

La réalité : De Kant à la Mécanique Quantique

François Anceau
Lip6/SoC
francois.anceau@waika9.com

Laurent Carrive.
Université Paris 7
l.carrive@free.fr

Paris 19 janvier 2015

© L. Carrive et F. Anceau

1

1. Introduction historique

- **Naissances de la science et la philosophie**
 - Philosophie et science chez les Grecs
- **Rapports entre Sujet et Objet**
 - Apparition des notions de sujet et d'objet
 - La notion de sujet
 - La notion d'objet – Immuabilité de l'objet
 - Rencontre Sujet/Objet
 - Rapports Sujet/Objet - Ruptures à partir du XVIIe siècle
 - Rapports Sujet/Objet du XVIIIe au XXe siècle

2. Idéalisme/ Réalisme

3. Conclusion philosophique

4. Du philosophique au scientifique

5. La réalité des choses physiques

6. La réalité des théories

2

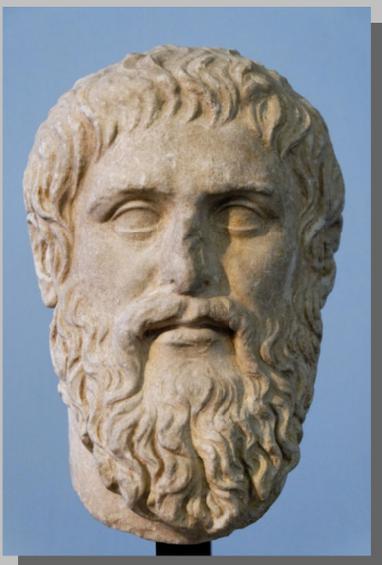
Introduction historique

3

Philosophie et science chez les Grecs

■ Notre réalité

- Nos conceptions modernes de la réalité proviennent de plusieurs héritages dont pour une large part, celui de la Grèce antique.



■ Science et philosophie

- La philosophie et la science sont nées conjointement au VI^e siècle av. J.C., en Grèce.
- Elles formaient un même corpus de savoir.
- Les philosophes étaient astronomes, physiciens, mathématiciens, ...
- La métaphysique était alors la science première.
- Mais ce que nous appelons aujourd'hui « science », n'existe pas avant le XVII^e siècle, à l'exception des mathématiques.

4

Apparition des notions de sujet et d'objet

- Lente apparition des notions corrélatives de sujet et d'objet
 - Les rapports entre la notion de *sujet* (celui qui agit ou qui connaît) et la notion d'*objet* (la chose à connaître) vont rester au centre de nombreuses problématiques philosophiques, pendant de longs siècles.

5

Sujet et objet dans la Grèce antique

- Le sujet comme intériorité (Homère)
 - Ambivalence entre intériorité et extériorité. Par exemple :
 - Le *Thumos* : à la fois Souffle intérieur de l'homme et Eléments (extérieurs)
 - Le *Phrenes* : Organe où prennent naissance à la fois la pensée (intérieure) et la parole.
 - Le *Nous* : à la fois perception visuelle (extérieure) et réflexion qui en découle.
- L'objet immuable - L'être et le devenir (les présocratiques)
 - Qu'est-ce que l'être si toute chose est naturellement soumise au devenir ?
 - Si un objet A se transforme en objet B,
 - Alors en devenant l'objet B il n'est plus le même.
 - Il perd son identité et donc son être.
 - Tout être doit donc être immuable.

6

Sujet(s) et objet(s)

- Les notions corrélatives de sujet et d'objet
 - Le sujet : L'*Hypokeimenon* (qui deviendra subjectum)
 - D'abord substrat sous-jacent, substance.
 - Le sujet a deux significations contraires :
 - L'être autonome et responsable conscient de ses actes.
 - Celui qui est assujetti à un pouvoir.
 - L'objet : *ob-jectum* (l'obstacle)
 - La chose à connaître, la nature, le réel, qui est ensuite visé par une conscience.
 - Ce qui est pensé, ou représenté, en tant qu'on le distingue de l'acte par lequel il est pensé.
 - Ce qui possède une existence en soi, indépendante de la connaissance ou de l'idée que des êtres pensants en peuvent avoir.

7

Sujet, objet et réalité chez les Grecs

- Platon : La dialectique
 - Pour Platon, dans le procès dialectique de la connaissance, sujet et objet demeurent indissociables.
- Aristote : Vérité et réalité
 - Chercher la vérité et la réalité des choses c'est trouver en quoi elles sont éternelles, nécessaires et universelles, en quoi elles ne peuvent être autrement qu'elles ne sont.
 - *Aristote, Organon, seconds analytiques, 71 b 10 (l'épistèmè).*

8

Ruptures à partir du XVIIe siècle

- Deux ruptures épistémologiques.
 - Rupture entre la science et la religion
 - Galilée : « Dans le domaine des phénomènes physiques, l'Écriture sainte n'a pas de juridiction ».
 - Lettre à Castelli 1613
 - Héliocentrisme de Copernic en conflit avec la religion.
 - Séparation entre la science et la philosophie
 - Dualisme cartésien entre esprit et matière.
 - Naissance et autonomie des sciences particulières.
 - Ces discontinuités sont en fait plus ou moins progressives
 - Querelle Discontinuisme / Continuisme
 - Progrès des sciences par dépassement d'obstacles chez Bachelard.
 - Changement de paradigme chez Kuhn.



Procès de Galilée



Descartes

9

Descartes (1596-1650)

- Descartes va radicalement séparer
 - Le sujet : l'être pensant, l'âme, le Je du Cogito, (la *res cogitans*) de
 - L'objet : la matière étendue, le corps (la *res extensa*)
- Importance de Descartes pour le progrès des sciences
 - La méthode de Descartes et sa *Mathesis Universalis* vont largement participer à la prise d'autonomie des sciences modernes.
 - Jusqu'à Descartes la science reposait en grande partie sur les hypothèses aristotéliennes des mécanismes et des causes.
 - A partir de Descartes elle repose sur l'exactitude des effets, mesures et observations, mieux adaptées au traitement mathématique.
- Rapports entre la science mathématisée et le sujet moderne
 - L'exclusion du sujet (de l'âme) permet l'application des mathématiques.
 - Réciproquement, la science en se mathématisant, « éclipse » le sujet.

10

Individualité du sujet cartésien

■ Solitude du sujet cartésien

- L'expérience du *Cogito*, est solitaire.
- La réalité peut être définie comme l'ensemble des phénomènes considérés comme existant effectivement par un sujet conscient.
- Or ne serait-ce que le langage suppose donnée la préexistence d'autrui.

■ Fondements individuels et collectifs de la connaissance

- La connaissance repose-t-elle sur l'autorité d'un donné et la nécessité d'une évidence logique (Cogito) ?
- Ou bien est-elle le fruit d'un travail collectif ?
 - Est-elle fondée sur ce que Terry Pinkard nomme la « socialité des raisons » ? (Querelle Internalistes / Externalistes).

11

L'autre et l'intersubjectivité

■ Retour de l'autre et intersubjectivité

- L'approche cartésienne solipsiste provoquera en réaction, une forme de retour de l'altérité.
- L'intersubjectivité transcendantale chez Kant ...
- Séparation des sciences humaines. (Querelle des méthodes)
 - Le dualisme comme fondement de la psychologie moderne.
- La place de l'altérité dans la démarche phénoménologique de Husserl
 - *Méditations cartésiennes*.
- Tournant langagier – « Jeux de langage » de Wittgenstein.

■ L'intersubjectivité et le jugement de réalité

- L'intersubjectivité est conditionnée par un jugement de réalité collectif.
- Elle porte sur l'ensemble des personnes qui ont porté le jugement.

12

Sujet et objet au XVIIIe siècle

■ Les Lumières

- Refonte de la métaphysique, motivée en partie par le succès des sciences exactes.
- Autonomie du raisonnement, comme idéal de libération. (Kant)

■ Kant (1724-1804) : Critique de la raison pure

- Subjectivité transcendantale
- Le phénomène : « ce qui apparaît » et qui s'atteint par les sens.
- Le noumène : l'objet construit par la connaissance a priori, intellectuelle ou rationnelle et non sensible.
- La « *chose en soi* » : chose elle-même, essentiellement inconnaissable.

13

Sujet et objet au XIXe et XXe siècles

■ XIXe siècle : Le concept

- Hegel (1770-1831) :
 - L'idée unifie le sujet et l'objet
 - L'Idée est identité du sujet et de l'objet comme résultat d'un processus de formation du sujet via la création du concept.

■ XXe siècle : L'altérité

- Husserl (1859 – 1938)
 - La phénoménologie husserlienne remonte de l'objet au sujet.
- Retour à l'homme et au langage (Wittgenstein, Heidegger, Levinas)
 - Après le sujet et l'objet, retour à l'homme.
 - Importance de la question de Kant « Qu'est-ce que l'homme ? »
 - Spécificité des sciences humaines : Psychologie, sociologie, psychanalyse.

14

1. Introduction historique

2. Idéalisme/ Réalisme

•Idéalismes et réalismes : Définitions

•L'idéalisme transcendantal de Kant - La « chose en soi »

•Kant aujourd'hui

•Quel réalisme pour les théories ?

3. Réflexions sur la réalité

4. Conclusion philosophique

5. Du philosophique au scientifique

6. La réalité des choses physiques

7. La réalité des théories

15

Idéalisme et réalisme: Définitions

■ Définition de l'idéalisme

- L'idéalisme (strict ou radical) soutient que l'existence du sujet est une condition nécessaire à l'existence des objets, et à l'extrême que la réalité est de nature mentale.

■ Définition du réalisme

- Le réalisme est la doctrine qui admet une réalité en soi, indépendante de toutes nos possibilités de la connaître.
- *Esse* (être) n'est pas équivalent à *percipi* (percevoir).

16

Réalisme objectiviste

■ Le réalisme objectiviste de la science

- La position naturelle d'une majorité de scientifiques est celle d'un « réalisme objectiviste ».
- Lorsqu'une chose est vérifiée dans un système relatif, nous pouvons faire l'hypothèse de l'existence de cette chose indépendamment de ce système.
- L'indépendance du contexte et du sujet sont induites de critères statistiques ou de marges d'erreur.

17

L'idéalisme transcendantal de Kant

■ Inconnaissable en totalité ne signifie pas irréel

- Kant tient la réalité pour essentiellement inconnaissable.
- Mais son idéalisme transcendantal reste « modéré ».

■ La « chose en soi »

- Le but de Kant n'est pas de rejeter le réel ou l'idée d'une réalité indépendante, puisqu'il établit la notion de « chose en soi ».

■ Représentation de la « chose en soi »

- Kant pose la question de l'adéquation entre cette « chose en soi » et la représentation que nous en avons.
- Il ne remet pas en cause la certitude que nous avons de la réalité de la « chose en soi ».
- Mais dit-il, il nous est impossible de juger de cette adéquation, puisque nous n'aurons jamais accès qu'à des représentations de la chose et non à la « chose en soi » elle-même.

18

Kant aujourd'hui

- L'apriori - Temps et espace
 - La notion de forme a priori de l'entendement (causalité) ou de la sensibilité reste d'actualité.
- Mais il faut séparer deux aspects
 - D'un côté, nous avons les structures a priori de la sensibilité humaine, innées, internes et indépendantes de l'expérience, qui constitueraient notre appareil cognitivo-perceptif.
 - Et de l'autre, les informations (« le divers pur de la sensation »).
- Structure de l'espace
 - La notion d'espace envisagée par Kant est en partie déterminée par le niveau de connaissance mathématique (euclidienne) de son époque.
 - Les géométries non-euclidiennes étaient à peine « inventées ».
 - Ce que l'on pourrait entendre aujourd'hui par « espace réel », est de mieux en mieux approché par science.

19

1. Introduction historique

2. Idéalisme/ Réalisme

3. Conclusion philosophique

- Réalité et « chose en soi »
- L'évidence et la définition du réel.
- La raison et le sensible
- Unicité, unité et permanence de la réalité
- La science et le même
- Le jugement de réalité

4. Du philosophique au scientifique

5. La réalité des choses physiques

6. La réalité des théories

20

Conclusion philosophique

21

Réalité et « chose en soi »

- Concept limite
 - Notre conviction de la réalité repose sur la supposition nécessaire d'une « chose en soi » (Kant) comme *concept limite*.
 - Mais la chose en soi reste pour Kant un « noumène », c'est-à-dire un concept problématique et limitatif dont la réalité ne peut être connue.
 - On peut la concevoir comme un horizon de nos jugements où convergeraient l'ensemble des caractères et propriétés que nous pouvons attribuer à l'objet.
- La « chose en soi » est un absolu que nous ne pouvons prétendre déterminer,
 - Ni par notre expérience sensible.
 - Ni par un savoir théorique toujours incomplet.

22

Evidence et définitions du Réel

- Peut-on définir le réel ?
 - L'intuition et la supposition pratique de la réalité sont toujours premières.
 - Mais toute pensée de la réalité se heurte à l'impossibilité d'une « définition intrinsèque ».
- Spinoza : L'indépendance conceptuelle
 - « La substance, la chose qui est ce qui est en soi et est conçu par soi, c'est-à-dire ce dont le concept n'a pas besoin du concept d'une autre chose duquel il doit être formé »
 - (Éthique, I, définition 3).
 - Si donc la notion de réalité renvoie à celles d'être, d'existence ou de substance, il faut avouer que, présente à toute pensée, supposée par toute pensée, elle demeure, selon la rigueur, indéfinissable.
- L'évidence chez Descartes
 - Une notion est réelle si « elle est d'elle-même si claire qu'on l'obscurcit en la voulant définir », (Descartes, Principia I, X)
- Définitions négatives du réel
 - Le concept s'oppose à néant, possible, imaginaire, illusoire, idéal, ...

23

La raison et le sensible

- La sensation
 - Héraclite
 - Il estime que la sensation n'est pas un instrument digne de foi
 - Héraclite, Fragments, 75 (107).
 - Les sensations sont trompeuses quand elles sont « privées de raison ».
 - Parménide
 - Le témoignage des sens est radicalement trompeur et la connaissance, doit se fonder sur la raison seule.
 - « Résiste à l'habitude, aux abondants prétextes, qui pourraient t'entraîner à suivre ce chemin, où œil aveugle, sourde oreille et langue encore, régissent tout; plutôt, juge avec ta raison [...] ».
 - (Les écoles présocratiques) Parménide, fragment VII.

24

Unité et unicité de la réalité

- Peut-on parler d'une unité de la réalité ?
 - Cette unité de la réalité serait-elle de nature logique ?
 - Le rassemblement des données sensibles en une unité procède-t-il d'une opération de nature subjective ?
- Y a-t-il unicité de toute réalité matérielle ?
 - Si tel est le cas, quel est le rapport entre l'unicité psychologique de la réalité présente ?
 - L'unicité de psychologique ?

25

La science antique et le même

- Identité
- Permanence
- Univocité,
- « La réalité ne peut être invoquée que sur le fond d'une différence première entre elle et ce dont on la distingue »

26

Du philosophique au scientifique

27

1. Introduction historique
2. Idéalisme / Réalisme
3. Conclusion philosophique
4. Du philosophique au scientifique
 - Différences entre démarches philosophiques et scientifiques
 - Nature de la réalité
 - L'évidence subjective de la réalité
 - Chose en soi et paramètres
 - Démarche scientifique
 - Le jugement de réalité
 - Pourquoi s'intéresser à la réalité des choses et des théories
5. La réalité des choses physiques
6. La réalité des théories

28

Différences entre les démarches scientifique et philosophique

■ Vis-à-vis du sujet

- Philosophie : **Irréductibilité** du couple sujet/objet dans le raisonnement.
- Science : **Exclusion** du sujet, du raisonnement.
 - Recherche d'un absolu indépendant du sujet.
 - Toute étude d'un sujet particulier passe par son objectivation.
 - Les particularités humaines du sujet doivent être formalisées.

29

Différences entre les démarches scientifique et philosophique (2)

■ Vis-à-vis de l'objet

- Philosophie : L'objet d'étude, surtout si c'est un être humain, peut évoluer. Les dissociations de ce couple peuvent comporter un certain flou.
- Science : L'objet doit être conservé à l'identique au cours de l'observation.
 - Souvent l'intérêt est porté à un **type d'objet**, via un représentant dont les spécificités importent peu.
 - Utilisation d'un **nommage indicé**.
 - Des **objets précis** sont quelquefois utilisés.

30

Nature scientifique de la réalité

- La notion de réalité varie suivant la nature des choses :
 - Choses physiques
 - Choses physiques simples
 - Objets physiques (indéformables ou déformables)
 - Liquides / Gaz
 - Champs
 - Choses physiques complexes naturelles
 - Le vivant
 - Agencement de l'univers ?
 - Emergences physiques
 - Productions de l'esprit
 - Choses physiques complexes artificielles
 - Emergences fonctionnelles (pensées, ...)
 - Entité virtuelle issue du fonctionnement d'un traitement de l'information.
 - Modèles
 - Théories
 - Idées
- Pour simplifier la présentation, nous n'étudierons que la réalité des objets physiques indéformables, des modèles et des théories.

31

L'évidence subjective de la réalité

- Exemple de la continuité :
 - Pour les choses **physiques**
 - La nature montre un niveau **discret** sous-jacent pour plusieurs types de choses (objets physiques solides, liquides, gaz, êtres vivants).
 - La question reste ouverte pour les champs ... (champ de présence ?)
 - Pour les choses de **l'esprit**
 - L'hypothèse du continu est un **ajout** à la théorie des ensembles, alors que la nature réelle des matériaux physiques est discontinue.
 - Notre définition de la réalité utilisant la continuité en fait une **théorie irréaliste** bien utile pour traiter le niveau macroscopique.
 - La continuité :
 - Est une **évidence subjective** dans le monde des créations de l'esprit.
 - Elle **simplifie** l'expression des théories décrivant le comportement macroscopique des choses physiques.
 - Sa réalité semble **contredite** dans le monde physique.

32

Chose en-soi et paramètres

- Pourrait-on définir l'en-soi scientifique de la chose ?
 - Peut-on le résumer à un ensemble de paramètres numériques ?
 - Dans ce cas, que dire de cet ensemble ?
 - Est-il infini ?
 - Est-il connaissable ?
 - Peut-il être généré par des processus d'investigations physiques ?
 - S'il y a une part scientifique de l'en-soi kantien, quelle en serait l'autre part ?
 - Subjective ?
 - Historique ?

33

Le jugement de réalité

- La décision de réalité provient d'un **jugement** sur la chose
 - Individuel ou collectif
- Modes d'établissement de la réalité
 - Aspects **juridiques** du jugement
 - Pièces à conviction : Éléments permettant d'établir la réalité
 - Intime conviction
 - Témoignages (éventuellement non vérifiables)
 - Confrontation d'affirmations contradictoires
 - Aspects **scientifiques** du jugement
 - Éléments de conviction : Éléments permettant d'établir la réalité
 - Éléments scientifico-techniques (Mesures, ...)
 - Jugement individuel (intime conviction, vie pratique)
 - Jugements rapides (vie courante, conduite automobile,...)
 - Mémoire de cas semblables (Rattachement à une classe)
 - Analyses partielles (mesures partielles, estimations)

34

Le jugement de réalité (2)

- Notre jugement repose par expérience sur:
 - La convergence :
 - des **multiples perceptions** de la chose, par des voies physiques différentes.
 - des **multiples interprétations** de nos perceptions de la chose.
 - Analyse partielle (jugement rapide)
 - Le souvenir de choses semblables

35

Le canard de Vaucanson

- Il **ressemble** à un canard
- Il **bat des ailes** comme un canard
- Il **barbote** comme un canard
- Il **caquette** comme un canard
- Il **mange** comme un canard
- Il **défèque** comme un canard

- Mais ce n'est **pas** un canard !....



Tout ce qui ressemble à un canard n'est pas un canard ...
Attention à ne pas décider de la réalité d'une chose sur un ensemble trop restreint de paramètres.

36

Pourquoi s'intéresser à la réalité des choses et des théories ?

- Par curiosité. Pour connaître la *vérité*.
- Pour éviter de construire de la science sur des *bases fausses*.

37

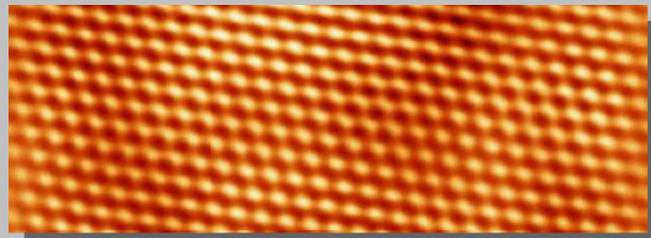
Réalité des choses physiques

38

1. Introduction historique
2. Idéalisme/ Réalisme
3. Conclusion philosophique
4. Du philosophique au scientifique
5. La réalité des choses physiques
 - L'échelle de réalité physique
 - Mesure et réalité physique
 - Réalité pratique
6. La réalité des théories

39

L'échelle de réalité physique



Atomes d'or

- Inspiré des "poupées russes" de Bitbol¹
- L'univers semble s'organiser en trois niveaux de réalité :
 - Le niveau "*galactique*" au delà du système solaire (4,5 milliards de km)
 - Le niveau "*macroscopique*" du $\frac{1}{10}$ de nanomètre à la taille du système solaire.
 - Le niveau "*microscopique*" en dessous du $\frac{1}{10}$ de nanomètre
- Il semble exister des "*frontières*" physiques entre ces niveaux.
 - Par ex : vu du niveau macroscopique, un atome est une petite boule élastique impénétrable, alors qu'elle semble être un système stellaire pénétrable vu du niveau microscopique.

1 - Michel Bitbol, *La nature est-elle un puits sans fond*, La Recherche n°405 p. 31, 01/02/2004

40

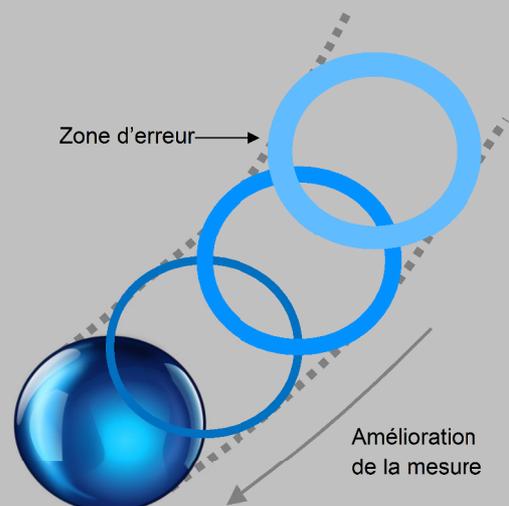
Mesures et réalité physique

- Un objet est caractérisé par un ensemble de paramètres :
 - Masse
 - Forme et dimensions (si l'objet est non déformable)
 - Aspect (optique, IR)
 - Composition (Matériau, structure)
 - Inhomogénéités
 - ...
- Ces paramètres peuvent être mesurés :
 - Par des **procédés physiques** différents.
 - Avec une certaine **précision** qui dépend de la nature de l'objet, de son accessibilité et du procédé de mesure.

41

Mesure et réalité physique (2)

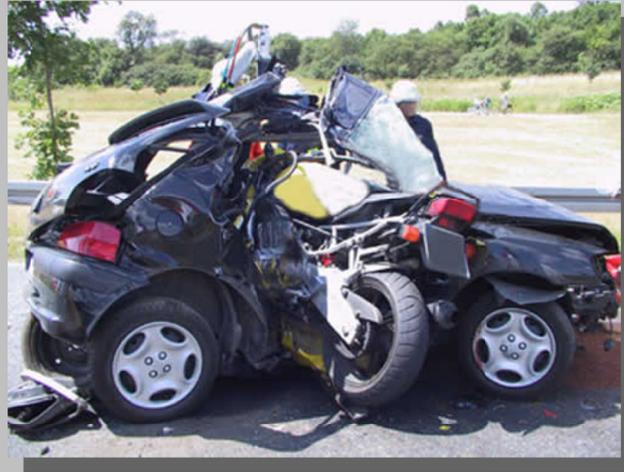
- Ces mesures :
 - Doivent être **cohérentes** entre les différents processus de mesure.
 - Elles **encadrent** les paramètres réels de l'objet dans une certaine marge d'erreur.
 - **L'amélioration** permanente des procédés de mesure fait tendre cet encadrement vers les paramètres **réels** de l'objet.
- La réalité de l'objet apparaît donc comme la **limite** de ces **suites** de mesures.



42

Réalité pratique

- Dans la **vie courante**, la détermination de la réalité d'un objet se fait sur un sous-ensemble **restreint** de ses paramètres.
 - Par exemple : poids, taille, couleur
- Elle est souvent déterminée par un processus de **reconnaissance** d'un objet (ou d'un type d'objet) **préalablement étudié**.
- La détermination de la réalité d'un objet doit, quelquefois, être **très rapide**, surtout si celui-ci présente un danger potentiel.



43

Réalité des choses de l'esprit

44

1. Introduction historique
2. Idéalisme/ Réalisme
3. Conclusion philosophique
4. Du philosophique au scientifique
5. La réalité des choses physiques
6. La réalité des théories
 - La notion de modèle
 - Réalité des modèles
 - La notion de théorie
 - Exemple de théorie
 - Empilement des modèles
 - Mécanique quantique
7. Conclusion

La notion de modèle

- Un *modèle* a pour but de prédire les états futurs d'un objet (ou plus généralement d'une chose).
- Un modèle (au sens informatique du terme) d'un objet est une structure *informatique* contenant :
 - Des *variables* représentant *l'état initial* et l'état courant de l'objet.
 - Des *expressions* logico-mathématiques et des variables de travail explicitant *l'évolution* de l'état courant du modèle.
- Un modèle sera dit *opérationnel*, s'il prédit correctement l'état futur de l'objet.
- *Plusieurs* modèles différents peuvent prédire le même comportement futur d'un objet.

Réalité des modèles

- Un modèle sera dit **réel** si :
 - Ses variables et ses expressions logico-mathématiques **appartiennent** au niveau de réalité concerné.
 - La structure des expressions logico-mathématiques utilisées doit être **mise en correspondance** avec la réalité observée de l'objet.
 - En particulier, les opérations utilisées et les conditions de leur emploi doivent être compatibles avec celles **réalisables** dans ce niveau de réalité.
par exemple : les opérations de prise d'extrema ne sont pas réalisables par les objets du niveau macroscopique.
- Des modèles **non-réels** sont très utiles pour prédire le comportement d'objets dont on ne connaît pas (encore!) la réalité ou la structure interne.
- Ne jamais confondre un modèle (même réel) avec l'objet qu'il modélise.
Ex : Le tableau de Magritte « *Ceci n'est pas une pipe* »

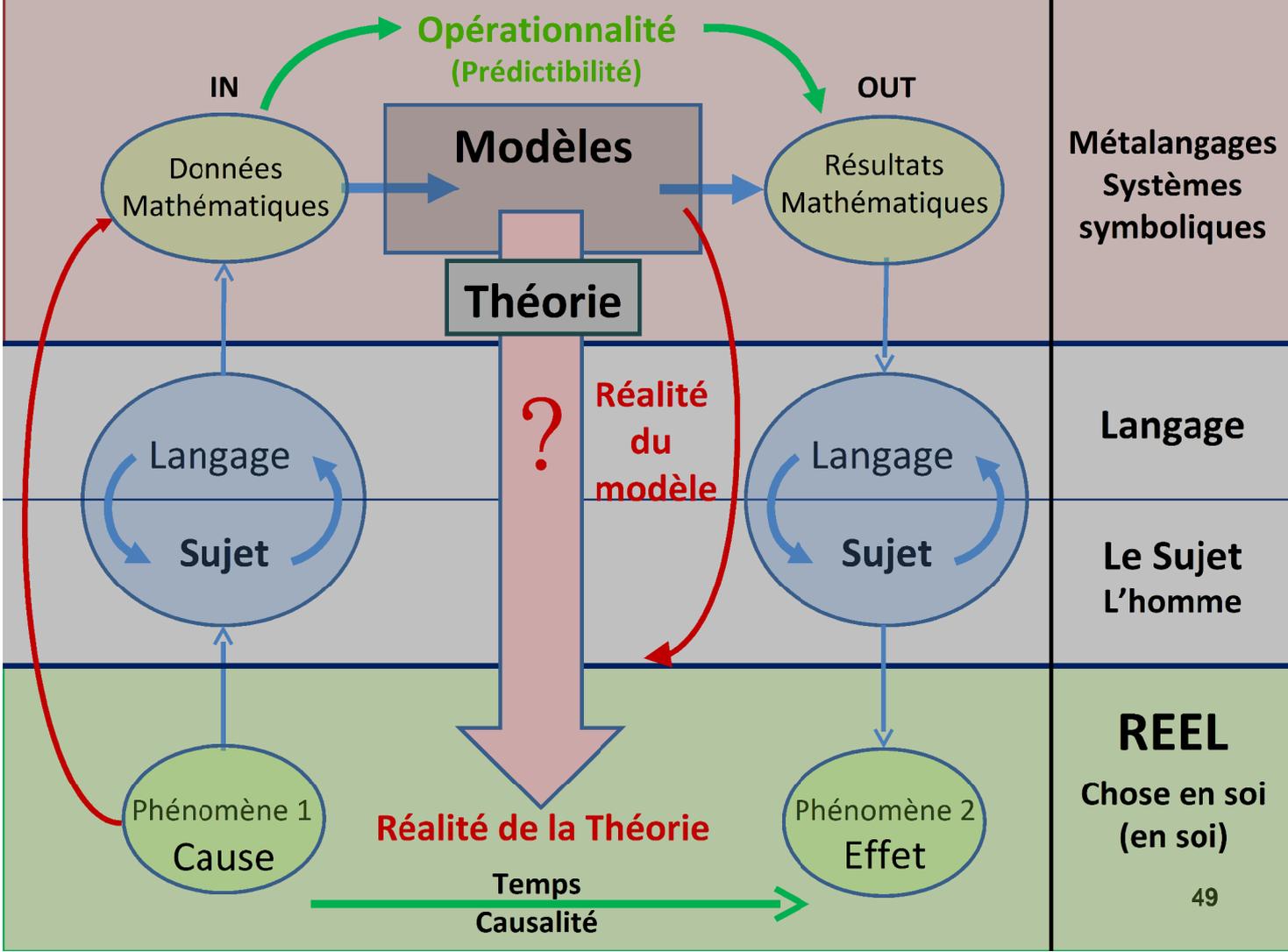


47

La notion de théorie

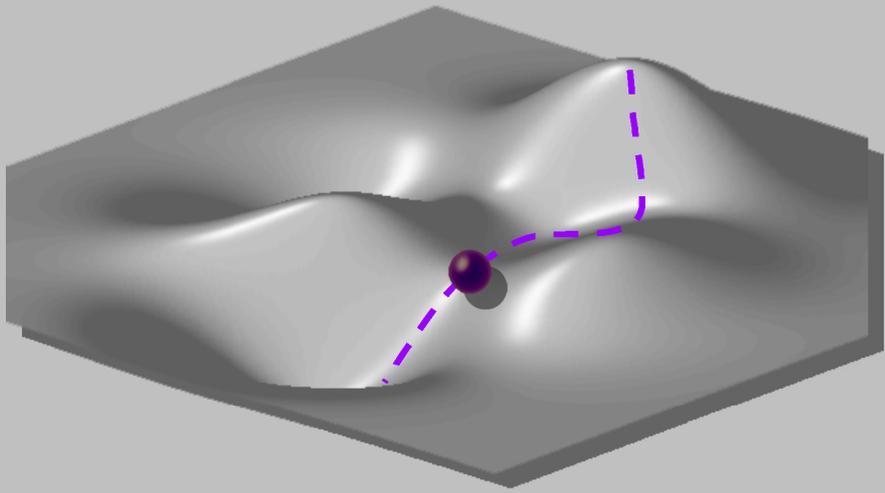
- Une théorie est un modèle **opérationnel** qui décrit la **réalité** d'un objet.
- Lorsqu'un objet n'est pas (encore!) **observable**, le modèle le plus opérationnel est quelquefois utilisé pour jouer, temporairement le rôle de théorie ...
- Il peut même arriver que plusieurs théories soient (momentanément!) en situation de **concurrence** pour décrire la réalité d'un objet.
- Une théorie peut servir de base à un **raisonnement inductif** pour faire émerger de nouveaux concepts à partir de l'analyse du comportement ou de la structure de l'objet initial.
- Une induction, réalisée à partir d'une théorie non réelle, peut donc conduire à des conclusions **absurdes**.

48



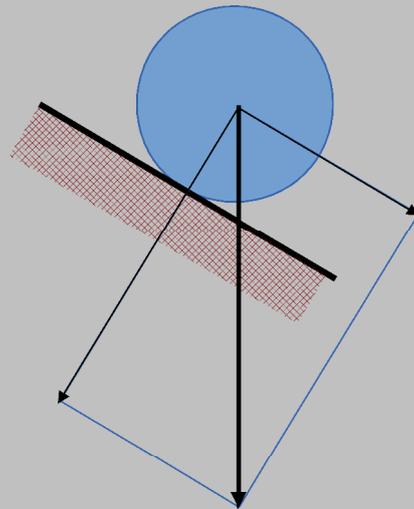
Exemple de théorie - partie 1

- Une bille lâchée d'un point haut d'une surface bosselée, suit une trajectoire, sous l'effet de la **pesanteur**, pour atteindre un point bas.



Exemple de théorie - partie 2

- Cette trajectoire peut être étudiée en analysant, à chaque instant, l'effet de la pesanteur, de la pente locale de la surface, et des forces inertielles dans un **raisonnement différentiel**.
- Ce raisonnement conduit à un premier modèle **réel**, basé sur la **mécanique newtonienne**, que nous qualifierons de *niveau 0*.



51

Exemple de théorie - partie 3

- En 1744, Maupertuis propose un principe de **minimisation** de l'action. La trajectoire de la bille obéit à ce principe de *minimalité*.
- A partir de ce principe, il devient possible de décrire la trajectoire de la bille en termes de minimisation de l'action (*modèle 1*), avec **autant d'exactitude**, donc d'opérationnalité, que le modèle 0.



Pierre Louis Moreau
de Maupertuis

52

Exemple de théorie - partie 4

- Toutefois, une analyse simple montre que ce modèle 1 ne remplit pas les conditions de réalité, car la **connaissance totale** du terrain d'expérience et les opérations de minimisation, ne sont **pas réalisables** directement avec les opérations primitives du niveau macroscopique.
 - Connaissance de la topologie totale du terrain ?
 - Calcul de la trajectoire minimale ?
 - Pilotage de la bille ?

53

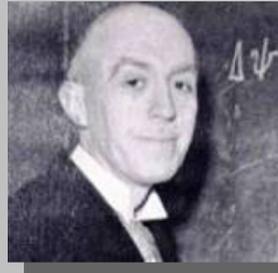
Empilement des modèles

- L'étude d'un phénomène peut généralement se faire de **plusieurs façons** utilisant des modèles différents.
- Ces modèles peuvent être classés par leur **concision**, généralement liée à l'efficacité des calculs qu'ils permettent.
- Les modèles de bas niveau remplissent généralement les critères de réalité, mais sont complexes et dispendieux en puissance de calcul.
- Les modèles de plus haut niveau exploitent des propriétés de minimalité qui les rendent irréels. Ils sont souvent jugés les plus **élégants**.

54

Mécanique quantique

- Phénomènes physiques **curieux** constatés à la charnière des XIX^e et XX^e siècles.
- **Imaginée** entre 1913 et 1930 par un groupe de physiciens de premier plan, à partir des concepts les plus avancés de la physique (Lagrangien, Hamiltonien ...).
- A cette époque, les objets de cette nouvelle science étaient **rigoureusement invisibles**.
- Grand succès **opérationnel** et applicatif.
- Suggère un **constructivisme**.



Maurice de Broglie



Niels Bohr



Werner Heisenberg

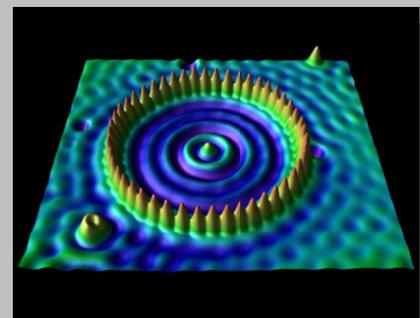


Erwin Schrödinger

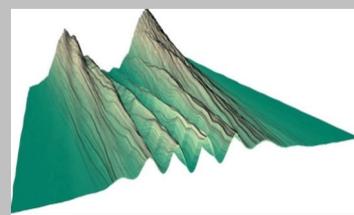
55

Mécanique quantique (suite)

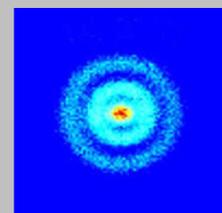
- Les créateurs de cette nouvelle "théorie" connaissaient bien sa non-réalité (le "**tais-toi et calcule**" de Feynman).
- Les générations suivantes de chercheurs ont modifié leur attitude en **généralisant l'irréalité** de la MQ à tout l'univers ...
- Les objets de la MQ **commencent à devenir visibles** (atomes, orbitales, présence des particules ...)



Atome de fer



Ondes de présence
(fentes d'Young)



Orbitales de l'atome d'hydrogene

56

Conclusion

- Il semble possible de définir une *notion de réalité*, relative à une "tranche" de l'univers, pour les objets et les théories.
- Il existe des théories *réelles* et d'autres *non-réelles* (*imaginées !*)
- L'*induction* sur les théories non-réelles peut conduire à des *absurdités*.
- Toujours privilégier l'*expérience* à l'imagination.
- L'évolution de la technologie tend à rendre *visible* l'invisible.