

# Chapitre A-I

## Qu'est-ce que la physique ?

Joël SORNETTE met ce cours à votre disposition selon les termes de la licence Creative Commons :

- Pas d'utilisation commerciale.
- Pas de modification, pas de coupure, pas d'intégration à un autre travail.
- Pas de communication à autrui sans citer son nom, ni en suggérant son autorisation.

Retrouvez l'intégralité du cours sur le site [joelsornette.fr](http://joelsornette.fr)

## RÉSUMÉ :

*Ce chapitre est épistémologique, c'est-à-dire qu'il se place en dehors de la physique pour en faire un objet d'étude. Il relève dès lors aussi de la philosophie et je m'aventure donc loin de mes bases. Je me contenterai donc prudemment de l'essentiel.*

*On étudiera d'abord quelle doit être la propriété d'un phénomène pour qu'il puisse être un objet d'étude en physique.*

*On s'intéressera ensuite à la vérité en physique et l'on montrera qu'elle diffère fondamentalement de la vérité mathématique et qu'il faut donc préciser les qualités que doit avoir une théorie acceptable.*

*On se demandera enfin si les concepts introduits en tant qu'outils (force, énergie par exemple) sont des vérités cachées que le physicien a découvertes ou si, au contraire, elles ne sont que des chimères créées pour leur efficacité.*

*Pour terminer, on s'interrogera sur la meilleure façon d'enseigner la physique.*

# Table des matières

<b>A-I Qu'est-ce que la physique ?</b>	<b>1</b>
1 Du mythe à la science. . . . .	4
2 La vérité en mathématique. . . . .	4
3 La vérité en physique. . . . .	5
4 Les qualités d'une bonne théorie. . . . .	6
5 Les concepts introduits en physique. . . . .	8
6 Enseigner la physique. . . . .	9

## 1 Du mythe à la science.

Au début sont les phénomènes<sup>1</sup> au sens grec du terme, c'est-à-dire les choses qui nous apparaissent, la course du soleil, la course et les phases de la Lune, l'alternance des saisons, les éclipses, la chute des corps, la pluie, le gel, le vent, etc.

Les plus notables sont ceux qui présentent une certaine régularité parce qu'ils provoquent des interrogations sur leurs causes ; ceux que j'ai pris en exemple ci-dessus en font partie. Les premières explications dans l'histoire de l'humanité, relèvent du mythe : Apollon-Phébus tirant le char solaire chez les Grecs, un puma dévorant le Soleil lors des éclipses chez les Incas, etc.

Les premières tentatives de rationalisation sont essentiellement l'œuvre des philosophes grecs et ne sont pas encore scientifiques. Le monde est gouverné, par exemple<sup>2</sup>, par des principes d'harmonie ; selon PYTHAGORE, les distances des planètes à la Terre sont liées aux intervalles musicaux ; selon ARISTOTE, si un corps tombe, c'est qu'il est de nature terrestre et tend ainsi à revenir à sa place. Ce type de vision est *téléonomique*<sup>3</sup>, c'est-à-dire que la nature évolue dans un but, qu'elle a un projet, qu'elle tend vers un futur, on est encore loin de la causalité.

La physique naît et devient science en une courte période s'étalant sur les XVe et XVIe siècles, avec quatre noms majeurs : COPERNIC, puis GALILÉE et KEPLER, contemporains, et enfin NEWTON. Il s'agit désormais de trouver les règles du jeu cachées<sup>4</sup> dont les phénomènes résultent en une relation de cause à effet. La physique a dès lors déjà son double visage, un visage expérimental pour dégager les régularités et mettre en évidence des lois expérimentales et un visage logique et déductif pour montrer comment ces lois expérimentales résultent de lois mathématiques à découvrir et que l'on élèvera au rang de théorie (lois de la dynamique et loi de gravitation).

Cette façon d'expliquer les phénomènes à partir d'une relation de causalité (« les mêmes causes produisent les mêmes effets ») montre à l'évidence que la physique ne peut s'intéresser qu'à ce qui est reproductible. Ce n'est que si une expérience, menée dans des conditions rigoureusement identiques, conduit systématiquement au même résultat que l'on peut proposer une explication dans le cadre de la physique.

## 2 La vérité en mathématique.

La vérité en mathématique ne relève que de la logique formelle.

---

1. En allant à l'essentiel, *phainô*=je montre ; au moyen (ça correspond plus ou moins à notre forme pronominale), *phainomai*=je me montre ; au participe passé moyen, *phainomenos*=montré ; le neutre pluriel de ce participe passé (moyen) devient un nom si l'on ajoute l'article (c'est typiquement indo-européen) donc *ta phainomena*=les choses qui se sont montrées.

2. Il ne s'agit pas ici de faire un panorama de la pensée grecque.

3. du grec *telos*=la fin, le but et *nomos*=la loi (entre autres).

4. un peu comme les jeux vidéo, mais en bien plus passionnant.

Les affirmations sont notées par des majuscules ( $A, B$ , etc.), leur contraire par un tilde ( $\tilde{A}, \tilde{B}$ , etc.). Si  $A$  désigne « la porte est ouverte »,  $\tilde{A}$  désigne « la porte est fermée ».

Il y a deux opérateurs binaires fondamentaux, le « et », noté  $\wedge$  ( $A \wedge B$  est vrai veut dire que  $A$  et  $B$  sont tous les deux vrais) et le « ou inclusif »<sup>5</sup> noté  $\vee$  ( $A \vee B$  est vrai veut dire que  $A$  est vrai ou que  $B$  est vrai, ou les deux).

Pour cet exposé, un autre opérateur binaire est essentiel, l'implication logique, notée  $\Rightarrow$ ;  $A \Rightarrow B$  signifie, dans l'usage que l'on en fait en physique, que chaque fois que  $A$  est vrai,  $B$  est automatiquement vrai.

Si on a pu établir que  $A \Rightarrow B$  et que  $B$  est vrai, que peut-on en déduire? C'est bien simple : RIEN! Prenons un exemple : admettons que nous ayons établi que quand il a plu ( $A$ ), la chaussée est mouillée ( $B$ ); je sors et constate que la chaussée est mouillée, a-t-il plu récemment? Non, mais l'arroseuse municipale vient de passer.

Si on a pu établir que  $A \Rightarrow B$  et que  $B$  est faux (et donc  $\tilde{B}$  vrai), que peut-on en déduire? Que  $A$  est faux (et donc que  $\tilde{A}$  est vrai) car sinon  $B$  serait vrai (raisonnement par l'absurde). Concluons : si  $A \Rightarrow B$  alors  $\tilde{B} \Rightarrow \tilde{A}$ , théorème de logique que l'on peut écrire :

$$(A \Rightarrow B) \Rightarrow (\tilde{B} \Rightarrow \tilde{A})$$

et que l'on appelle théorème de contraposition.

Remarque : Au vu de ce qui précède, la définition en logique de l'implication  $A \Rightarrow B$  est :  $B$  est vrai ou alors  $A$  est faux, soit

$$(A \Rightarrow B) \stackrel{\text{def}}{=} (B \vee \tilde{A})$$

### 3 La vérité en physique.

Un raisonnement déductif conduit, par exemple, de l'hypothèse qu'est la théorie de la gravitation de NEWTON qui affirme qu'une masse soumise à une force centrale en  $1/r^2$  (affirmation  $A$ ) à la conclusion que cette masse a un mouvement conforme aux lois de KEPLER (affirmation  $B$ ); donc mathématiquement on a l'implication  $A \Rightarrow B$ . L'observation des planètes montre que les lois de KEPLER sont exactes, donc  $B$  est vrai. Le physicien en déduit la théorie de la gravitation de NEWTON est correcte, donc que  $A$  est vrai. Il utilise donc

$$(A \Rightarrow B) \Rightarrow (B \Rightarrow A)$$

ce qui est absolument faux en logique.

---

5. à ne pas confondre avec le « ou exclusif » qui signifie que  $A$  et  $B$  ne peuvent être vrais en même temps comme « Il faut qu'une porte soit ouverte ou fermée » (courte pièce d'Alfred de MUSSET). Relisez aussi l'acte III scène 15 du « Mariage de Figaro » de BEAUMARCHAIS.

En toute rigueur, le théorème de contraposition, utilisé en physique, ne peut servir qu'à montrer qu'une théorie est fautive quand les faits sont en contradiction avec ses conséquences. En physique, on ne pourra jamais montrer qu'une théorie est vraie.

Ceci est dû au fait que les mathématiques raisonnent par déduction : ils partent d'un postulat et en tirent toutes les conclusions possibles<sup>6</sup>, lesquelles n'ont pas à être vérifiées par l'expérience puisque l'objet des mathématiques n'est pas le monde des phénomènes mais celui des abstractions. En ce sens, les mathématiciens sont des créateurs d'univers.

La physique, elle, raisonne par induction : si l'expérience confirme les résultats de la théorie, c'est que la théorie est vraie ; c'est contraire à la logique, mais c'est la seule démarche possible. Le monde est là devant nous, nous ne pouvons en changer et il faut en découvrir les ressorts cachés.

Ce constat est bien sûr anxiogène. La loi de gravitation entraîne que si je lâche (lâcher, pas lancer) une pomme, elle tombe ; jusqu'ici, chaque fois que j'ai lâché une pomme, elle est tombée ; mais si demain je lâche une pomme et si elle s'élève alors dans les airs, ce seul fait ruinerait d'un seul coup près de cinq siècles de théories !

Ce type de situation est déjà arrivée mais de façon beaucoup moins paroxystique. Une théorie réputée valable quand la technologie de l'époque ne permet que des mesures assez grossières peut s'avérer fautive<sup>7</sup> quand la précision augmente le siècle suivant. La réaction est alors mesurée, on ne renie pas la théorie, on essaie de l'adapter par exemple en lui ajoutant un terme négligeable<sup>8</sup> avec la précision du siècle précédent ou encore en trouvant une nouvelle théorie, différente certes, mais dans le même esprit, l'ancienne étant une approximation<sup>9</sup> de la nouvelle.

Retenons donc que le statut d'une théorie est par nature incertain ; à tout moment elle risque d'être au pire rejetée, au mieux amendée.

On comprend aussi, et il faut bien le voir en face, qu'aucune théorie n'est une explication des phénomènes car si la théorie décrit correctement les phénomènes, c'est parce qu'on l'a construite à cet effet. La théorie est fille des phénomènes et non l'inverse. Autrement dit encore, la physique ne répondra jamais à la question « pourquoi ? » ; il est simplement heureux qu'elle puisse plus ou moins bien répondre à la question « comment ? ».

## 4 Les qualités d'une bonne théorie.

Voici un certain nombre de qualités que doit avoir une théorie :

Elle doit viser l'universalité. La théorie « la pomme tombe parce que sa place est en bas »

---

6. L'unique souci des mathématiciens est qu'une des conclusions ne soit pas en contradiction avec le postulat initial.

7. Quel magnifique oxymore quand on pense à l'étymologie de « avéré » !

8. comme le « courant de déplacement » ajouté par MAXWELL aux équations de l'électromagnétisme.

9. La mécanique classique est une approximation, valable aux faibles vitesses, de la relativité restreinte d'EINSTEIN.

n'explique que la chute des corps ; la théorie de la gravitation est meilleure car elle explique aussi les orbites des astres. Les théories de l'électrostatique et de la magnétostatique sont certes de bonnes théories mais l'électromagnétisme est meilleure car elle les englobe et y ajoute les phénomènes d'induction. Le but ultime de la physique est de trouver une théorie qui explique tout ; on ne désespère pas d'y arriver un jour.

Elle doit être cohérente, c'est-à-dire ne pas avoir de conséquence en contradiction avec ses hypothèses. Ce qui a été le cas avec la première tentative d'unification des théories électrique et magnétique pour laquelle il y avait incompatibilité avec la conservation de la charge ; la correction a été apportée par MAXWELL en y ajoutant un terme improprement appelé « courant de déplacement ».

Une théorie doit permettre sa propre vérification en proposant des expériences capables d'en tester la validité qui soient autres que celles qui ont permis son élaboration. Dans le même ordre d'idée, elle doit être féconde au niveau théorique et permettre de prévoir de nouveaux faits expérimentaux non encore observés avec si possible un protocole expérimental susceptible de les mettre en évidence (rapidement si la technologie le permet, dans un avenir incertain sinon et il s'agit alors d'une *expérience de pensée*). Citons le cas de la théorie électromagnétique de MAXWELL dont on a déduit l'existence possible d'ondes électromagnétiques, dont la mise en évidence expérimentale a été obtenue vingt-trois ans plus tard par HERTZ<sup>10</sup>.

Un cas particulier est celui de théories contradictoires qui expliquent les mêmes phénomènes. Pour trancher, il faut chercher une situation expérimentale nouvelle qui donne des résultats différents dans ces deux théories, par exemple, la théorie des masses magnétiques, séduisante par sa ressemblance avec l'électrostatique, qui, bien qu'elle donnât de bons résultats presque partout, a du être abandonnée<sup>11</sup> au profit de celle des boucles de courant à cause des comportements des disques de faible épaisseur et des cylindres de faible rayon qui échangent leurs comportements dans les deux théories. Un autre exemple célèbre est la concurrence, dans la description de l'atome entre le modèle orbital de RUTHERFORD et celui de type plum-pudding de J.J. THOMSON<sup>12</sup> qui ont été départagés au profit du premier par l'expérience de RUTHERFORD.

La confrontation de théories contradictoires ne se termine pas toujours par l'abandon de l'une des deux mais par l'abandon des deux au profit d'une troisième. Les théories de la lumière en sont l'exemple-type avec une théorie ondulatoire qui prédit correctement les phénomènes interférentiels mais n'explique pas l'effet photo-électrique (existence d'un seuil de fréquence pour que la lumière puisse arracher des électrons au métal qu'elle éclaire) et une théorie corpusculaire qui, à l'inverse, explique l'effet photoélectrique mais pas les

---

10. La satisfaction a du reste été de courte durée car d'autres développements ont posé de nouveaux problèmes, la non-invariance dans un changement de référentiel galiléen et le rayonnement de l'électron dans son mouvement orbital autour du noyau, problèmes résolus respectivement par la relativité restreinte d'EINSTEIN et la mécanique quantique.

11. En fait historiquement, cela ne s'est pas passé par une mise en concurrence, qui n'est que le fruit d'une relecture. Pour ce point particulier, peu développé dans la littérature, voir le chapitre C-XII.

12. à ne pas confondre avec W. THOMSON, lord KELVIN.

interférences. Toutes deux ont été abandonnées au profit de la mécanique quantique<sup>13</sup> qui représente un photon comme un paquet d'ondes, à la fois ondulatoire et corpusculaire du fait de sa localisation spatiale.

On comprend donc ici que la physique est en perpétuelle évolution dans une dynamique fondée sur un incessant va-et-vient entre expérience et théorie ; une première expérience suggère une théorie qui propose de nouvelles expériences dont le résultat conduit à modifier ou changer la théorie qui etc.

## 5 Les concepts introduits en physique.

Je passerai rapidement sur les outils et méthodes de l'aspect expérimental et inductif de la physique qui ne présentent pas de problème majeur. Les dispositifs expérimentaux sont très variés et dépendent de ce que l'on cherche ; on commence par des bouts de ficelle et l'on finit par les technologies de pointe. La méthode expérimentale, par contre, est, si possible, toujours la même ; une fois les paramètres pertinents d'un phénomène dégagés, on les rend tous constants sauf un et l'on étudie l'influence de celui-là seul, c'est le cultissime « toutes choses égales par ailleurs ».

L'aspect théorique, de par sa présentation déductive, part de l'axiomatique de la théorie et en déduit logiquement, c'est à dire mathématiquement, toutes les conclusions possibles, celles relatives aux expériences qui ont permis d'en dégager les lois et d'autres qui conduisent à de nouvelles expériences qui valident ces lois. La physique utilise donc des concepts mathématiques pour décrire le monde. La question que l'on peut se poser est celle-ci : les concepts ainsi introduits existent-ils de façon cachée dans le monde des phénomènes ou ne sont-ils que chimères ?

Prenons l'exemple du concept de force, celle de gravitation par exemple. C'est un concept efficient, il rend compte parfaitement du mouvement des planètes autour du Soleil mais est-ce pour autant que le Soleil, distant de cent cinquante millions de kilomètres, exerce sur la Terre une action matérialisée par un vecteur ? Si l'on prend un peu de recul, l'on s'aperçoit ce concept en cache<sup>14</sup> un autre et suppose le postulat inconscient que l'action du Soleil sur la Terre, qui dépend de leurs positions mobiles, s'exerce *instantanément* sur une si grande distance et ce n'est guère satisfaisant. A ce titre, le concept de force ne peut être qu'un pis-aller ; il donne de bons résultats, mais ne peut pas être considéré comme satisfaisant pour l'esprit et ne peut donc pas être une réalité.

On a ensuite introduit la notion de champ (par exemple de pesanteur) ; le soleil crée un champ et c'est l'interaction du champ avec la Terre qui est la véritable interaction. C'est un progrès conceptuel qui ouvre la voie à de nouvelles avancées, celles de l'étude de la propagation des champs (qui sera surtout développée en électromagnétisme) ; mais en

---

13. Paradoxalement, c'est pour l'explication de l'effet photoélectrique par le concept de quantum qu'EINSTEIN a reçu le prix NOBEL et non pour ses théories de la relativité restreinte et générale, pour lesquelles il est le plus connu.

14. « cache » est plus percutant ; « sous-entend » serait plus juste.



contrepartie, il oblige à abandonner toute idée de d'instantanéité de l'interaction et donc invalide le théorème d'action et de réaction. Est-ce pour autant que ces nouveaux concepts ont une existence réelle ?

Non, puisque la théorie de la relativité générale qui dit, en très gros, que la Terre va tout droit mais dans un espace où les droites sont courbées par la présence du Soleil abandonne définitivement toutes ces notions. La conclusion est que les concepts de la physique ne sont que des outils pratiques de description du monde, mais ne sont pas le monde<sup>15</sup>.

Remarque : A l'occasion de l'exemple ci-dessus, on a dégagé le rôle pernicieux du postulat caché (en l'occurrence l'instantanéité des interactions). Un autre exemple est celui du temps : la mécanique classique suppose que le temps est indépendant de l'espace et qu'il y a un temps universel. Dès que l'on a pris conscience de ce non-dit, on a pu le contester<sup>16</sup> et mettre au point la théorie de la relativité restreinte ; mais pour que cette contestation pût avoir lieu, il a fallu que cette prise de conscience advînt.

## 6 Enseigner la physique.

La physique a un double aspect, expérimental et théorique ; l'enseignement de la physique doit être de même. Jadis, on privilégiait l'approche théorique, c'était déraisonnable ; désormais, par une réaction mal dosée, on privilégie l'expérience et c'est tout aussi déraisonnable. Que dire de plus ?

Bien sûr, évoquer la physique non pas comme une science mais comme une culture. Ecouter la première symphonie « classique » de Sergueï PROKOFIEV sans jamais avoir entendu de symphonies de Joseph HAYDN mène à coup sûr à un contresens exorbitant. De même, enseigner la physique sans donner le panorama des théories successives, en faisant croire aux élèves qu'ils vont tous seuls retrouver tout ce que les grands noms de la physique ont mis cinq siècles à élaborer, est une escroquerie intellectuelle de première classe.

Je confesse que ce cours, de par sa nature de cours en ligne, ne pourra aborder l'aspect expérimental qu'au travers de descriptions d'expériences passées. Par contre l'aspect historique sera valorisé ; j'y prends même un grand plaisir.

---

15. « La carte n'est pas le territoire » a dit Alfred KORZYBSKI, fondateur de la *sémantique générale*, à partir de sa connaissance de la relativité et de la mécanique quantique. Il a inspiré un célèbre roman de science-fiction, « Le monde des  $\tilde{A}$  » (lire non-A pour non aristotélien) de VAN VOGT.

16. Le linguiste français Oswald DUCROT, dans son ouvrage « Dire et ne pas dire », a montré que dans une phrase négative, l'on ne nie pas le présupposé. Quand on dit « Le roi de France n'est pas chauve », on nie la calvitie mais on ne nie pas la royauté. C'est un peu la même problématique.