

LA PENSÉE SCIENTIFIQUE MODERNE

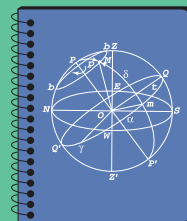
Daniel WOERHLING

La pensée scientifique moderne vise à comprendre le réel par une méthode fondée sur l'observation, l'expérimentation et la modélisation. Contrairement à l'intuition spontanée, souvent trompeuse, la science repose sur des définitions opératoires et des relations reproductibles, assurant l'objectivité. Les phénomènes sont décrits par des paramètres mesurables, aboutissant à des lois naturelles exprimées mathématiquement. Ces lois peuvent être intégrées dans des théories générales par un travail de synthèse. Le réductionnisme permet de relier les sciences entre elles, en ramenant des phénomènes complexes à des mécanismes plus fondamentaux. Le déterminisme scientifique affirme que tout phénomène a une cause explicable par des lois, même si la physique moderne en limite la connaissance parfaite (principe d'incertitude). La science, en dépassant les limites de l'intuition, libère la pensée de l'irrationnel et du mysticisme. Elle ne propose pas une vérité absolue, mais une vérité perfectible, toujours ouverte à révision. L'esprit scientifique est formel, rationnel et universel, en quête de cohérence et de compréhension globale du monde.



SOCIÉTÉ
d'ASTRONOMIE
de NANTES

Société Scientifique d'Éducation Populaire agricole Jeunesse et Sports
35, boulevard Louis Millet - 44300 NANTES - Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23
Internet : www.san.asso.fr - E-mail : san@san-fr.com



N° 25

LA PENSÉE SCIENTIFIQUE MODERNE

Daniel WOERHLING



Les Cahiers de la SAN

LA PENSÉE SCIENTIFIQUE MODERNE

Daniel WOEHLING

Édition 2011

Les « **Cahiers de la SAN** » sont édités par la Société d'Astronomie de Nantes,
Société Scientifique d'Éducation Populaire agréée Jeunesse et Sports.

35, boulevard Louis-Millet

44300 NANTES

Tél. 02 40 68 91 20 - Fax 02 40 93 81 23 - E-mail : san@san-fr.com

© Toute reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit,
sans l'autorisation de la Société d'Astronomie de Nantes, est interdite.

LA PENSÉE SCIENTIFIQUE MODERNE

La science est une démarche vers la connaissance qui seule mène à l'appréhension objective du monde. Considérée dans ses applications, elle s'identifie à l'aventure technologique dont les réalisations dans certains domaines suffiraient à démontrer sa validité. Considérée dans son esprit, il s'agit d'une véritable activité créatrice associée à la quête de l'homme pour la Vérité et qui a changé sa vision du monde et son mode de pensée.

L'approche spontanée du réel s'est très vite avérée impropre à parvenir à une connaissance objective. La méthode scientifique transcende l'intuition vulgaire née d'une perception immédiate de la nature et accorde le raisonnement à un modèle abstrait qui la contraint et la prolonge dans les domaines où elle n'a pas accès.

La science a mis longtemps à identifier sa méthode ; aujourd'hui encore l'intuition et le besoin métaphysique ou mystique tendent à introduire des distorsions dans la réflexion. L'adéquation de la science pour décrire le réel est pourtant largement démontrée. L'analyse de son mode de pensée permet de dégager des principes généralisables, prolongements et applications qui sont à la base de l'esprit Mécaniste.

Quelle est la validité de la science, autrement dit quel est son rapport avec la Réalité ? En quoi consiste la Pensée scienti-

fique et quel est son apport à l'intelligence humaine en général ? Ce sont, résumées les deux questions fondamentales abordées dans cet article.

SCIENCE ET RÉALITÉ

Pour bien saisir le rapport entre le modèle de réalité proposé par la science et la réalité elle-même, il est bon d'examiner les caractéristiques essentielles de la méthode scientifique considérée à différents niveaux, allant des faits primordiaux aux lois et à la théorie synthétique.

Cette reconstitution commode ne correspond pas bien entendu à la démarche qui conduit aux découvertes, lesquelles ne se succèdent pas l'une l'autre selon un enchaînement logique au cours de l'histoire des sciences. La science procède en fait selon un cheminement complexe partant de la vision du monde à un moment donné laquelle suscite des observations qui à leur tour modifient cette vision.

RELATIONS ET PARAMÈTRES

À travers l'aspect subjectif des phénomènes, la science commence par dégager des éléments mesurables. La définition de ces éléments comporte implicitement la description d'un procédé régulier permettant à chacun de les retrouver. Dans l'exemple le plus simple de la mesure des dimensions, on voit que l'indication de la longueur d'un objet incite tacitement à reporter autant de fois l'unité de mesure pour retrouver ces dimensions (fig. 1). De même, la vitesse est définie comme la longueur parcourue par unité de temps, l'accélération comme l'augmentation de vitesse par unité de temps, etc.

Toute définition est ainsi déjà une expérience ; la science n'utilise dans ses énoncés que de telles définitions dites *opératoires* : n'importe qui, en répétant l'opération doit aboutir aux mêmes constatations.

La Société d'Astronomie de Nantes

Résolument tournée vers le grand public, la SAN vous propose de découvrir l'astronomie ou d'approfondir vos connaissances dans ce domaine de multiples façons :

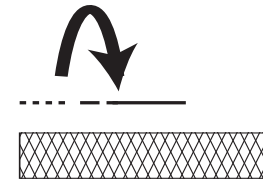
- Assister aux exposés d'astronomie présentés lors des réunions du vendredi soir, ouvertes à tous les adhérents, au local de la Société à partir de 20h30.
- Consulter ou emprunter l'un des mille ouvrages que possède le fonds bibliothécaire.
- Participer aux observations de découverte ou de perfectionnement. Vous pouvez également emprunter un instrument.
- Assister aux conférences au cours desquelles des astronomes et astrophysiciens de renom viennent présenter les derniers acquis de leurs travaux.
- Solliciter la SAN pour animer des actions pédagogiques préparées à l'attention de public scolaire ou adulte.
- Visiter les expositions auxquelles la SAN participe régulièrement.
- Apporter votre contribution à la réalisation de travaux pratiques d'astronomie tels que la mesure de la masse de Jupiter ou l'évaluation des altitudes des reliefs lunaires.
- Réfléchir et débattre des grands thèmes de la physique, de l'astrophysique et de la science en général au sein d'un groupe de réflexion théorique.
- Enfin, l'astronomie nécessitant des connaissances et des compétences multiples (en optique, mécanique, électronique, etc.), offrir un peu de votre temps pour la conception ou à la réalisation de projets astronomiques.

Pour participer à ces activités, il vous suffit de devenir adhérent.

La Société d'Astronomie de Nantes est une association fondée en 1971 et régie par la loi de 1901.

BIBLIOGRAPHIE

- E. BALIBAR et P. MACHÉREY, « *Déterminisme* », In Encyclopaedia Universalis - Vol. 5.
- J. BEAUDE, « *Mécanisme* », In Encyclopaedia Universalis - Vol. 10.
- B. COHEN, *Les origines de la physique moderne*, Petite bibliothèque Payot, 1960.
- D.-L. HULL, « *Génétique et réductionisme* », La Recherche - mars 1978.
- K. LORENZ, *Psychologie et Phylogénèse*, In « Essais sur le comportement animal et humain » Éditions du Seuil, 1954.
- K. LORENZ, « *L'envers du Miroir* » Éditions Flammarion, 1973.
- J. MERLEAU-PONTY, *Laplace : un héros de la science « normale »*, La Recherche - mars 1979.
- B. SAINT-SERNIN, « *Causalité* », In Encyclopaedia Universalis - vol. 3.
- P. THUILLIEZ, « *Le cas Einstein* » La Recherche - janvier 1979.
- P. THUILLIEZ, « *Comment est née la biologie moléculaire* », La Recherche - mai 1972.
- J. ULLMO, « *La Pensée Scientifique Moderne* », Éditions Flammarion - collection « Champs », 1969.
- L. VIENNOT, « *Les étudiants et Newton* », La Recherche - novembre 1976. Atlas de biologie, Édition Stock, 1967.

Fig. 1 - *Expérience de la mesure.*

Le caractère essentiel qui distingue l'expérience scientifique de l'expérience mystique est qu'elle peut être communiquée sans ambiguïté en raison de sa précision et de sa reproductibilité. La garantie de cette reproductibilité vient du choix des *paramètres* sur lesquels portent les définitions. Il s'agit moins de classer des faits bruts que de reconnaître dans la diversité des apparences les caractères dont il faut tenir compte. Ces entités ne sont nullement évidentes car les phénomènes naturels sont soumis à des conditions si complexes et variées que leur répétition strictement identique est improbable.

Dégager les paramètres mesurables constitue le premier effort de la science ; leur définition découle de la découverte de relations reproductibles observées à propos des objets. Dans l'exemple de la mécanique le rapport entre la force appliquée à un corps et l'accélération qu'il prend est constant. Pour des corps de même matière, cette constante est proportionnelle au volume. Elle mesure ainsi la quantité de matière contenue dans chaque corps et on l'appelle la *masse*. Le paramètre « *masse* » n'est apparu qu'à condition de mesurer des grandeurs comme l'accélération qui ne se présentaient pas naturellement à l'esprit ; l'intuition spontanée, qui pense « *matière* », « *effort* » ou « *vitesse* » ne serait pas parvenue à dégager ce paramètre. Le progrès des méthodes de mesure permet de trouver des paramètres encore moins accessibles comme le potentiel d'une pile ou la résistance électrique.

Le paramètre apparaît toujours en tant qu'élément invariable au sein de relations reproductibles. Celles-ci ne résultent pas de l'observation passive des phénomènes, mais de l'expé-

rience, sollicitation active de la nature. Les paramètres ainsi découverts sont objectifs puisqu'ils s'imposent en quelque sorte à l'expérimentateur indépendamment de sa volonté. Bien plus, les objets ne manifestent leur existence objectivement et invariablement qu'à travers de telles entités qui sont ainsi seules à exister de manière certaine, contrairement aux impressions subjectives. À l'inverse, on ne peut être assuré d'un substrat réel lorsque manquent des relations reproductibles.

Compte tenu de ce qui précède, l'objet scientifique se définit comme la partie des phénomènes observables caractérisée, dans des conditions données, par la valeur constante de certains paramètres ; autrement dit, il correspond à la réunion de paramètres. Comparé à l'objet vulgaire appréhendé de manière immédiate par les sens, l'objet scientifique est non seulement plus stable mais plus complet (fig. 2) : par rapport à l'objet vulgaire, « *fil métallique* » qui ne jouissait que de propriétés subjectives (forme, couleur, dureté, etc.), l'objet scientifique « *fil conducteur* » est constitué en plus, d'une masse et d'une résistance électrique. Il y a extension de la connaissance vulgaire par la connaissance scientifique ; le progrès des méthodes d'analyse permet d'enrichir la définition des objets par la découverte de nouvelles relations reproductibles.

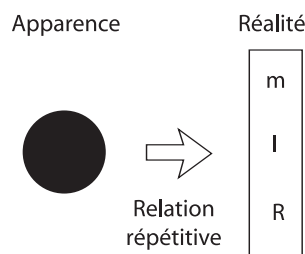


Fig. 2 - Passage de l'objet vulgaire (à gauche) à l'objet scientifique (à droite).

Nous n'avons de connaissance des objets qu'à travers les paramètres qui apparaissent au sein de ces relations et qui

préjugent pas des mécanismes et qui permettent d'emblée de sélectionner les voies possibles dans ces mécanismes.

CONCLUSION

La recherche de la vérité une et objective par la science transcende le simple critère de conformité du réel pour la prévision. Elle participe de la nature de l'esprit humain, de sa volonté de cohérence et vise à épuiser le réel. Par cette conquête, l'homme espère atteindre le point d'où il dominera toute chose. Mais la science est vérité en devenir ; la représentation du monde évolue sans cesse et nous n'appréhendons du réel que ce que nous sommes capables de comprendre. L'essentiel de la connaissance scientifique ne peut donc résider dans ses conclusions mais dans la manière de penser à laquelle elle prédispose. L'approche spontanée du réel, phylogénétiquement et ontogénétiquement déterminée, s'avère impropre à dépasser un cadre familier. La projection des représentations primaires qu'elle suscite ne peut parvenir qu'à une conception erronée de la nature et de l'homme, entachée de mysticisme et d'irrationnel. Conçue comme un moyen de libération matérielle, de domination des forces naturelles par la connaissance de leurs lois, la science fut également dès l'origine un moyen de libération intellectuelle et morale en enlevant aux hommes la crainte des dieux.

La pensée scientifique dépasse le cadre de la méthode qu'elle a créée et qui en retour est venue la renforcer ; elle féconde l'intelligence de la vision mécaniste nouvelle qui devrait être à la base de la sensibilité de l'homme moderne et se répercuter sur son activité selon une nécessaire symbiose entre la pensée et l'action. Sans la *Pensée Scientifique* l'homme contemporain retrouve le répertoire jauni de ses comportements primitifs au stade où l'évolution biologique l'avait laissé.



Ainsi généralisé et débarrassé de son aspect dogmatique puisqu'il reconnaît la relativité de la vérité scientifique toujours perfectible, l'esprit mécaniste moderne se confond intégralement en définitive avec la pensée scientifique véritable. Si malgré cela, la philosophie mécaniste tient de nos jours à rappeler ses principes, c'est afin de maintenir un regard vigilant vis-à-vis des infiltrations intuitives ou mystiques surnoises dans le discours scientifique lorsqu'il quitte le niveau expérimental. L'esprit mécaniste consiste ainsi essentiellement à rappeler que la pensée scientifique est avant tout formelle, rationnelle, synthétique et déterministe.

Étant donné que les lois fondamentales de la nature sont celles de la physique, tout phénomène ou toute loi particulière doit pouvoir se ramener, au moins potentiellement, aux lois de la physique (voir « réductionnisme »). La reconnaissance implicite de cette réduction potentielle correspond à un principe scientifique primordial qui anime toute volonté de synthèse théorique ; elle ne signifie nullement une quelconque prédominance de la physique sur les autres sciences, c'est-à-dire la soumission par exemple de tout savoir spécifique au modèle physique selon une transposition purement analogique. L'attitude réductionniste correspond simplement à une conviction d'unicité du monde, d'universalité de ses lois ; elle se fonde dans l'esprit mécaniste.

La connaissance de certains mécanismes ponctuels et l'application de principes généraux permettent dans certains cas d'approcher la complexité d'un système en proposant un modèle global quelquefois purement analogique. La fiabilité de tels modèles ne doit pas faire illusion ni certains de ses postulats être pris pour des mécanismes lesquels devront de toute manière être élucidés par l'analyse. Un exemple simple de cette fausse correspondance est fourni par le modèle d'un circuit de distribution d'eau utilisé pour illustrer les phénomènes de conduction électrique. Enfin, l'approche globale de toute structure par la théorie des systèmes peut être rangée parmi les modélisations possibles bien qu'il s'agisse plus spécifiquement de l'application de principes universels (comme les lois de la thermodynamique) qui ne

constituent la seule manifestation indiscutable de leur existence, leurs seuls éléments réels. Les manifestations les plus évidentes des objets résultent déjà d'une relation reproductible : par exemple, la partie du spectre lumineux qui se confond chaque fois avec un objet, définit la qualité *couleur* de cet objet. Pourtant les paramètres sont souvent appelés *propriétés* des objets, dénomination qui suggère l'existence d'une substance matérielle sous-jacente aux paramètres ; or, à supposer qu'une telle substance existe, elle ne se manifestera à son tour que par d'autres relations et paramètres. Les progrès de la physique ont suffisamment montré qu'à chaque fois qu'on semblait atteindre une substance ultime, celle-ci se révélait à l'analyse constituée d'autres *particules* plus ultimes encore, décrites uniquement par des relations. Il faut en conclure que les objets ne comportent aucune *substance* et que la matière elle-même n'est constituée que d'un ensemble de paramètres quantitatifs figurant dans des relations expérimentales et auxquelles peuvent se ramener les impressions qualitatives qui constituent son apparence. Si certaines propriétés, comme la forme ou la couleur, sont ressenties comme faisant partie de manière plus évidente de la constitution des objets que d'autres, comme la résistance électrique, c'est parce que les relations qui les produisent résultent d'interactions plus fréquentes pour les premières que pour les secondes. Ce degré d'évidence n'a cependant aucune relation avec un degré de réalité et la résistance électrique « *existe* » au même titre que la forme ou le poids.

La science qui, par sa méthode projette dans le monde un *réalisme opératoire*, s'oppose ainsi au *réalisme intuitif* qui confère les propriétés des objets à une substance préexistante et qui établit une hiérarchie dans la *réalité* des paramètres en vertu d'un privilège inconscient de réalité attribué au corps solide. D'où les tentatives maladroites de représentation des atomes et la perplexité devant l'éclatement successif des particules élémentaires : d'où encore l'invention d'un support élastiques, l'*éther*, pour expliquer la propagation des ondes électromagnétiques dans le vide ; or le champ électromagnétique, figure sous forme

de divers paramètres dans de nombreuses relations. Il a le même degré d'existence que la forme ou la masse des corps et il est inutile de vouloir le justifier comme une manifestation de l'existence d'un support élastique.

À cette recherche de substance solide et de représentation spatiale à propos des objets, se rattache l'interrogation sur la *nature véritable* des concepts scientifiques. On s'est longuement interrogé par exemple sur la *nature* de la lumière : ondes ou corpuscules ? Or, il n'y a dualité que tant que l'on voit dans les ondes électromagnétiques un phénomène analogue aux ondes élastiques (acoustiques par exemple) — qui résultent de la propagation de vibrations affectant les corps solides — ou dans les photons, des particules matérielles, ce qui constitue bien entendu une extension illégitime des résultats expérimentaux. De telles transpositions analogiques peuvent constituer des modèles didactiques mais sont à manier avec prudence car ils n'illustrent que certains aspects des phénomènes : les relations dans lesquels sont engagés les phénomènes électromagnétiques forment un concept scientifique tout à fait original. Le réalisme intuitif est un aspect de la pensée spontanée dont la science doit sans cesse s'affranchir par sa méthode.

LA LOI NATURELLE

Reliées entre elles par une opération purement mathématique, un ensemble de relations reproductibles génèrent une *loi naturelle* ou *loi scientifique*. Par exemple, après avoir défini la force, une série de relations montrant la constance pour un corps donné du rapport entre la force appliquée F et l'accélération prise γ , permettait de définir la masse

$$\left(\frac{F1}{\gamma1} = \frac{F2}{\gamma2} \dots = \frac{Fn}{\gamma n} = m\right)$$

et de formuler le principe (ou loi) d'inertie $F = m\gamma$.

Principe d'incertitude de Heisenberg

Nous n'avons pas d'autre moyen de connaître un objet que de le soumettre à une interaction avec un autre système. Par exemple, « voir » un objet, c'est le soumettre à un flux de photons (lumière) pour le localiser. Toute interaction est ainsi une perturbation : c'est toujours un choc, un échange d'énergie et non un simple contact ; cette notion de contact n'a d'ailleurs pas de sens en microphysique où toute action se fait forcément à distance. À cette échelle, plus la localisation d'une particule (électron, par exemple) est précise, plus la perturbation est violente puisque l'énergie du champ électromagnétique nécessaire pour la localiser augmente lorsque la longueur d'onde diminue, cette longueur d'onde déterminant le pouvoir séparateur des rayons (plus elle est grande, moins les rayons sont précis). L'énergie est reliée à la fréquence par la relation :

$$W = h \nu$$

W = énergie, h = constante de Plank, ν = fréquence

Autrement dit, plus la localisation est précise, plus l'incertitude sur la quantité de mouvement (ou la vitesse) augmente puisque la particule est d'autant plus perturbée et inversement. C'est ce qu'exprime le principe d'incertitude de Heisenberg : $\Delta p \times \Delta q \geq h$ qui montre que les incertitudes D sur la position p et la quantité de mouvement q (masse $\times$ vitesse) sont liées, c'est-à-dire que la diminution de l'une entraîne l'augmentation de l'autre. Elles ne peuvent donc être connues simultanément. En mécanique classique, macroscopique, cette perturbation par l'observateur était potentiellement éliminée par la croyance en la perfection toujours plus grande des instruments de mesure. En physique moderne, c'est un résultat expérimental concret qui a une implication philosophique fondamentale puisqu'il démontre l'impossibilité de définir l'état initial d'un système, faisant du déterminisme absolu un postulat invérifiable par nature.

fait croire, à certains, à une crise du déterminisme. En particulier, la démonstration par la science moderne de l'impossibilité ultime de connaître avec précision l'état initial d'un système (voir encadré : « *Principe d'incertitude de Heisenberg* ») fait du déterminisme absolu un postulat invérifiable par nature. Il en est résulté une confusion entre connaissance imparfaite et réalité indéterminée. La croyance en une contingence irrationnelle élémentaire inaccessible à l'esprit humain du fait de la non prévisibilité stricte des éléments ultimes, alimente une idée erronée du « *hasard* ». Transposée à l'échelle des systèmes macroscopiques (notamment en biologie), elle ouvre la porte aux infiltrations mystiques dans la pensée scientifique.

Or le hasard n'est pas dans la nature des choses. Il y a hasard simplement lorsque des conditions initiales indiscernables aboutissent à des effets séparés. Cette définition scientifique est à rapprocher à juste titre de celle que l'on admet implicitement dans les jeux dits « de hasard » où c'est la complexité des conditions initiales qui expliquent l'imprévisibilité du résultat. Elle est de nature opératoire et ne fait pas appel à l'irrationnel. Les résultats de la physique moderne n'ont fait en réalité que poursuivre l'œuvre de la construction scientifique. La raison humaine et des siècles d'investigation rationnelle ne sont pas niées. N'oublions pas que c'est l'exigence de causalité qui a permis de trouver dans la mécanique quantique une loi pour expliquer l'imperfection de la connaissance pratique.

La physique moderne, en même temps qu'elle entraîne la disparition du point matériel détruit tout support à la philosophie mécaniste primitive, basée sur l'idée d'une réduction potentielle des phénomènes aux lois du mouvement des corps macroscopiques. La pensée mécaniste contemporaine ne peut donc être une simple survivance de ce mécanisme classique. Elle n'en garde que l'essence première qui était la reconnaissance de l'universalité potentielle des lois naturelles synthétisées en une théorie unique, support d'un déterminisme absolu et universel de tout phénomène.

La loi constitue ainsi une synthèse et une généralisation des relations expérimentales qui n'avaient été établies que pour des valeurs discrètes (isolées) des éléments mesurés. En établissant une correspondance univoque entre les éléments physiques mesurables et les symboles mathématiques, la loi donne la possibilité de prévoir n'importe quelle valeur des éléments physiques en calculant la valeur des symboles correspondants. C'est pourquoi il y a science dès qu'il y a prévision possible. La loi n'est que l'expression mathématique de la validité permanente escomptée d'une relation constatée entre phénomènes naturels. Les lois ne sont pas imposées aux faits : la science ne fait que constater dans les faits les régularités qui s'y trouvent et les utilise provisoirement pour la prévision. Autrement dit, la loi est *constatative* et non normative.

La mathématisation de la nature est ainsi conforme aux faits. Par la suite, la science utilise ce matériel symbolique pour trouver, par des procédés purement mathématiques, des lois nouvelles qui sont des conséquences ou des combinaisons des lois expérimentales. Présentant obligatoirement la même validité, elles peuvent être appelées à leur tour *lois naturelles*.

LA THÉORIE

L'aboutissement du travail scientifique est l'élaboration d'une théorie générale (Fig. 3). La libre invention d'une hypothèse théorique unique qui sous-tend plusieurs lois scientifiques est un véritable acte de création par lequel l'homme anticipe sur la structure de lois plus générales et la nature de leurs paramètres. L'accumulation seule des observations n'a jamais été à l'origine d'une théorie. L'unification des lois existantes et de l'hypothèse en une loi unique est obtenue par synthèse mathématique. C'est au prix d'un travail considérable, qui l'amena entre autre à inventer le calcul intégral et différentiel, que NEWTON réussit à unir la loi de la chute des corps aux lois de KEPLER régissant le mouvement des planètes et des satellites pour établir la loi de la gravitation universelle, chef-d'œuvre unissant la

physique terrestre et la physique céleste. L'hypothèse dans ce cas était celle d'une force unique (la gravitation) gouvernant les deux séries de phénomènes.

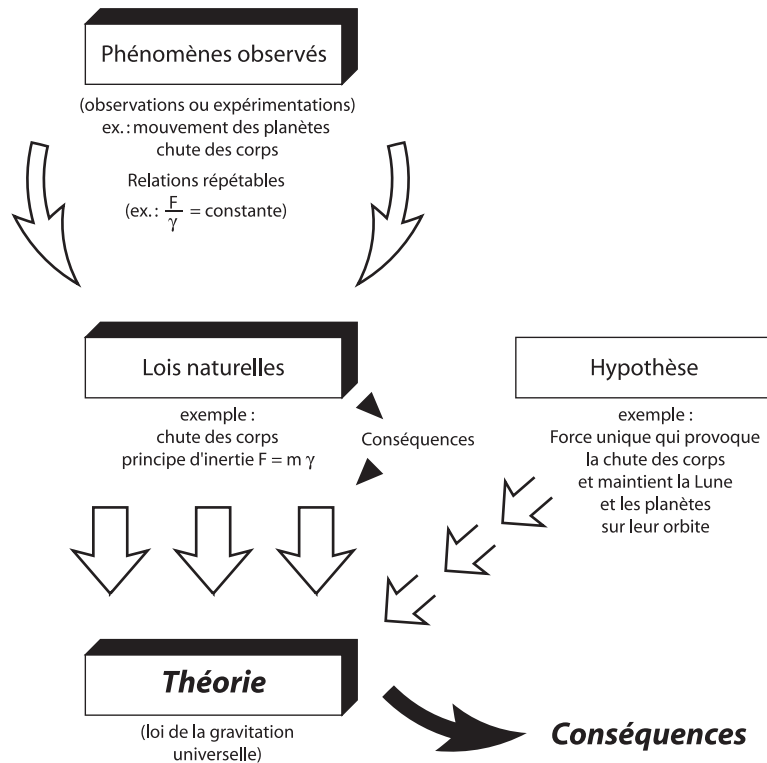


Fig.3 - Création d'une théorie

De même, de considérer les gaz comme des ensembles de molécules animées de mouvements désordonnés et s'entrechoquant telles des particules inertes (Théorie cinétique des gaz), permet de ramener la loi de Mariotte $PV = RT$ aux lois du mouvement des points matériels : la pression P correspond au choc des molécules sur la paroi, le volume V , à leur encombrement total et la température T , à leur agitation (énergie cinétique) moyenne. La loi nouvelle obtenue, plus générale, doit inclure les lois et les

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. »

L'aspect épistémologique positif de cette attitude fut une unification de la pensée. L'Univers fut enfin conçu comme un ensemble lié par l'unité de ses lois. La *causalité* fragmentaire fut remplacée par un système conceptuel de lois de la Nature, la notion de causalité substantielle remplacée par la *légalité*. La matière fut ressentie comme homogène et l'homme lui-même comme une machine.

Ainsi, en admettant l'universalité des lois scientifiques et leur application potentielle à tout phénomène, la pensée mécaniste est par essence réductionniste, principe qui avait d'ailleurs implicitement présidé à l'élaboration des lois de la mécanique par NEWTON. La validité de la vision mécaniste a été confirmée par la suite, les progrès de la biologie établissant définitivement l'identité entre le monde inanimé et le monde vivant, entre l'homme et les animaux.

Cependant, la pensée mécaniste classique, en raison de son réductionnisme dogmatique selon la mécanique macroscopique, allait à l'encontre de l'évolution de la théorie scientifique qui aboutira à la physique moderne. Déjà au cours de sa période classique, l'existence de la force de gravitation était mise en doute par certains mécanistes qui ne pouvaient concevoir d'interaction que par contact et impulsion. La physique atomique établira d'ailleurs définitivement qu'il n'y a jamais contact et que toute action s'effectue obligatoirement à distance.

Cependant, le principe du déterminisme universel, même sous l'acception mécaniste qui l'a fait naître, reste un postulat invérifiable en pratique en raison de l'impossibilité de connaître toutes les causes qui régissent un phénomène en provenance de l'Univers entier. Sa validité est cependant sans cesse affirmée par la prévision qu'autorisent les lois scientifiques successives.

Étant donné que les concepts de la mécanique macroscopique furent longtemps représentés dans l'imaginaire comme des concepts absolus, leur transformation par la physique moderne a

causalité au-delà de cette intuition correspond probablement à l'exercice physiologiquement nécessaire de la fonction cérébrale, organe cognitif humain, à l'instar de ce qu'on observe en éthologie à propos d'autres fonctions adaptatives.

La science est avant tout une méthode pour rechercher dans les phénomènes ce qui donne prise à la *causalité*. Le caractère répétitif d'une expérience dans des conditions données et la *loi naturelle* ne sont que l'expression d'une *causalité* objective, inhérente à la nature. La causalité primitive, intuitive, qui se satisfait à bon compte d'entités métaphysiques porteuses de causes, est élevée par la science en reconnaissance de la *légalité* qui ordonne le monde plus qu'elle ne l'explique : trouver la « *cause* » d'un phénomène, l'expliquer, c'est simplement le ramener à une loi naturelle connue ; il n'y a aucune « *cause* » essentielle aux faits. Le réseau toujours plus étendu de relations mathématiques entre les objets procure une grille formelle pour l'application du principe de causalité.

L'idée de *déterminisme* s'est développée en même temps que la science démontrait, par ses lois, la causalité univoque et calculable des choses ; ainsi est née la conviction que tout phénomène est l'effet de causes déterminées qui constituent ses conditions d'existence.

L'enthousiasme soulevé par la découverte des lois fondamentales du mouvement des corps et la synthèse de la dynamique terrestre avec la mécanique céleste a entraîné la réduction de ce principe général à une conception des phénomènes basés sur le modèle des lois de la dynamique macroscopique. Le texte suivant de LAPLACE donne une excellente idée de cette dogmatisation *mécaniste* de la pensée et de la généralisation *mécaniste* du principe du déterminisme : « *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*

paramètres anciens (fig. 4) et les expliquer par le fait qu'elles n'en sont que des conséquences ; la théorie doit également être conforme aux observations et vérifiée dans ses prolongements.

Lorsqu'un phénomène ne s'intègre pas aux lois existantes, on en déduit qu'il se trouve en dehors du domaine d'application des lois, lesquelles avaient été établies expérimentalement dans des conditions données. Elles doivent alors être remaniées pour aboutir à une synthèse unissant, sur des bases plus larges, un ensemble toujours plus étendu de faits. C'est ainsi que la loi de Mariotte $PV = \text{constante}$ pour une température fixe devient $PV = RT$ pour des températures quelconques. De même les objets de la microphysique et l'univers de la relativité ont étendu les lois de la mécanique de NEWTON qui restent valables aux faibles vitesses et à notre échelle. Les aspects en apparence contradictoires de « *la réalité traduisent simplement l'insuffisance des notions acquises* ».

Chacune des représentations successives de la théorie est plus vraie que les précédentes : son degré d'approximation et de cohérence est plus élevé, sa puissance de prévision plus grande et plus complète. Elle couvre une proportion plus importante de phénomènes car plus le nombre de lois et paramètres fondamentaux se réduit, plus leur champ d'application s'étend. Les lois et paramètres ultimes auxquels on parvient représentent l'état des connaissances à un moment donné. Conditionné en partie par les possibilités technologiques (méthodes de mesures, moyens d'observation), le progrès de la théorie vise aussi à étendre ces possibilités et suscite de nouvelles observations. C'est de cette rétroaction continue entre l'observation et la vision du monde à un stade donné de la science, que celle-ci puise son inspiration.

Le caractère progressif et révisable de la vérité scientifique, dû au fait que les lois et paramètres fondamentaux évoluent sans cesse, lui enlève tout caractère métaphysique. Tout dogmatisme, toute prétention à une vérité absolue, à une exactitude définitive des énoncés scientifiques, doit être écartée. Toute vérité scientifique est relative en ce sens qu'elle dépend de l'état général des

connaissances au moment où elle est énoncée et qu'elle est limitée aux conditions dans lesquelles elle a été établie. La théorie scientifique se propose simplement de donner des portions les plus étendues possibles de la nature, une représentation adéquate en établissant une correspondance exacte entre l'ensemble des phénomènes étudiés et un système cohérent de lois mathématiques (les mathématiques ne sont cependant que l'outil de la théorie). Cette modélisation du monde ne doit pas être vue simplement comme une langue bien faite concordant avec des faits dont la *nature* véritable nous échapperait. Cet aspect du *positivisme* témoigne implicitement de la croyance en une substance, cachée sous les relations et les paramètres.

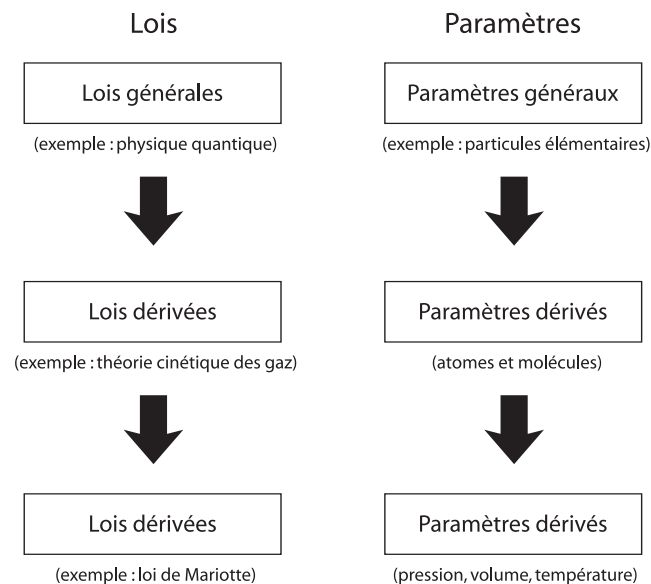


Fig. 4 - Hiérarchie des lois et paramètres

des rapports spatiaux. L'homme a ainsi acquis la faculté d'imaginer l'espace environnant et d'effectuer mentalement l'action avant de mettre en œuvre son activité motrice. Les actes de pensée les plus complexes sont issus de cette fonction originelle constituée par des opérations détachées de l'activité motrice et situées dans un espace mentalement représenté. Cette structuration de l'esprit, phylogénétiquement déterminée, fait que l'espace sert de modèle aux rapports abstraits. Elle explique aussi la recherche intuitive de substance et de représentations géométriques pour imaginer les paramètres abstraits des lois naturelles ; elle explique enfin la présomption dominante de réalité attribuée au corps solide et la notion de réalité absolue, tous éléments du cortège métaphysique.

La désignation du cercle et de la sphère comme figures « parfaites », les tentatives de KEPLER puis de DESCARTES pour soumettre l'Univers à un modèle géométrique absolu, sont autant de démarches qui dérivent de cette tendance ; à l'inverse de la méthode scientifique, elles veulent soumettre l'Univers aux mathématiques et non l'inverse.

Ces limites de la pensée intuitive spontanée n'ont pas grande incidence sur l'exactitude des prévisions simples, nécessaires à la vie primitive dans un environnement macroscopique. Elles représentent le stade atteint dans la sélection naturelle de l'appareil cognitif humain, adapté à une certaine réalité objective. Leur dépassement par la science repose le problème de sa conformité au réel dans les aspects non directement accessibles à l'appréhension du monde par les sens. Seul alors le critère de reproductibilité des paramètres abstraits dans les relations expérimentales et la prévision permise par les lois matérielles et la théorie garantissent l'exactitude de l'édifice scientifique ; ils démontrent du même coup la validité du raisonnement logique cristallisé par les mathématiques.

Dire que la science est conforme à la réalité et permet la prévision ne suffit pas à expliquer la quête de l'homme vers une vérité qui dépasse sa compréhension immédiate du monde. La tendance qui incite la raison à entreprendre une recherche de

Cette constatation ruine bien entendu toute tentative de fonder la connaissance sur des « *évidences premières* » intuitives (la règle de l'évidence de DESCARTES est fausse) et rend suspecte toute science purement introspective. Les faits primordiaux et les lois naturelles qui en dérivent ne sont nullement évidents par eux-mêmes ni susceptibles de démonstration. Si certains phénomènes comme la chute des corps nous paraissent évidents (dans l'ancienne physique, on disait que le « *mouvement naturel* » des corps pesants était de tomber), c'est à cause de leur fréquence dans l'expérience triviale. La chute des corps n'est pourtant en elle-même pas plus « *évidence* » que l'attraction entre les planètes et le Soleil qui résulte de la même loi ; l'intuition seule nous inclinerait plutôt à penser que les peuples des antipodes tombent.

Compte tenu des faiblesses de l'esprit dont témoigne l'intuition, on peut douter de la validité de la science et même de l'existence du monde : ce dernier n'est-il pas pur produit de l'imagination ou encore, s'il existe, n'est-il pas totalement déformé par les sens et la perception ?

Seule l'analyse phylogénétique effectuée par l'éthologie comparée a permis de résoudre ce problème philosophique fondamental. Le cerveau doit être considéré comme un organe d'adaptation de l'homme à son environnement ; comme tel, sa structure a évolué par sélection naturelle pour répondre à certaines caractéristiques objectives de l'Univers ; il s'est formé au contact des choses. La perception, la connaissance intuitive et le raisonnement logique correspondent à certains aspects de la structure réelle du monde. Pour l'individu, les notions intuitives de causalité, substantialité, etc. sont antérieures à toute expérience, condition du reste nécessaire pour rendre toute expérience possible.

Les limitations de ce système intuitif dans l'appréhension du réel sont dues à l'environnement (macroscopique) et au mode de vie (arboricole) particulier qui a accompagné l'évolution de l'homme. Ces conditions ont déterminé une appréhension du monde selon un modèle spatial ; en effet, la préhension des branches nécessite une connaissance préalable très précise

RÉDUCTIONNISME

Toute discipline scientifique établit d'abord des lois particulières à son domaine ; celles-ci, par les progrès de l'analyse et de la théorie, deviendront progressivement des lois dérivées de lois plus générales, d'abord du même domaine, puis de domaines plus fondamentaux. C'est ainsi qu'au sein de la biologie, la physiologie s'explique par la biochimie (interactions moléculaires, molécules et ions provoquant des phénomènes électrochimiques ; *potentiels d'action* qui provoquent à leur tour des interactions moléculaires ; contraction des fibres musculaires) ; la biochimie à son tour s'explique par la chimie laquelle enfin se ramène à la physique (particules élémentaires). La réduction du nombre de phénomènes considérés comme indépendants par rattachement à des phénomènes plus généraux qui les expliquent, constitue typiquement un travail de synthèse théorique. Ainsi, en biologie la théorie chromosomique de l'hérédité a-t-elle permis de réduire de nombreux types différents d'hérédité — monohybridisme, polyhybridisme, hérédité liée au sexe, etc. — à un seul mécanisme : le remaniement des chromosomes lors de la méiose. De même, les notions dérivées des règles empiriques de la transmission des caractères héréditaires comme *dominance*, *récessivité*, *épistasie*, *pléiotropie* qui désignent différentes variantes de l'expression des gènes, sont toutes réductibles à un mécanisme unique : la présence ou l'absence des gènes sous leur forme normale (voir encadré).

De nombreux exemples de réduction peuvent être cités, soit au sein d'une même discipline (réduction de la mécanique classique à la mécanique quantique) soit entre plusieurs disciplines (réduction de la psychologie à la neurophysiologie et à l'éthologie). Les recherches interdisciplinaires sont souvent d'une grande fécondité en favorisant une rupture avec l'académisme.

La croyance en la réduction potentielle des phénomènes particuliers à un seul ou un petit nombre de mécanismes généraux constitue le principe du *réductionnisme* admis implicitement dans toute analyse causale. Généralisé, ce principe conduit

au rattachement progressif de toute science particulière aux sciences générales, hiérarchisation que l'on peut grossièrement schématiser en considérant le contenu global de chaque discipline sans tenir compte des subdivisions (ci-dessous). Il est évident, qu'au moins potentiellement, toutes les lois particulières pourront être rattachées à celles de la physique qui sont les plus générales et qui comportent les paramètres les plus généraux.

Paramètres	Populations humaines	Individus humains	Molécules Organismes Populations	Ions Atomes Molécules	Particules élémentaires
Domaines d'étude	Sociologie	Psychologie	Biologie	Chimie	Physique
Généralité croissante (réduction) →					

L'intuition immédiate nous suggère encore que de deux sphères de taille-identique, lâchées simultanément, la plus lourde atteindra le sol en premier bien que l'expérience montre qu'elles arrivent en même temps (Fig. 6).

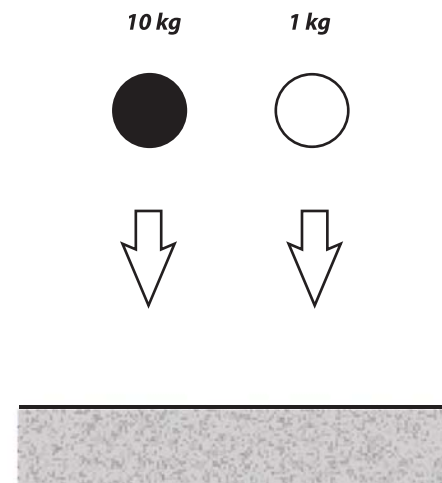


Fig. 6 - Chute de deux sphères de poids différents.

Une grande partie de la physique ancienne (Aristotélicienne) était bâtie sur une certaine logique mais à partir d'éléments intuitifs, l'expérimentation restant sommaire et non systématiquement invoquée. De ce fait, les observations astronomiques et les expériences de GALILÉE, loin de constituer une simple amélioration des théories préexistantes, ont entraîné un changement total de la vision du monde et l'entrée de l'humanité dans l'ère scientifique moderne. L'ancienne physique est encore celle du « *bon sens* » que l'on évoque souvent à tort pour désigner une approche réaliste. Or l'intuition n'est pas toujours objective ; à sa composante phylogénétique (voir plus loin) s'ajoute une composante ontogénétique : elle est le prolongement de raisonnements pratiqués dès l'enfance à propos d'un monde macroscopique familier. L'intuition s'accompagne toujours du sentiment de l'évidence.

fondamental, simple du point de vue formel et abordé dès l'enfance dans l'expérience quotidienne. L'intuition y établit une relation directe entre force et vitesse plutôt qu'entre force et accélération. Dans l'exemple ci-contre (fig. 5) d'une balle lancée vers le haut et considérée à quatre moments de sa trajectoire, l'intuition voit quatre *forces* différentes proportionnelles à la vitesse (nulle en 3) et dirigées dans le même sens qu'elle. Or, seule la pesanteur (force de gravitation) agit sur la balle une fois qu'elle est lâchée ; cette force est identique dans les quatre cas. Ainsi, pour l'intuition un mouvement s'explique par une force de même sens et l'absence de mouvement par l'absence de force selon une loi de la forme $F = k V$. Or, expérimentalement, seule une modification de vitesse traduit l'action d'une force, l'absence de force entraînant une vitesse nulle ou uniforme, résultat contenu dans la loi d'inertie $F = m\gamma$.

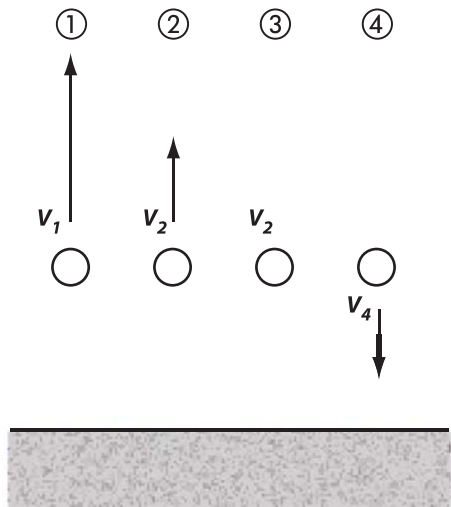


Fig. 5 - Balle lancée en l'air vue à quatre moments différents (les flèches représentent la grandeur et la direction de la vitesse V).

Réductionnisme en génétique

• Un exemple simple montrera la correspondance entre les concepts empiriques de la génétique formelle (« Mendélienne »), qui passent encore souvent pour des mécanismes, et les mécanismes réels sous-jacents (génétique moléculaire). Chez le petit pois, il existe trois types génétiques possibles correspondant à trois types de graines, situation schématisée ci-dessous.

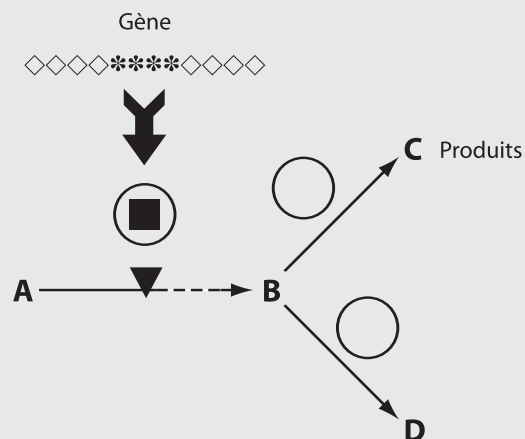
Génotype			
	Les deux chromosomes portent le gène fonctionnel normal	Un seul chromosome porte le gène fonctionnel normal	Aucun chromosome ne porte le gène fonctionnel normal
Quantité d'enzyme synthétisée	 100 %	 50 %	 0 %
Caractère principal Forme du tégument des petits pois	Lisse	Lisse	Ridé
Caractère secondaire Forme des grains d'amidon	Normale	Anormale	Anormale

On voit d'abord que ce que l'on appelait « gène déterminant le caractère ridé » (ou « gène ridé ») en génétique classique, correspond en réalité à l'absence de « gène lisse » fonctionnel. La dominance du « gène lisse » sur le « gène ridé », par voie de conséquence la récessivité du second, n'est pas due à une influence directe mais au fait qu'une seule dose d'enzyme suffit à induire un tégument normal.



Par ailleurs, la génétique classique s'attache arbitrairement aux caractères les plus visibles ; si le caractère retenu avait été la forme des grains d'amidon, le « gène *ridé* » aurait été reconnu dominant pour induire une forme anormale des grains d'amidon. Un exemple voisin de cette situation est constitué par le déterminisme du bec de lièvre.

Enfin, le gène considéré intervenant dans l'expression de plusieurs caractères à la fois, il est dit *pléiotropique* ; cela s'explique par le fait que l'enzyme dont il dirige la synthèse est situé en amont d'une fourche métabolique.



Son absence peut de ce fait bloquer plusieurs chaînes de biosynthèse à la fois. Un blocage en amont d'une chaîne métabolique rend bien entendu inutile l'action des gènes codant pour des enzymes situés en aval. C'est ce qui se produit par exemple dans l'albinisme où une seule réaction de la chaîne de synthèse de la mélanine est bloquée par absence de l'enzyme correspondant. Un tel phénomène est appelé *épistasie* en génétique classique.

Le réductionnisme témoigne d'une volonté de synthèse analogue au principe actif qui mène à la théorie. Les lois et axiomatiques élaborées à un niveau particulier gardent cependant toute leur validité à leur niveau : la mécanique de NEWTON est toujours applicable à un vaste ensemble de phénomènes. Le réductionnisme permet simplement, par la connaissance de mécanismes sous-jacents aux phénomènes, d'éviter dans les raisonnements simplifiés ou analogiques nécessaires, de suggérer des réponses fausses sous une apparence d'exactitude.

SCIENCE ET PENSÉE

La science est un produit de l'intelligence humaine. Si ce produit est conforme à la réalité, c'est parce que, contrairement aux constructions mystiques, il intègre dans le raisonnement les éléments parfaitement objectifs que sont les paramètres des relations reproductibles et que l'homme n'a pas choisis. L'objectivité de la théorie élaborée après confrontation de l'observation avec la spéculation intuitive est garantie par la vérification de ses conséquences lointaines par l'expérience ou l'observation.

L'INTUITION

Lorsque la science utilise l'intuition, c'est au niveau de l'hypothèse et de manière contrôlée. La vision du monde qui régnait avant l'avènement des sciences expérimentales montre l'inaptitude de l'intuition primaire seule à parvenir à une connaissance objective de la réalité. La pensée vulgaire, intuitive, explique la nature par une série de représentations spontanées inexactes (critère d'évidence). Or, trouver la cause d'un phénomène c'est en définitive le ramener à une loi naturelle connue qui n'a rien d'évident. Cette attitude formaliste caractérise la pensée scientifique.

L'écart entre les raisonnements intuitifs et la réalité objective établie par la science peut être illustré par quelques exemples tirés du domaine de la mécanique qui est à la fois