

Introduction à l'introduction

Introduction aux Systèmes Complexes
Master 2 MISC

SÉBASTIEN VEREL

verel@univ-littoral.fr

<http://www-lisic.univ-littoral.fr/~verel>

Université du Littoral Côte d'Opale

Laboratoire LISIC

Equipe OSMOSE

Plan

- 1 Réflexions
- 2 Réductionnisme et Science
- 3 Systèmes complexes
- 4 Modélisation, simulations

Quelques questions pour vous

Questions :

- a - Donner la description d'un système de votre choix.
- b - Définir les mots suivants :
dynamique, oscillations,
stochastique, stable,
compliqué, imprédictibilité,
déterministe.

Consignes :

- Répondre aux questions individuellement par écrit (5 min)

Quelques questions pour vous

Questions :

- a - Donner la description d'un système de votre choix.
- b - Définir les mots suivants : dynamique, oscillations, stochastique, stable, compliqué, imprédictibilité, déterministe.

Consignes :

- Répondre aux questions individuellement par écrit (5 min)
- Regrouper et synthétiser vos propositions par petit groupe (6 min)

Quelques questions pour vous

Questions :

- a - Donner la description d'un système de votre choix.
- b - Définir les mots suivants : dynamique, oscillations, stochastique, stable, compliqué, imprédictibilité, déterministe.

Consignes :

- Répondre aux questions individuellement par écrit (5 min)
- Regrouper et synthétiser vos propositions par petit groupe (6 min)
- Désigner une personne pour venir écrire votre définition.

Quelques questions pour vous

- a - Donner la description d'un système de votre choix.
- b - Définir les mots suivants :
dynamique, oscillation,
stochasticité, stable,
compliqué, complexe,
imprédictibilité,
déterministe.

Consignes :

- Par groupe, classer les systèmes que vous proposez.
(5 min)

Plan

- 1 Réflexions
- 2 Réductionnisme et Science
- 3 Systèmes complexes
- 4 Modélisation, simulations

Réductionnisme

”Le tout est plus que la somme de ces parties”

Descartes (1596-1650)

discours de la méthode,
pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences
posé comme principe de la construction d'un savoir scientifique
(1637)

Réductionnisme

” Le tout est plus que la somme de ces parties”

Descartes (1596-1650)

discours de la méthode,
pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences
posé comme principe de la construction d'un savoir scientifique
(1637)

Principe de la méthode :

- Avancer dans la connaissance au moyen de déduction
- Jusqu'aux intuitions des principes

Démarche scientifique

Science

Corpus de connaissances organisées
par une démarche intellectuelle particulière

Quelle est cette démarche intellectuelle particulière ?

Démarche scientifique

Science

Corpus de connaissances organisées
par une démarche intellectuelle particulière

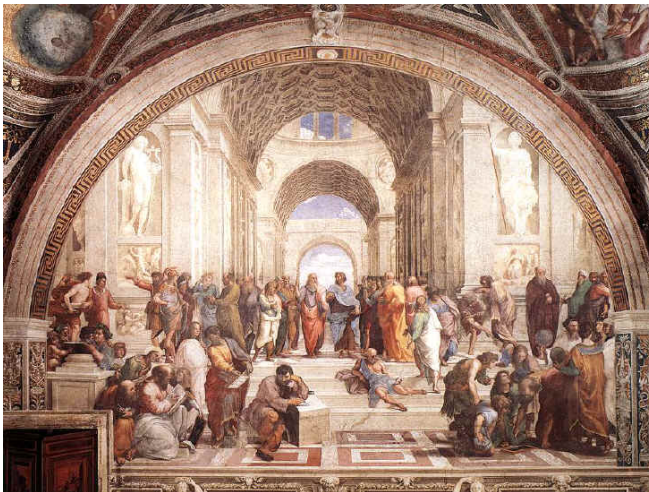
Quelle est cette démarche intellectuelle particulière ?

Longue histoire, très court résumé...

Aristote



Aristote



"L'école d'Athènes", Raphaël, 1509-1512

Aristote



Aristote (-384/-322)

- Philosophe grec :
 - Montée du royaume de Macédoine
- Disciple de Platon (-427/-348)
- Encyclopédiste, intérêt arts et sciences
 - Logique :
 - Tiers exclu : "Tout vrai ou tout faux"
 - Syllogisme :

Aristote



Aristote (-384/-322)

- Philosophe grec :
 - Montée du royaume de Macédoine
- Disciple de Platon (-427/-348)
- Encyclopédiste, intérêt arts et sciences
 - Logique :
 - Tiers exclu : "Tout vrai ou tout faux"
 - Syllogisme :
Tous les hommes sont mortels.
Tous les grecs sont des hommes.
Donc tous les grecs sont mortels.
 - Division de la philosophie :
 - Théorique, pratique, poïétique

Science Théorique d'Aristote

— Physique, mathématique et théologie —

- Connaissance des causes :
qui répond à la question pourquoi, raison d'existence
- Outil : la démonstration

4 types de causes

- Matérielle, de la matière :
ce dont une chose est faite
- Formelle, de la définition :
à la fois de la géométrie, de l'idée
- Efficente : premier mouvement ou repos
- Finalité (principe téléologique) :

"La nature ne fait rien en vain"

ex. *"C'est parce que l'homme est intelligent qu'il a des mains"*

Scholastique

- Enseignement du moyen-âge (principale XII^e au XV^e s.) : écoles monastiques et dans les universités (Paris)
- Méthode d'enseignement étaient formelles basées sur la connaissance livresque uniquement (Aristote / Bible)
- Figure notable : Saint Thomas d'Aquin (1224 - 1274)

Scholastique

- Enseignement du moyen-âge (principale XII^e au XV^e s.) : écoles monastiques et dans les universités (Paris)
- Méthode d'enseignement étaient formelles basées sur la connaissance livresque uniquement (Aristote / Bible)
- Figure notable : Saint Thomas d'Aquin (1224 - 1274)

Mais...

Raisonnement sur des concepts anciens :

- Négation de l'expérimentation
- Refus de toute remise en cause de la philosophie d'Aristote



Discours de la méthode

Discours de la méthode (1637),
Pour bien conduire sa raison et chercher la vérité dans les sciences

René Descartes (1596 - 1650)

- Mathématicien, physicien et philosophe français :
 - Philosophie : "*Cogito ergo sum*" - doute méthodique
 - Physique : Optique
 - Mathématique : Géométrie analytique
- Période :
 - "Fin" de la Renaissance,
 - Contemporain de Galilée (1564 - 1642),
 - Avant le siècle des lumières (\approx 1688, XIII^e)

Discours de la méthode

Discours de la méthode

Une méthode simple (4 règles) posée comme principe de la construction d'un savoir scientifique

Principe de la méthode

- Avancer dans la connaissance au moyen de déduction
- Jusqu'aux intuitions des principes

Préceptes de la méthode

Démarche analytique

L'évidence

"Le premier était de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle ; c'est-à-dire, d'éviter soigneusement la précipitation et la prévention, et de ne comprendre rien de plus en mes jugements que ce qui se présenterait si clairement et si distinctement à mon esprit, que je n'eusse aucune occasion de le mettre en doute."

Préceptes de la méthode

Démarche analytique

L'évidence

" Le premier était de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle ; c'est-à-dire, d'éviter soigneusement la précipitation et la prévention, et de ne comprendre rien de plus en mes jugements que ce qui se présenterait si clairement et si distinctement à mon esprit, que je n'eusse aucune occasion de le mettre en doute."

L'analyse

" Le second, de diviser chacune des difficultés que j'examinerais, en autant de parcelles qu'il se pourrait, et qu'il serait requis pour les mieux résoudre."

Préceptes de la méthode

Démarche analytique

La synthèse et le raisonnement

” Le troisième, de conduire par ordre mes pensées, en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu comme par degrés jusques à la connaissance des plus composés, et supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement les uns les autres.”

Préceptes de la méthode

Démarche analytique

La synthèse et le raisonnement

" Le troisième, de conduire par ordre mes pensées, en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu comme par degrés jusques à la connaissance des plus composés, et supposant même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement les uns les autres."

Le dénombrement

" Et le dernier, de faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales, que je fusse assuré de ne rien omettre."

Démarche analytique, réductionniste

Méthode analytique

- Description des objets (ex. molécules)
 - Description de leurs interactions (ex. architectures moléculaires)
-
- Démarche extrêmement efficace (lorsque possible), éliminant les doutes.
 - Définition de la science par le comment :
"Lorsqu'on suit cette méthode, on construit un savoir scientifique"
 - Ce n'est pas une définition qui suppose les 4 règles possibles

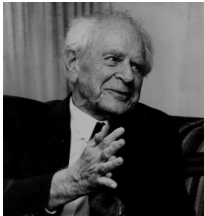
Démarche analytique, réductionniste

Méthode analytique

- Description des objets (ex. molécules)
 - Description de leurs interactions (ex. architectures moléculaires)
-
- Démarche extrêmement efficace (lorsque possible), éliminant les doutes.
 - Définition de la science par le comment :
"Lorsqu'on suit cette méthode, on construit un savoir scientifique"
 - Ce n'est pas une définition qui suppose les 4 règles possibles

Parfois la synthèse est très difficile, voir infaisable, à réaliser.

Karl Popper



Karl Popper (1902-1994)

- Philosophe autrichien des sciences
- Contemporain de K. Lorenz, Einstein, cercle de Vienne
- Influencé par C. Darwin (1809 - 1882) :
épistémologie évolutionniste

Théorie de la connaissance

2 problèmes de la théorie de la connaissance

- Problème de l'**induction** :
Aucune de théorie universelle n'est justifiable par l'induction (régression infinie, dénombrement)
⇒ Induction est "mythe" dans l'élaboration de connaissance.
- Problème de **démarcation** :
Distinction entre science et métaphysique

La théorie précède l'observation

- Toutes les sciences : basées sur l'observation (par nature partielle)
- Seule possibilité : construire des lois générales à partir d'observations
Ne garantit pas justesse (ex. les cygnes blancs)

Principe de réfutabilité

Corroboration d'une hypothèse

Série de tests indépendants que la théorie passe

- Ne permet pas de conclure à la "vérité" d'une hypothèse
- Vérité relative aux tests

Proposition scientifique est une proposition réfutable dont on ne peut affirmer qu'elle ne sera jamais réfutée (ex. cygne noir)

Théorie scientifique, principe de réfutabilité

Permet de diviser les observations en 2 classes :

- Observations qui contredisent la théorie (falsificateurs),
- Observations avec lesquelles la théorie s'accorde (qui la corroborent si vrai)

Croissance des connaissances

Epistomologie évolutionniste

Processus darwinien, sélection naturelle des hypothèses

- Problème initial : P_1
- Tentative de solution
- Elimination de l'erreur au moyen de l'expérimentation
- Nouveau problème : P_2

Compliqué / complexe

Système compliqué

système que l'on simplifie (en linéarisant) pour connaître son état statique

Système complexe

Un système complexe est un système dont les propriétés ne sont pas réductibles à celles de ses parties.

Compliqué / complexe

Système compliqué

système que l'on simplifier (en linéarisant) pour connaître son état statique

Système complexe

Un système complexe est un système dont les propriétés ne sont pas réductibles à celles de ses parties.

Système complexe (définition à connaître)

Les systèmes complexes sont composés d'entités hétérogènes en interaction forte et structurés en plusieurs niveaux d'organisation. Ces systèmes sont non-linéaires.

Linéaire / non linéaire

Quelle est la signification de *linéaire* ?

Linéaire / non linéaire

Quelle est la signification de *linéaire* ?

Un observable est varie linéairement avec un paramètre du système :

- lorsque le paramètre est multiplié par k ,
- la quantité observable est multipliée par k

Par exemple : $U = R.I$

Linéaire / non linéaire

Quelle est la signification de *linéaire* ?

Un observable est varie linéairement avec un paramètre du système :

- lorsque le paramètre est multiplié par k ,
- la quantité observable est multipliée par k

Par exemple : $U = R.I$

calcul matriciel : linéarité en multi-dimensions

Problème MAX-SAT et non-linéarité

Premier problème NP-difficile

- N variables booléennes : $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$,
- m clauses : $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$.
- k_j littéraux par clause $C_j : \{l_{1,j}, l_{2,j}, \dots, l_{k_j,j}\}$,

$$\bigwedge_{j=1}^m C_j$$

où $C_j = \bigvee_{i=1}^{k_j} l_{i,j}$ et $l_i = x_n$ ou \bar{x}_n

MAX - SAT

Maximiser le nombre de clauses C_j vérifiées

$$f(s) = \#\{C_j \text{ true}\}$$

s est une solution de SAT ssi $f(s) = m$

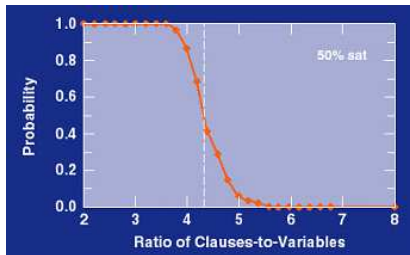
MAX-SAT

$$x_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge \bar{x}_3$$

$$(x_1 \vee x_2) \wedge (\bar{x}_2 \vee x_3) \wedge (x_1 \vee \bar{x}_3)$$

$$(x_4 \vee x_2 \vee x_3) \wedge (x_2 \vee x_4 \vee x_5) \wedge (\bar{x}_2 \vee x_1 \vee x_5) \wedge (\bar{x}_2 \vee x_5 \vee x_4) \wedge (x_1 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4)$$

MAX-SAT, non-linéarité



Transition de phase suivant le paramètre $\alpha = \frac{m}{N}$

Phénomène non-linéaire :

- nombre de solutions ne dépend pas linéairement du nombre de liens entre les variables
- La relation entre les variables est non-linéaire

Déterminisme, chaos

Pierre-Simon Laplace, essai philosophique sur les probabilités, 1814.

” Nous devons envisager l'état présent de l'univers comme l'effet de son état antérieur, et comme la cause de celui qui va suivre. Une intelligence qui, pour un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, si d'ailleurs elle était assez vaste pour soumettre ces données à l'analyse, embrasserait dans la même formule les mouvements des plus grands corps de l'univers et ceux du plus léger atome : rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux.”

Déterminisme, chaos

James Clerck Maxwell (1831-1879), Matière et mouvement

"Les mêmes cause produisent les effets. [...] Il y a une autre maxime qui ne doit pas être confondue avec celle précédemment citée et qui affirme " que des causes similaires produisent des effets similaires". Ceci est seulement vrai lorsque des petites variations dans les conditions initiales produisent seulement des petites variations dans les états finaux du système."

Emergence

systèmes complexes indissociables d'Emergence

Edgar Morin (1921-)

La première leçon systémique est que "le tout est plus que la somme des parties" [...] qu'il existe des qualités émergentes, c'est-à-dire qui naissent de l'organisation d'un tout, et qui peuvent rétroagir sur les parties.

Le tout est également moins que la somme des parties car les parties peuvent avoir des qualités qui sont inhibées par l'organisation de l'ensemble

Emergence

Systèmes complexes indissociables d'Emergence

Hugues Bersini exposé sur la vie artificielle, université de tous les savoirs, 2000 :

Texte :

<https://streaming-canal-u.fmsh.fr/vod/media/canalu/documents/utls/180900.pdf>

Conférence en vidéo :

https://www.canal-u.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/la_vie_artificielle.1114

Quelques questions pour vous

- a - Quelle définition pour Emergence ?
- b - Quels sont les exemples cités ?
- c - Quelles sont les perspectives en ingénierie ?

Systèmes complexes

Une introduction par Philippe Collard, Université Nice.

Pourquoi des modèles ?

Cours de "modélisation des systèmes biologiques" - 2004, F. Goreaud.

http://wwwlisc.clermont.cemagref.fr/Animation/Enseignement/Goreaud_F/Goreaud_SIAD04_cours1.pdf

Attention, prendre des notes puisque j'ajoute, je complète à l'oral

Pourquoi des simulations ?

Point de vue de H. Bersini :

- Les systèmes complexes ne sont pas réductibles
- la simulation permet l'exploration, l'expérimentation des systèmes complexes

Boucle de qualité :

- conception d'un modèle à partir de la simulation
- retour à la simulation pour l'améliorer
- simulation et modélisation doivent répondre à la question posée
- guidé par le retour au système réel

En informatique comme dans toutes les sciences

Situations typiques en informatique "expérimentale"

Comparaison de méthodes

- Problématique :
 - reconnaissance de visage, représentation d'une scène 3d, architecture d'une application, détection d'une substance, communication de données, etc.
- Hypothèse :
 - "algorithme SN est meilleur que algorithme OP"
- Méthodologie :
 - Définition d'un benchmark,
 - Définition d'une ou plusieurs mesures de performance
- Comparaison des algorithmes SN et OP selon les mesures.

l'hypothèse est une proposition réfutable,
donc hypothèse scientifique.

Hypothèse corroborée ou réfutée : SN meilleur ou non que OP

En informatique comme dans toutes les sciences

Situations typiques en informatique "expérimentale"

Acquisition de nouvelles connaissances fondamentales

- Problématique :
 - reconnaissance de visage, représentation d'une scène 3d, architecture d'une application, détection d'une substance, etc.
- Hypothèse :
 - " algo SN meilleur parce qu'il profite du grand nombre de 01"
 - " la dynamique s'explique par la présence d'une caractéristique P"
- Méthodologie (possible) :
 - Définition d'un benchmark avec et sans la propriété
 - Définition d'une ou plusieurs mesures relatives à l'hypothèse
- Comparaison/corrélation des mesures

l'hypothèse est une proposition réfutable,
donc hypothèse scientifique.

Hypothèse corroborée ou réfutée : l'implication est vraie ou non

ScienceS informatiques

Attention !

- En informatique plus "théorique", on démontre mathématiquement certaines propriétés des algorithmes. Ce n'est plus une démarche purement expérimentale même si on peut comparer les algorithmes de cette façon.
- Il est parfois très difficile voire impossible de définir une mesure de comparaison "objective" : Pas de "vérité" absolue, relative aux tests.

Modélisation et simulation informatique

Buts de la modélisation et de la simulation

- Modèle pour **Comprendre** un phénomène, système, etc.
- Modèle pour **Prévoir** l'évolution d'un système
- Simulation informatique permet l'**exploration**, l'**expérimentation**

Modèle

- Simplification de la réalité
- Représentation abstraite, formelle :

"La carte n'est pas le territoire"

Simulation

- Mise en oeuvre d'un modèle,
- Exécution, calcul d'un modèle.

Démarche scientifique avec des modèles

Conception d'un modèle

- 1 Formulation d'une question scientifique (problème)
- 2 Conception d'un modèle (expression d'une hypothèse)
- 3 Production de données à partir de la simulation du modèle
- 4 Validation du modèle par rapport au réel en fonction de la question posée (réfutabilité)
- 5 Ajustement ou non du modèle (retour à 2)

Remarques : En fait, les "modèles" ressemblent beaucoup aux théories selon K. Popper.

Pourquoi des simulations informatiques ?

La simulation permet l'exploration, l'expérimentation :

- A moindre coût (argent, temps, etc.)
- Manipuler de "l'inaccessible" (dont les conséquences sont réfutables)
- Tester des hypothèses

Pourquoi des simulations informatiques ?

La simulation permet l'exploration, l'expérimentation :

- A moindre coût (argent, temps, etc.)
- Manipuler de "l'inaccessible" (dont les conséquences sont réfutables)
- Tester des hypothèses

Conséquence

Une fois un modèle validé :

⇒ La simulation se substitue au phénomène

- ... sur lequel on peut formuler des questions (dans le cadre de valider du modèle)

En conclusion

Science

Corpus de connaissances organisées
par une démarche intellectuelle particulière

Proposition scientifique

proposition réfutable dont on ne peut affirmer qu'elle ne sera
jamais réfutée

"La science est un ouvrage humain et en tant qu'ouvrage humain elle n'est pas infallible. Et c'est précisément la conscience de l'imperfection de la science qui distingue le savant du scientifique."
K. Popper, Première journée du symposium de Vienne, 1983.

Plan (possible) de l'enseignement

- Introduction (Done)
- Introduction à Netlogo (P. Collard)
langage de programmation orienté événement à base d'agents
- Automates Cellulaires
prototype du SC discret en temps et espace (cf. H. Bersini)
- Théorie des jeux
Dilemme du prisonnier, équilibre de stratégie

Plan de l'enseignement

- Réseaux sociaux
Petit mode, scale-free network, Dynamique de la formation de communauté
- Chaos déterministe (P. Collard)
Poincaré, équation logistique, exposant fractale, etc.
- Proies et prédateurs
Evolution de population en situation de compétition, modèle de Lokta-Volterra
- Morphogénèse
étude de la formation des taches, persistance des formes ? etc.

Plan de l'enseignement

- Algorithme évolutionnaire
Méthode d'optimisation stochastique inspiré par la théorie de l'évolution Darwinienne
- Intelligence collective 1 (P. Collard)
enfin les fourmis
- Intelligence collective 2 (P. Collard)
intelligence en essaim

Mot de conclusion de l'introduction à l'introduction

They saw America as bigger than the sum of our individual ambitions ; greater than all the differences of birth or wealth or faction.

Mot de conclusion de l'introduction à l'introduction

They saw America as bigger than the sum of our individual ambitions ; greater than all the differences of birth or wealth or faction.

20 janvier 2008, Barack Hussein Obama, (1961 -)