économie, modèles des ponts dans l'ingénierie, organismes modèles en biologie
- Une **fiction** ?
- Une collection de **descriptions et équations** ?



## Minsky : pragmatisme

Quel type de question ou de demande peut-on formuler en direction du [système cible] ? Ils sont en grand nombre. En questionnant [le système modèle], l'observateur peut chercher à visualiser une situation dans un système compliqué... chercher à expliquer un mécanisme... chercher à comprendre un principe... chercher à reproduire un comportement... chercher à prouver une plausibilité d'explication... chercher à extrapoler un comportement... [etc.]





## Deux problèmes qui restent

- ① On dit qu'il est « contre les règles » de la fiction de dire que toute pendule idéale est à l'intérieur (ou que Bilbo a un iPhone). Mais en quoi consistent ces règles ? D'où viennent-elles ? Elles ne sont pas écrites explicitement...
- ② Comment est-ce que ces systèmes pragmatiques ou fictifs représentent ? Autrement dit, on n'a toujours pas expliqué la représentation en soi...



# Représentation

- Y a-t-il une différence entre la représentation scientifique et d'autres formes de la représentation (artistique, littéraire, etc.) ?
  - La plupart des philosophes : non, c'est juste la représentation quand c'est fait par un·e scientifique
- Comment savoir qu'une représentation est bonne, ou mauvaise, ou meilleure qu'une autre ?
- Comment distinguer la représentation des autres relations importantes, comme :
  - analogie
  - idéalisation
  - approximation



# Représentation

En plus : est-ce que tout modèle ou toute représentation scientifique partage la même réponse à toutes ces questions ? Ou plutôt a-t-on une pluralité des différentes formes de la représentation ?



# Simulations numériques

Les simulations numériques semblent être différentes de ce qu'on a fait avant.

- ❶ Il ne s'agit pas d'une source de **données**, dans le sens classique, parce que tout ce que le modèle produit résulte de la théorie à partir de laquelle nous commençons
- ❷ Il ne s'agit pas de la **prédiction**, car on simule très souvent des phénomènes qui ne vont jamais arriver
- ❸ Il ne s'agit pas d'une **expérience**, car l'ordinateur ne peut faire que ce qu'on programme

Donc **comment comprendre la connaissance** générée par une simulation ?

