

Russell : *The Scientific Outlook*

TABLE DES MATIÈRES

I.	Séance 1	4
I.A	Considérations administratives	4
I.B	Biographie chronologique rapide de Russell	4
I.C	<i>The Scientific Outlook</i>	6
I.D	Chapitre I : <i>Scientific Knowledge</i>	6
I.E	Séance de TD	7
I.E.1	Texte à analyser : identifier le mouvement et la thèse du texte	7
I.E.2	Commentaires	8
I.E.3	Remarque méthodologique	8
II.	Séance 2	9
II.A	Vocabulaire et histoire	9
II.A.1	Axiome	9
II.A.2	<i>Method of deduction</i>	9
II.A.3	A propos d'Alexandrie	9
II.B	La science arabe	9
II.C	La révolution scientifique européenne	10
II.C.1	Les grandes étapes du développement des sciences de la nature	10
II.C.2	La Renaissance selon Russell	11
II.D	La méthode scientifique	12
II.D.1	Présentation de Galilée	12
II.D.2	La méthode scientifique chez Galilée	13
II.E	TD	14
II.E.1	Texte et commentaires	14
II.E.2	Rédaction d'une introduction en live	15
III.	Séance 3	17
III.A	Revenons sur l'expérience de la tour de Pise	17
III.B	Un autre exemple de la méthode chez Galilée	17
III.B.1	La corde de Venise	17
III.B.2	Le « vêtement d'idée » selon Husserl et Coyré	18
III.B.3	La véritable visée de Russell	18
III.C	Le contexte historique	18
III.C.1	L'éloignement entre philosophie et sciences	18

III.C.2	Les objectifs de Russell	19
III.D	TD	20
III.D.1	L'abjuration forcée de Galilée	20
III.D.2	Foi et savoir	21
III.D.3	Qualités sensibles des corps (non étudié à cette séance)	23
IV.	Séance 4	24
IV.A	Newton	24
IV.A.1	Naissance	24
IV.A.2	La réalisation de la méthode	24
IV.A.3	Les trois lois du mouvement	25
IV.A.4	Force et attraction	26
IV.B	TD	28
IV.B.1	Texte et premières remarques	28
IV.B.2	Commentaires sur le début du texte	28
IV.B.3	Commentaires à partir de « <i>Though Newton ...</i> »	29
IV.B.4	Démonstration de la troisième loi de Kepler	29
V.	Séance 5	30
V.A	Biologie	30
V.A.1	Premier extrait : le rôle de Darwin dans les sciences modernes	30
V.A.2	Deuxième extrait	31
V.A.3	Retour au second texte	33
V.B	TD	34
V.B.1	Texte	34
V.B.2	Jusqu'à « <i>before believing it</i> »	34
V.B.3	Passage de fin de <i>L'origine des espèces</i>	36
VI.	Séance 6	38
VI.A	Fin du développement sur Darwin	38
VI.A.1	Lamarck	38
VI.A.2	Diderot	38
VI.A.3	Pavlov	39
VI.B	TD	39
VI.B.1	Texte	39
VI.B.2	Commentaires	39
VI.B.3	Comparaison entre la physiologie et la physique	40
VI.C	Chapitre II : Caractéristiques de la méthode scientifique	40
VI.C.1	Un rappel	40
VI.C.2	Faits et hypothèses	41

VI.D	Texte non étudiés lors de la séance	42
VII.	Séance 7	43
VII.A	Retour sur le texte précédent	43
VII.B	L'intégration progressive de théories : cas de la gravité	44
VII.B.1	Texte	44
VII.B.2	La nature de la force de gravitation	44
VII.B.3	Retour au texte	45
VII.C	Lobachevsky et Einstein	45
VII.C.1	Géométrie non euclidienne	45
VII.C.2	Extraits des <i>Nouveaux principes de la géométrie</i>	46
VII.C.3	Les trois possibilités de l'espace	46
VII.D	TD	47
VII.D.1	Texte	47
VII.D.2	Thèse et mouvement	47
VIII.	Séance 8	48
VIII.A	Le fait significatif/signifiant	48
VIII.B	La physique comme modèle de la méthode scientifique	49
VIII.C	L'approximation en sciences	49
VIII.D	TD	50
VIII.D.1	Rappel des consignes pour le devoir	50
VIII.D.2	Texte	50
VIII.D.3	Thèse et mouvement	50
VIII.D.4	Explications scientifiques	50

I. SEANCE 1

I.A Considérations administratives

Groupe mixte L1/L2/L3, notation **différentiée**. Les travaux seront essentiellement des **commentaires** de textes. En cas de problème pour faire un travail, prévenir à **l'avance** !

Contenu, méthode, histoire et philosophie des sciences, Russell.

I.B Biographie chronologique rapide de Russell

- × **1872** Naissance le 18 May à Ravenscroft, Pays de Galles.
- × **1890** Trinity College, Cambridge : mathématiques appliquées et physique théorique
- × **1896** publication de *Logic of Geometry* étude des théories de Georg Cantor. Aux Etats-Unis en octobre. En décembre, puis publication de *German Social Democracy*.
- × **1897** Revue du livre de Louis Couturat, *De l'Infini Mathématique* (1896). Publication de sa thèse de doctorat : *An Essay on the Foundations of Geometry*.

Le **logicisme** a pour but de réduire les mathématiques à la logique. Russell trouve chez Leibniz l'idée d'une *lingua*, une caractéristique universelle de la pensée qui permettrait de traduire toutes les opérations de la pensée à une expression simple. Leibniz détermine avant le logicisme la possibilité de réduire les maths à un langage logique

- × **1899** Leçons sur G. W. Leibniz au Trinity College. Echanges avec Henri Poincaré autour de son *Essay on the Foundations of Geometry*.

Echanges avec de Poincaré, ce qui est important car ce-dernier n'a pas du tout le même avis à propos du logicisme : il est convaincu qu'on ne peut pas réduire les mathématiques à la logique, même une logique d'ordre n .

Il y a une créativité en mathématiques, et Poincaré publiera en particulier un article à propos du raisonnement mathématique, repris dans son ouvrage *La science de l'hypothèse*, avec une opposition entre les penseurs qui voient les mathématiques comme dérivées de la logique, et ceux qui pensent que les mathématiques sont irréductibles à la logique, en particulier par la créativité qui permet de formuler des arguments **synthétiques a priori**.

- × **1900** Second Congrès International de Mathématique à Paris, rencontre de Giuseppe Peano. Publie *A Critical Exposition of the Philosophy of Leibniz* en octobre. Découverte du paradoxe du plus grand cardinal, premiers pas vers la formulation des paradoxes dans la théorie des ensembles (ce qui amènera Russell à modérer son approche de la réduction des mathématiques à la logique).

Peano est un logicien qui a développé une axiomatique formelle dans laquelle il tente de trouver les conditions d'interprétation systématique de certains outils mathématiques, pour automatiser l'interprétation de certains objets mathématiques.

Leibniz est, avec Newton, l'inventeur du calcul infinitésimal, qui avait à l'époque pour but de simplifier la géométrie pour traiter automatiquement des propriétés de certains objets.

- × **1903** Publie *The Principles of Mathematics*
- × **1912** Publie *The Problems of Philosophy* puis le volume 2 des *Principia Mathematica* , ainsi que *The Philosophy of Bergson*.

Elargissement du spectre d'intérêt de Russell. A partir de là, ses productions philosophiques prennent un tour beaucoup plus général, et il sera même amené à écrire sur des choses qui ne concernent pas directement la philosophie.

- × **1913** : Publie le 3^e volume des *Principia Mathematica*. Il commence son écriture de *Theory of Knowledge* puis abandonne ce projet suite aux échanges avec Wittgenstein.

- × **1915** Publie *The Ethics of War* puis *Justice in War-Time* : évolue vers un subjectivisme moral.

On se rapproche là de la philosophie morale ou politique : Russell se consacre à la question de la guerre, car il est pacifiste qui fait entrer le rapport entre guerre et justice dans ses œuvres. Il va être de plus en plus engagé dans la dénonciation de la guerre elle-même, et publie des ouvrages qui ne sont plus réservés à un public de spécialistes.

- × **1921** En Chine, il contracte une pneumonie : la presse japonaise le dit décédé. Publie *The Analysis of Mind* et revient en Angleterre en juin. Publication par Wittgenstein du *Tractatus Logico-Philosophicus*, avec un Introduction de Russell.

On peut voir dans *The Analysis of Mind* l'anticipation de la philosophie analytique et le parti pris dans cette voie, de même que Russell est engagé en faveur de l'empirisme logique et du logicisme. Il mène alors de front une carrière d'épistémologiste des sciences, des actes et de la nature, et de philosophe politique et moral.

- × **1925** Publie *The ABC of Relativity*.

Cet ouvrage fait suite à des échanges avec Eddington et Einstein, et il donne une vision personnelle de la relativité, dans le sens restreint mais surtout général. On voit apparaître dans son œuvre de nombreux écrits qui ont pour objet le lien entre société et politiques publiques.

- × **1926** Publie *On Education*, puis *Psychology and Politics*, puis *Relativity and Religion*.
- × **1929** Il fait le compte-rendu de la publication d'Arthur Eddington, *Nature of the Physical World*. Membre du Jury de thèse Wittgenstein.
- × **1931** A la mort de son frère Franck, il devient Comte. En septembre, publication de *The Scientific Outlook* (traduction Samuel [pas Vladimir] Jankélévitch, *L'esprit scientifique et la science dans le monde moderne*, Paris : J.-B. Janin, **1947**). Participe à des actions caritatives en faveur d'écoles défavorisées.

Dans le monde francophone, *The Scientific Outlook* n'a pas retenu l'attention, mais dans le monde anglophone cela a donné à Russell un large visibilité.

- × **1932** Intervient (fréquemment) à la BBC : "Has Science Changed Society?". Il publie *Education and the Social Order*.
- × **1943** Travaille sur son *History of Western Philosophy*. Habite à Princeton, et commence un dialogue régulier avec Albert Einstein.
- × **1945** Publie aux Etats-Unis *A History of Western Philosophy*, et *Logical Positivism* à l'automne.

A partir de là, Russell sera surtout investi dans le militantisme.

- × **1950** Publie *Unpopular Essays*. Reçoit en décembre, le Prix Nobel de Littérature.
- × **1954** Séries d'émissions populaires diffusées par la BBC : "Man's Peril from the Hydrogen Bomb." Le contenu devient *The Russell-Einstein Manifesto*.
- × **1961** Publie *Fact and Fiction*, est mis à l'amende pour son activisme en faveur de la paix.
- × **1967** Publie *War Crimes in Vietnam*.
- × **1970** Russell meurt au Pays de Galles, le 2 février.

Entre son décès et maintenant, il a fallu du recul pour constater que l'œuvre de Russell n'a pas reçu en France l'accueil qu'elle méritait. Les questions posées dans ses œuvres ne sont pas évidentes et permettent de structurer notre regard sur le progrès scientifique et le développement des sciences, en particulier dans *The Scientific Outlook*.

On peut distinguer plusieurs axes dans l'œuvre de Russell :

- × Philosophie et histoire des mathématiques
- × Logique et philosophie du langage, en particulier pendant les premières années

- × Philosophie de la physique, à partir de la confrontation des idées de Russell avec celles d'Einstein, avec un versant épistémologique et un versant lié à l'activisme.
- × Philosophie politique, avec les questions de la société, de la guerre, et de l'éducation

Russell n'a jamais été pris au sérieux en France, hormis pour sa participation au débat sur le logicisme. Ses écrits les plus historiques et épistémologiques n'ont pas reçu l'accueil qu'ils méritaient, noyés dans les engagements politiques et sociaux, qui ont pris le pas, aux yeux du grand public, sur sa réflexion sur la science. Or cette réflexion sur la science a été préalable à sa réflexion sur la société.

I.C *The Scientific Outlook*

Ouvrage de philosophie de lycée, qui est cependant structurant pour Russell. La science, pour lui, est d'abord un savoir qui relie de faits particuliers sous la détermination de lois générales.

La science est un savoir actif, dans son champ d'action et dans l'espace social. Russell se questionne sur une société qui serait orientée vers les sciences.

L'ouvrage se structure en **trois temps**, qui nous donnent notre calendrier puisque nous consacrerons environ 4 séances à chacune des parties :

- × *Scientific Knowledge*
- × *Scientific Technique*, que l'on appellerait aujourd'hui critique de la technologie
- × *The Scientific Society*

Russell examine le champ ouvert par la perspective scientifique, et part l'esprit scientifique, et il formule les premières inquiétudes quant à l'*hybris* de la science comme de la technique, c'est-à-dire la puissance de domination de la nature que représentent les sciences et la techniques. Ce point occupera une partie de sa vie d'activiste, et propose un contrepoint à Husserl et Heidegger.

Il affirme aussi, ce qui est original à l'époque, qu'il y a une supériorité de ce savoir explicite et ouvert qu'est la science sur le savoir implicite et improductif qu'est l'art. Cette position n'est pas politiquement correcte de nos jours.

Snow formalise l'enjeu ici : entre les sciences et les humanités il y a eu un divorce qui s'est produit. Il y a cette idée chez Russell que la culture scientifique forme une culture à part, ce qui n'était pas évident dans les époques précédentes où, au contraire, les discours scientifiques étaient incorporés à des discours sur la nature. On parlait par le passé de philosophie mécaniste, philosophie naturelle, etc. pour parler des réflexions sur des sujets scientifique, jusqu'à Newton, que nous étudierons, qui différencie les deux. Russell s'inscrit dans la continuité de Newton, ce qui lui permet d'affirmer (explicitement ou implicitement) qu'il y a beaucoup plus d'intérêt à se tourner vers la science que vers l'art.

Les contenus épistémologiques de *The Scientific Outlook* sont relativement simples. On avait auparavant Duhem, Bachelard, Popper, qui construisent l'histoire des sciences mais aussi l'épistémologie historique, et l'apport de Russell est modeste dans le développement de cette discipline du devenir des sciences.

Cependant, c'est probablement l'ouvrage sur lequel nous devrions le plus nous concentrer, car Russell explique pourquoi il ne faut pas considérer la science de façon isolée, mais en contexte : dans sa relation avec la nature et avec la société. Ces deux thématiques sont très présentes de nos jours, alors qu'à l'époque en 1931 très peu avaient adoptés cette vision. A la fin de l'œuvre, Russell se demande ce que serait l'éducation scientifique, et adopte un point de vue dogmatique mais intéressant, qui fait cependant peur par certains aspects.

I.D Chapitre I : *Scientific Knowledge*

Interrogation globalement sur les contours, la forme et la manière de définir la méthode scientifique. Cette méthode scientifique est examinée à travers quelques exemples (Galilée, Newton, Darwin), d'où nous comprendrons l'apport de chacun à la méthode scientifique.

Scientific method, although in its more refined forms it may seem complicated, is in essence remarkably simple. It consists in observing such facts as will enable the observer to discover general laws governing facts of the kind in

question. The two stages, first of observation, and second of inference to a law, are both essential, and each is susceptible of almost indefinite refinement; but in essence the first man who said “fire burns” was employing scientific method, at any rate if he had allowed himself to be burnt several times.

Russell ne perd pas ici de temps pour définir l'objet de la discussion, il identifie deux étapes :

- × La phase d'observation (qui nous a été légué par l'empirisme)
- × L'inférence à une loi, ce qui sera appelé l'induction dans le reste de l'œuvre : nous pouvons inférer de ce que nous avons observé une propriété, qui, si elle est partagée par tous, devient une loi générale pour tous les corps que nous ne pouvons pas observer

This man had already passed through the two stages of observation and generalization. He had not, however, what scientific technique demands—a careful choice of significant facts on the one hand, and, on the other hand, various means of arriving at laws otherwise than by mere generalization. The man who says “unsupported bodies in air fall” has merely generalized, and is liable to be refuted by balloons, butterflies, and aeroplanes; whereas the man who understands the theory of falling bodies knows also why certain exceptional bodies do not fall. Scientific method, simple as it is in essence, has been acquired only with great difficulty, and is still employed only by a minority, who themselves confine its employment to a minority of the questions upon which they have opinions. If you number among your acquaintances some eminent man of science, accustomed to the minutest quantitative precision in his experiments and the most abstruse skill in his inference from them, you will be able to make him the subject of a little experiment which is likely to be by no means unilluminating. If you tackle him on party politics, theology, income tax, house-agents, the bumpiousness of the working-classes and other topics of a like nature, you are pretty sure, before long, to provoke an explosion, and to hear him expressing wholly untested opinions with a dogmatism which he would never display in regard to the well-founded results of his laboratory experiments.

I.E Séance de TD

I.E.1 Texte à analyser : identifier le mouvement et la thèse du texte

The most scientific of the Greeks was Archimedes (257–212 B.C.). Like Leonardo da Vinci in a later period, he recommended himself to a prince on the ground of his skill in the arts of war, and like Leonardo **he was granted permission to add to human knowledge on condition that he subtracted from human life**. His activities in this respect were, however, more distinguished than those of Leonardo, since he invented the most amazing mechanical contrivances for defending the city of Syracuse against the Romans, and was finally killed by a Roman soldier when that city was captured. He is said to have been so absorbed in a mathematical problem that he did not notice the Romans coming. Plutarch is very apologetic on the subject of the mechanical inventions of Archimedes, which he feels to have been hardly worthy of a gentleman; but he considers him excusable on the ground that he was helping his cousin the king at a time of dire peril.

Archimedes showed great genius in mathematics and extraordinary skill in the invention of mechanical contrivances, but his contributions to science, remarkable as they are, still display the deductive attitude of the Greeks, which made the experimental method scarcely possible for them. His work on Statics is famous, and justly so, but it proceeds from axioms like Euclid's geometry, and the axioms are supposed to be self-evident, not the result of experiment. **His book On Floating Bodies is the one which according to tradition resulted from the problem of King Hiero's crown**, which was suspected of being not made of pure gold. This problem, as everyone knows, Archimedes is supposed to have solved while in his bath. **At any rate, the method which he proposes in his book for such cases is a perfectly valid one, and although the book proceeds from postulates by a method of deduction, one cannot but suppose that he arrived at the postulates experimentally. This is, perhaps, the most nearly scientific (in the modern sense) of the works of Archimedes.** Soon after his time, however, such feeling as the Greeks had had for the scientific investigation of natural phenomena decayed, and though pure mathematics continued to flourish down to the capture of Alexandria by the Mohammedans, there were hardly any further advances in natural science, and the best that had been done, such as the theory of Aristarchus, was forgotten.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 7-8). Taylor and Francis. Édition électronique Routledge.

I.E.2 Commentaires

On remarque une certaine ironie à l'anglaise, dans l'expression "he was granted permission to add to human knowledge on condition that he subtracted from human life."

La caractéristique, qui est aussi leur problème, des grecs (pas seulement Archimède) selon Russell : leurs raisonnements se fondent sur des axiomes par déduction. Archimède, en résolvant le problème de la couronne du roi, a utilisé une méthode nouvelle pour connaître sa composition par comparaison, car il s'appuyait aussi sur des expériences.

Thèse du texte : il s'agit de dire dans quelle mesure le géomètre Archimède s'est le plus approché de quelque chose qui ressemble à une méthode scientifique comme Russell la décrit dans son ouvrage.

Un axiome c'est quelque chose que l'on pose sans avoir besoin de le prouver et à partir duquel on construit le reste du raisonnement. Cependant, on trouvera dans l'histoire de la physique des axiomes qui sont établis purement par l'expérience et qui servent ensuite de points de convergence d'un certain nombre de lois.

Dans ce texte, Russell essaie de construire la figure d'Archimède comme celle qui se situe à la limite de la conception générique que les grecs ont de la science (qui n'est pas la méthode scientifique telle que Russell l'exposait) qui combine dans ses travaux des effets de la géométrie et l'observation du comportement des corps dans les fluides.

Sur quels mouvements peut-on s'appuyer dans ce texte ?

- × Début du premier paragraphe : présentation d'Archimède comme d'un savant qui a participé à des systèmes pour la guerre
- × Fin du premier paragraphe : Archimède est aussi un penseur qui ne voit pas arriver les ennemis (de même que Pythagore ou Thalès qui étaient tombés dans un trou, en essayant d'expliquer la nature par un « vêtement d'idées » (Husserl), *ie* à l'aide d'un arsenal géométrique qui pourrait réduire toutes les qualités des corps à un certain nombre de déterminations quantitatives).

Archimède, contrairement aux géomètres et mathématiciens de talents (Pythagore, Thalès), il a une dimension d'ingénierie : il crée des dispositifs mécaniques, etc. Dans son art propre, il y a la rencontre entre le monde des formes, des Idées, et les propriétés réelles des corps. Il est à l'origine d'une tradition d'inventeurs dédiés à la guerre.

- × Début du deuxième paragraphe : Archimède s'appuie certes sur des axiomes

Russell note une rupture avec ses prédécesseurs : "At any rate, the method which he proposes in his book for such cases is a perfectly valid one, and although the book proceeds from postulates by a method of deduction, one cannot but suppose that he arrived at the postulates experimentally" On ne peut que supposer qu'il a procédé expérimentalement pour prouver son axiome de départ des corps flottants. Cela amène Russell à dire : "This is, perhaps, the most nearly scientific (in the modern sense) of the works of Archimedes"

- × On peut séparer le deuxième paragraphe à "pure gold", car jusque-là on ne sent pas qu'Archimède va se rapprocher de la science moderne.
- × A partir de "Soon after his time", Russell décrit le déclin de la science grecque : Archimède a peut-être été un des derniers à user des mathématiques pures. Le mouvement se fait sous l'influence d'autres civilisations vers une étude de la nature beaucoup plus ouverte.

Aristarque de Samos : c'est l'un des plus grands astronomes grecs, ses constructions astronomiques étaient très mathématiques. Très peu de temps après Archimède, après la civilisation grecque qui a dominé par la géométrie, cette manière d'interroger la nature s'est désagrégé, au point qu'il en a été oublié (nous dit Russell à la toute fin).

I.E.3 Remarque méthodologique

Le commentaire de texte est linéaire, mais pas totalement interne. Si par exemple on pense que Aristarque n'a pas été oublié, alors on peut utiliser des arguments extérieurs pour prouver qu'il a été très influent (ses travaux ont été utilisés par la suite par une lignée d'astronomes arabes puis médiévaux pour construire des représentations modernes du système solaire).

II. SEANCE 2

Il s'agissait de connaître la nature de la **méthode scientifique**, mais aussi la manière dont on est parvenu à l'élaboration de cette méthode. Il est dit ici d'Archimède, outre l'usage de son art pour la guerre, qu'il est, comme tous les grecs, tourné vers la géométrie (il est connu à travers des livres de géométrie).

II.A Vocabulaire et histoire

II.A.1 Axiome

Axiome : postulat (de *postulatum*, ce qu'on pose) fondamental et à partir duquel tout va être déduit. *Axioma* c'est une proposition que je choisis comme point de départ de ma réflexion.

À côté des axiomes, il y a des données et des règles de formation. On ne demande pas de démonstration de l'axiome, il sert à démontrer.

En philosophie classique on parle de demande : l'axiome est une proposition dont je demande que vous l'admettiez.

Archimède s'est approché de la méthode car il a combiné des éléments purement mathématiques avec des données phénoménales, et ce mélange est assuré par la construction d'engins (de guerre en l'occurrence) pour lesquels on traduit concrètement un certain nombre de forces.

II.A.2 *Method of deduction*

C'est la méthode de déduction, qui est le fait de mener une opération à partir de termes connus vers une proposition qui est vraie en raison de la preuve précédente. La déduction est le fait de passer d'une proposition à une autre par un certain nombre de règles, d'une proposition vraie à une autre proposition vraie en vertu des opérations qui ont été appliquées.

Dans la déduction, on raisonne **a priori**, contrairement au mouvement d'induction (généraliser l'observation qui est faite). "The two stages, first of observation, and second of **inference to a law**, are both essential, and each is susceptible of almost indefinite refinement; but in essence the first man who said "fire burns" was employing scientific method, at any rate if he had allowed himself to be burnt several times."

II.A.3 A propos d'Alexandrie

Alexandrie, après la domination romaine, est passée par différentes mains, en particulier les Perses, mais à partir de 642 elle passe sous domination musulmane et ne retombera plus jamais entre les mains des chrétiens (ni d'Orient ni d'Occident). C'est à partir de cette époque que se développe une science arabe spécifique à la sphère d'influence d'Alexandrie, liée à la présence de nombreux savants entre le VIII^{ème} et le XII^{ème} siècle : c'est l'âge d'or de la science arabe.

À la science des Grecs, qui procédaient (trop ?) par déduction même lorsqu'elle avait affaire aux sciences naturelles, a succédé la science grecque, sur laquelle nous allons nous pencher.

Remarque : chercher sur internet ce qui concerne le roi Hiéron en cas d'oubli

II.B La science arabe

The Arabs were more **experimental** than the Greeks, especially in chemistry. They hoped to transmute base metals into gold, to discover the philosopher's stone, and to concoct the elixir of life. Partly on this account chemical investigations were viewed with favour. Throughout the Dark Ages it was mainly by the Arabs that the tradition of civilization was carried on, and it was largely from them that Christians such as Roger Bacon acquired whatever scientific knowledge the later Middle Ages possessed. The Arabs, however, had a defect which was the opposite of that of the Greeks: they sought detached facts rather than general principles, and had not the **power of inferring general laws from the facts** which they discovered.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 8-9). Taylor and Francis. Édition électronique Routledge.

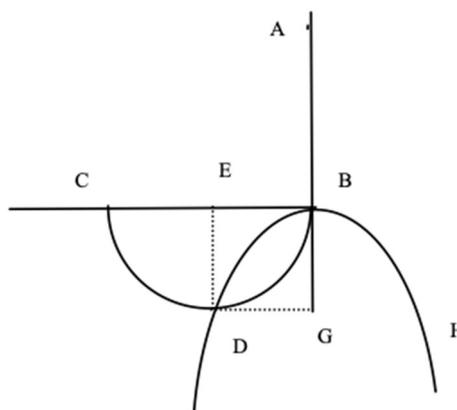
Cette science arabe est opposée à celle des grecs car ils se reposent sur des expériences et non des lois générales, mais il manque cette capacité d'extraire une loi générale de ces expériences.

Cependant, la science arabe n'est pas du tout ce que Russell en dit là : il n'est pas mention de l'astronomie d'observation, ni des théories mathématiques qui font suite à l'*Almageste* de Ptolémée, un demi-millénaire après lui.

Exemple : *Traité algébrique*, Al-Khayyâm (1048-1131)

Ce mathématicien était capable de résoudre les équations algébriques suivantes, à l'aide de courbes :

- Equation 3 : $x^3 = c$
- Equation 13 : $x^3 + bx = c$
- Equation 14 : $x^3 + c = bx$
- Equation 15 : $x^3 = bx + c$
- Equation 16 : $x^3 + ax^2 = c$
- Equation 17 : $x^3 + c = ax^2$
- Equation 18 : $x^3 = ax^2 + c$
- Equation 19 : $x^3 + ax^2 + bx = c$
- Equation 20 : $x^3 + ax^2 + c = bx$
- Equation 21 : $x^3 + bx + c = ax^2$
- Equation 22 : $x^3 = ax^2 + bx + c$
- Equation 23 : $x^3 + ax^2 = bx + c$
- Equation 24 : $x^3 + bx = ax^2 + c$
- Equation 25 : $x^3 + c = ax^2 + bx$



Ahmed Djebbar, *L'algèbre arabe : Genèse d'un art*, Paris : Vuibert/Adapt, 2005

A travers l'intersection entre le plan et des surfaces coniques, et la projection d'un certain nombre de points qui forment les solutions des équations considérées, on a au XI^{ème} siècle des travaux qui anticipent les travaux de Descartes sur la géométrie algébrique.

Russell a donc une façon de présenter la science arabe qui doit nous alerter. En effet, son texte présente un ensemble de simplifications ayant une valeur principalement pédagogique. Plutôt que d'entrer dans la complexité des ramifications de la science arabe, il fait le choix de simplifier les sciences antérieures à la méthode scientifique afin de montrer ce qui l'intéresse vraiment, à savoir la première unification des deux tendances dans l'œuvre de Galilée.

Pour autant, il y a un certain nombre de mathématiciens arabes qui ont apporté des réponses à des questions qui se poseront à nouveau au XVII^{ème} siècle. Quoi qu'il en soit, les simplifications de Russell sont volontaires, et touchent la science arabe comme occidentale selon les parties du texte.

II.C La révolution scientifique européenne

II.C.1 Les grandes étapes du développement des sciences de la nature

Russell passe par ces différentes étapes car ce sont celles que l'on attribue d'ordinaire au développement des sciences de la nature. D'abord les Grecs qui, sous l'influence de Platon, utilisent la géométrie, et ont comme science de référence l'astronomie (avec Aristarque que nous avons vu) qui va fournir pendant un millénaire et demi une véritable image du monde. Le géocentrisme est un système qui explique les apparences à partir une reconstruction géométrique qui donne aux grecs cette aspect dominant de la géométrie.

Dans un deuxième temps, la civilisation grecque se résout dans l'Empire romain (que Russell élude totalement), et voit le développement des sciences de l'ingénieur. Il faudrait mettre en avant cette capacité constructrice et créatrice des romains qui leur a permis d'asseoir leur empire sur une conquête fondée sur la supériorité technique de leurs armées.

Ensuite le monde arabe, qui fait figure de renaissance pour le développement des sciences en général.

Après cela, une période de Dark Ages que seraient le Moyen-Age, au cours duquel rien n'aurait été inventé et rien n'aurait bougé.

Bien entendu, au fur et à mesure que Russell progresse dans son livre, sa méthode sera affinée, et les approximations de cet ordre se feront plus rares. Mais pour installer Galilée, Russell est amené à combiner des vues simplistes qui ne sont pas satisfaisantes mais qui lui permettent d'établir le caractère novateur et révolutionnaire de la méthode scientifique développée par Galilée.

II.C.2 La Renaissance selon Russell

L'étape de la Renaissance qui succède aux temps noirs du Moyen-Age est présentée de façon légère par Russell :

In Europe, when the scholastic system first began to give way before the Renaissance, there came to be, for a time, a dislike of all generalizations and all systems. Montaigne illustrates this tendency. He likes queer facts, particularly if they disprove something. He has no desire to make his opinions systematic and coherent. Rabelais also, with his motto: "Fais ce que voudras," is as averse from intellectual as from other fetters. The Renaissance rejoiced in the recovered liberty of speculation, and was not anxious to lose this liberty even in the interests of truth. Of the typical figures of the Renaissance far the most scientific was Leonardo, whose note-books are fascinating and contain many brilliant anticipations of later discoveries, but he brought almost nothing to fruition, and remained without effect upon his scientific successors.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 9). Taylor and Francis. Édition électronique Routledge.

Nous parlons du développement des sciences, mais Russell parle des postures supposées de Montaigne et Rabelais, c'est surprenant !

Il y a en Europe le système scolastique (de scholè, école), qui sont des écoles qui se sont mis à commenter le texte d'Aristote qui avait été transmis par les arabes, qui ont maintenu les commentaires malgré la perte des œuvres originales parfois. La doctrine scolastique commente donc sans cesse les œuvres d'Aristote, sans s'intéresser spécialement à ce qui est concrètement dans le monde, mais qui assurera la transmission du savoir. La Renaissance s'attachera à sortir de ces mouvements.

« a dislike of all generalizations and all systems » : la transmission des idées d'Aristote (comme celles de Platon), a donné lieu à un commentaire très rigoureux où un certain nombre de doctrines se trouvaient généralisées. Autrement dit, sans en parler, Russell brosse le portrait d'une époque médiévale dominée par l'obscurantisme et la rumination d'un seul auteur, Aristote.

Montaigne recherche les faits pour mettre en défaut telle ou telle théorie ; Rabelais se libère de la rigueur des commentaires lui aussi. La seule figure véritablement scientifique est Léonardo (ce que l'on savait déjà, car il avait été mentionné plus tôt dans le texte), mais c'est une forme de réduction là encore. D'une part parce que Montaigne et Rabelais sont mal décrits

D'autre part, on peut trouver de nombreux exemples qui montrent que la Renaissance a été informée par un certain nombre de conquêtes mathématiques. Russell minore les capacités mathématiques des arabes, il le fait ici aussi à la Renaissance, tout en prenant comme exemple des auteurs qui ne sont pas des savants. Jacopo de' Barbari, représente en 6 panneaux la ville de Venise, et la vise est très précisément dépeinte (chaque maison est représentée, c'est un exploit) :



Le plus grand exploit, peinte en 1500, c'est que l'œil qui se penche sur Venise est déployé dans les termes très précis de la géométrie perspective. Le peintre se sert de la géométrie, en peignant des quadrillages sur les places, afin de reproduire exactement ce que l'on verrait si l'on pouvait s'élever à cette hauteur. La

reproduction qui est faite de Venise grâce à la perspective permet d'embrasser un point de vue que personne n'a eu à cette époque.



Ce portrait de Luca Pacioli montre que ce qui caractérise la Renaissance, ce n'est pas seulement « le truculent Montaigne et Rabelais le jouisseur », mais aussi la géométrie et le développement de la perspective.

La présentation des développements de la Renaissance est indigente et pose question. Pourquoi Russell fait-il ces simplifications ? Russell connaît bien l'histoire des sciences, mais il est ici dans une forme de caricature, qui permet d'asseoir le centre de son propos qui est la méthode scientifique. Il passe donc très vite sur ce qui précède ce sujet, afin d'aller au cœur de son propos.

II.D La méthode scientifique

II.D.1 Présentation de Galilée

Galileo Galilei est né le 15 février 1564 à Pise. Il se destine à des études de médecine, et pendant ses études il rencontre un professeur de botanique et d'anatomie renommé, mais il rencontre Filippo Frantoni en mathématique et Francesco Buonamici.

La date de sa naissance est aussi la date de la clôture du Concile de trente. Un concile est une réunion des princes de l'Eglise pour décider de la direction qu'il convient de donner à la communauté des catholiques (en l'occurrence). Ce concile avait été convoqué des années auparavant et avait duré pendant des années pour répondre au schisme entre le protestantisme et le catholicisme. La conclusion en fut que l'Eglise a cherché à réaffirmer un certain nombre de principes en rigidifier la position de l'Eglise, de réaffirmer la prédominance intellectuelle de l'Eglise dans le domaine de la formation qu'on trouvait dans les écoles qui étaient administrées par des catholiques. L'Eglise part donc en reconquête, ce qui expliquera pourquoi Galilée sera en but à une Eglise très réactive et qui ne peut pas admettre un certain nombre de choses qui sont perçues comme des affronts direct. Parmi ces dogmes, le géocentrisme sera le point de discorde majeur.

De 1581 à 1589, Galilée s'intéresse aux mathématiques et à la mécanique, en particulier il rencontre le mathématicien de la cour du grand-duc, Ostilio Ricci, en 1582. C'est à ce moment que Galilée se lance dans des questions mathématiques et de statique (équilibre de la balance), qui annoncent des découvertes dans ce domaine que l'on appelait alors la philosophie naturelle.

On raconte qu'à cette époque, à Pise en 1583, Galilée aurait observé les oscillations du candélabre de la cathédrale de Pise, ce qui est faux car il n'y a pas de tel pendule. L'observation aurait consisté dans le fait que les oscillations de cette masse suspendue effectuait ses oscillations avec régularité, ce qui lui permet de construire une théorie pour le pendule.

Ricci initie Galilée à la lecture des *Eléments* d'Euclide. Ce qui importe pour Russell, c'est que Galilée est formé aux mathématiques pures (géométrie euclidienne) mais il est aussi intéressé par l'observation en nature.

En 1587 il rencontre Clavius, qui jouera un rôle dans sa condamnation. Clavius est un savant du Collège romain jésuite, qui était la meilleure université du pays, et peut-être d'Europe (à discuter avec le Collège de la Flèche, dans la Sarthe). Ces collèges religieux formaient très bien aux sciences de la nature.

Galilée s'oriente vers la mécanique et rédige dès 1582 les *Juvenilia* (écrits de jeunesse) dans lesquelles on voit des recopies de cours, mais aussi des réflexions et des propositions mathématiques plus personnelles.

1589 il devient professeur de mathématiques à Pise et adopte une attitude de plus en plus décontractée vis-à-vis du pouvoir : il est une sorte de « gamin » selon Russell, il est irrévérencieux avec l'autorité. Cela lui attirera des problèmes avec la famille de Médicis, qui n'a pas le même humour que Galilée et qui va décider de son départ précipité à venir.

En 1586, Galilée commence la rédaction d'un ouvrage entièrement aristotélicien, où il refait la pesée de la couronne de Hiéron. Sa pensée devient de plus en plus originale à partir de cette période : en 1590 il rédige (mais ne publie pas) des carnets connus aujourd'hui sous le nom *Du Mouvement*, contre la philosophie d'Aristote. Il critique le phénomène d'antipéristasis, qui est l'explication d'Aristote au mouvement de la flèche. Le souci chez Aristote, c'est qu'il n'y a pas de mouvement sans moteur, or le moteur c'est l'arc et dans la théorie stricte d'Aristote, la flèche devrait tomber. Or la flèche poursuit son mouvement vers l'avant. Aristote interprète cela comme la création d'un tourbillon devant la flèche qui viendrait la rattraper par derrière et la faire avancer. Galilée trouve que cela est absurde, et cherche à réfuter celui qui domine dans toutes les universités d'Europe : Aristote.

Le mouvement n'est pas seulement causé par une force externe, et peut prendre sa source dans le système lui-même, avec une « détermination de mouvement », ce qui situe Galilée dans la lignée d'auteurs médiévaux comme Jean Buridan et Nicole Oresme, que l'on trouve à Paris ou Oxford et qui ont cherché à dépasser Aristote avec la doctrine de *l'impetus*, de l'élan. Le moteur, une fois qu'il est imprimé dans un corps, est conservé jusqu'à ce que d'autres forces extérieures ne l'épuisent.

Ces idées préfigurent des écrits de Descartes et de Newton sur les lois du mouvement qui ne paraîtront qu'en 1687.

Galilée fuit pour Venise suite à des soucis avec la famille du grand-duc. Il écrira alors à propos des questions sur l'astronomie, et grâce à l'arrivée d'un dispositif conçu en Asie qu'est la lunette, il va s'intéresser aux corps célestes qui entourent la Terre.

Il va réussir à dessiner les tâches solaires en projetant la lumière du Soleil sur un mur. Il constate que les tâches bougent comme si le Soleil avait un mouvement de rotation sur lui-même, ce qui n'est à cette époque pas du tout envisageable car le système est géocentrique, avec des rotations autour de la Terre et sans mouvement furieux de rotation sur eux-mêmes (leur mouvement est censé être uniforme, parfait, selon les grecs).

Galilée va observer des cratères sur la Lune et va publier en 1610 *Le messager céleste* dans lequel il fournit des résultats qui vont choquer terriblement ses contemporains mais surtout les autorités ecclésiastiques. Ils voient d'un mauvais œil le fait qu'il défende ouvertement des positions copernicienne dans ses écrits : il le fera dans ses correspondances avec la duchesse de Florence puis en 1623 (alors qu'il avait été averti qu'il ne fallait pas enseigner ce qu'il disait) lorsqu'il publie *L'essayeur*. Même si Russell ne le cite pas, ce livre voit apparaître pour la première fois la méthode scientifique. Ce titre signifie qu'il y a une approche expérimentale, et qui pousse loin des considérations sur la structure de la matière, et qui va précipiter Galilée dans son procès.

Moins de 10 ans après, alors que les savants autour de lui se plaignent de ce qu'il enseigne, Galilée publie en 1632 les *Dialogues sur les deux plus grands systèmes du monde*, qui donne immédiatement lieu à un procès en 1633. Il est condamné, et l'ouvrage est mentionné par Russell. Galilée est forcé d'abjurer et est assigné à résidence de 1633 à sa mort, jusqu'à la publication de son deuxième grand ouvrage en 1638 : les *Discours*. Galilée est enfermé chez lui avec sa fille, et il fait passer les manuscrits par un intermédiaire qui les amène en Hollande et qui les publie progressivement. Il meurt en 1642.

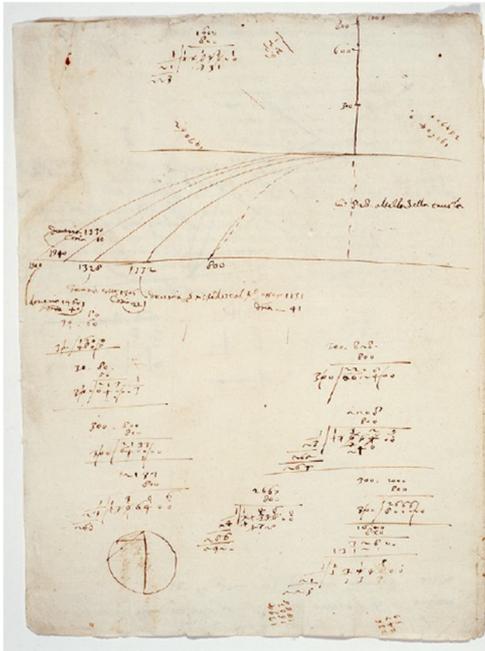
II.D.2 La méthode scientifique chez Galilée

Il y a chez Galilée plusieurs façons d'aborder la science : pur géomètre, puis astronome où il use beaucoup de l'observation, puis les *Dialogues* et enfin les *Discours* où on assiste à une sorte de synthèse entre les aspirations géométriques et sa disposition à l'analyse des phénomènes.

The experiment from the Leaning Tower of Pisa illustrated Galileo's first important piece of work, namely, the establishment of the Law of Falling Bodies, according to which all bodies fall at the same rate in a vacuum and at the end of a given time have a velocity proportional to the time in which they have been falling, and have traversed a distance proportional to the square of that time. Aristotle had maintained otherwise, but neither he nor any of his successors throughout nearly two thousand years had taken the trouble to find out whether what he said was true. The idea of doing so was a novelty, and Galileo's disrespect for authority was considered abominable. He had, of course, many friends, men to whom the spectacle of intelligence was delightful in itself. Few such men, however, held academic posts, and university opinion was bitterly hostile to his discoveries.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 11-12). Taylor and Francis. Édition électronique Routledge.

Galilée fait des expériences avec la **tour de Pise**, pour infirmer la loi d'Aristote qui veut que les corps plus lourds tombent plus vite. Il voudrait que tous les corps soient soumis à la même loi, et il fait tomber une grande boule et une petite boule. Evidemment, il faut considérer pour cela que l'air entre le haut de la tour et le bas est un fluide qui n'offre pas beaucoup de résistance.



Le manuscrit 72 date de 1607, et représente le jet parabolique observé. Le mouvement décrit à gauche est un mouvement composé : le corps est à la fois soumis à son poids, et à un mouvement rectiligne uniforme qui lui a été communiqué au lancement.

(...) le temps nécessaire a une descente complète ; l'expérience était commencée plusieurs fois afin de déterminer exactement la durée du temps, mais sans que nous découvrissions jamais de différence supérieure au dixième d'un battement de pouls. La mise en place de cette première mesure étant accomplie, nous faisons descendre la boule sur le quart du canal seulement : le temps mesuré était toujours rigoureusement égal à la moitié du temps présent. Nous faisons ensuite varier l'expérience en comparant le temps requis pour parcourir sa moitié ou les deux-tiers, ou les trois-quarts, ou toute autre fraction ; dans ces expériences répétées une bonne centaine de fois, nous avons toujours trouvé que les espaces parcourus étaient entre eux comme les carrés des temps, et cela, quelle que soit l'inclinaison du plan, i.e., du canal dans lequel on laissait descendre la boule».

Discorsi, III

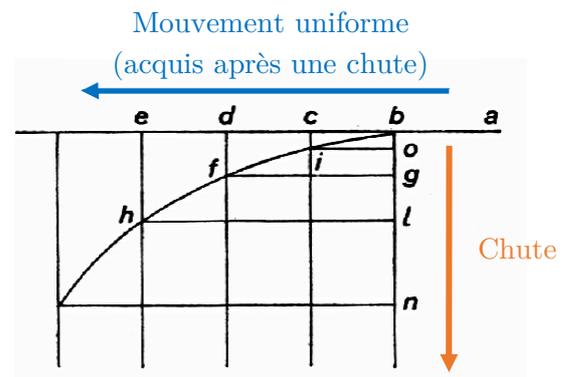
$$d \propto t^2$$

Dans ce texte, il n'est pas mention de la masse !

Dans un autre texte, il observe que : $v \propto t$

"Si un mobile, partant du repos, tombe avec un mouvement uniformément accéléré, les espaces parcourus en des temps quelconques par ce même mobile sont entre eux en raison double des temps, c'est-à-dire comme les carrés de ces mêmes temps."

Discorsi, Ed. Naz. VIII, 209.



La chute des corps est décrite par la suite des nombres impairs comptés depuis l'unité : 1, 3, 5, 7 ...

II.E TD

II.E.1 Texte et commentaires

Scientific method, as we understand it, comes into the world full-fledged with Galileo (1564–1642), and, to a somewhat lesser degree, in his contemporary, Kepler (1571–1630). Kepler is known to fame through **his three laws**: he first discovered that the planets move round the sun in ellipses, not in circles. To the modern mind there is nothing astonishing in the fact that the earth's orbit is an ellipse, but to minds trained on antiquity anything except a circle, or some **complication** of circles, seemed almost incredible for a heavenly body. To the Greeks the planets were divine, and must therefore move in perfect curves. **Circles and epicycles** did not offend their aesthetic susceptibilities, but a crooked, skew orbit such as the earth's actually is would have shocked them deeply. Unprejudiced observation without regard to aesthetic prejudices required therefore, at that time, a rare intensity of scientific ardour. It was Kepler and Galileo who established the fact that the earth and the other planets go round the sun. This had been asserted by Copernicus, and, as we have seen, by certain Greeks, but they had not succeeded in giving proofs. Copernicus, indeed, had no serious arguments to advance in favour of his view. It would be doing

Kepler more than justice to suggest that in adopting the Copernican hypothesis he was acting on purely scientific motives. It appears that, at any rate in youth, **he was addicted to sun-worship**, and thought the centre of the universe the only place worthy of so great a deity. None but scientific motives, however, could have led him to the discovery that the planetary orbits are ellipses and not circles. **He, and still more Galileo, possessed the scientific method in its completeness.** While much more is known than was known in their day, nothing essential has been added to method. They proceeded from observation of particular facts to the establishment of exact quantitative laws, by means of which future particular facts could be predicted. They shocked their contemporaries profoundly, partly because their conclusions were inherently shocking to the beliefs of that age, but partly also because the belief in authority had enabled learned men to confine their researches to libraries, and the professors were pained at the suggestion that it might be necessary to look at the world in order to know what it is like.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 9-10). Taylor and Francis. Édition électronique Routledge.

Une complication de cercle est par exemple un épicycle : suivi d'un point placé sur un petit cercle en rotation sur lui-même, entraîné en son centre par le mouvement d'un grand cercle. Cf. exo du point sur une roue de vélo. Deux figures régulières engendrent une figure moins régulière.

Difficulté de représenter le mouvement de Mars tel qu'on l'observe depuis la Terre : on observe les positions, puis on relie les points par une courbe régularisée, et pour adopter une hypothèse géocentrique il faut considérer un cercle déférent et un autre cercle, dont la vitesse est variable (c'est compliqué en gros). Dans la période de l'époque, c'était sauver les phénomènes, ie sauver les apparences : rendre régulier ce qui ne l'est pas (et ça a duré 2000 ans avant que Copernic arrive et simplifie considérablement la chose).

Les 3 lois de Kepler :

- × Les trajectoires sont elliptiques
- × L'aire balayée par une planète pendant un intervalle de temps donné est constante : lorsque la planète se rapproche du Soleil, elle accélère
- × La grandeur $\frac{a^3}{T^2}$ est une constante, avec a le demi-grand axe et T la période. Cette loi a été trouvée par la comparaison et l'étude des tables astronomiques.

Kepler est dit comme usant peu de la méthode scientifique que Galilée, puis qu'il l'utilise malgré tout. Il avait en fait des attitudes particulièrement non scientifiques, par exemple le fait d'adorer le Soleil (« addicted to sun-worship »).

Par rapport à la dernière phrase sur le Moyen-Age, le prof s'inscrit là aussi en faux pour dire qu'il s'agirait d'hommes éduqués rendus esclave par une doctrine et qui ne tiraient leurs conclusions de philosophie naturelle que dans les livres. C'est une conclusion qui marque une forme d'ignorance de Russell à propos de la science et de la pensée médiévale.

Ce qui est intéressant, c'est qu'à travers le portait de deux acteurs très différent, Russell renoue avec les contenus qu'il avait assigné à la méthode scientifique, cette fois ci en désignant chez Galilée et Kepler des individus qui, dans la question de l'astronomie, avaient procédé d'abord par l'observation et ensuite par la mise en place de lois générales de mouvement. Galilée, dans sa période d'astronomie, n'a pas vraiment créé de loi de mouvement, mais il a plutôt tenté de montrer par des dessins que la perfection du ciel telle qu'elle était imaginée par les sectateurs d'Aristote n'était pas aussi achevée que ce qu'ils le pensaient.

Dans la mise en place du concept de la méthode, il y a ce passage de l'observation à la loi quantitative exacte, qui doit permettre le calcul et la prédiction. L'intérêt d'une loi c'est qu'elle permet de traiter de manière uniforme des objets que l'on n'a pas observé.

II.E.2 Rédaction d'une introduction en live

[Le mec engueule tout le monde en disant qu'il est bienveillant]

Dans un texte où enfin nous parvenons à une détermination positive de ce qu'est la méthode scientifique à travers les deux figures de Kepler et Galilée, Russell aboutit à la conclusion selon laquelle à travers le choc qu'ils ont engendré à leurs époques, Galilée et dans une moindre mesure Kepler n'ont fait qu'appliquer une méthode dont Russell affirme ici qu'elle est la même que celle qui est utilisée de nos jours. Afin de parvenir à l'établissement de ce point, Russell procède en deux temps. Dans un premier temps, depuis « Scientific

method » jusqu'à « scientific ardour », Russell plante un décor général dans lequel nous comprenons que l'intervention de la méthode scientifique s'est faite en premier lieu dans le cadre général d'une réforme de l'astronomie. Dans un deuxième temps, de « It was Kepler » à la fin, Russell approfondit le domaine qui vient d'être dégagé en montrant, malgré leur caractère apparemment dissemblable, ce que Galilée et Kepler avaient de commun et de renversant par rapport à l'astronomie grecque, ce qui forme une sorte de lien entre leur époque et la nôtre.

Il s'agit de donner une direction et d'explicitier deux mouvements (on aurait pu en voir un troisième, de « They shocked » à la fin), et l'explication qui va suivre se fera selon les deux mouvements. Dans l'explication je dois expliquer les mots compliqués (complication de cercle, ...), les grands thèmes (trois lois de Kepler, ...).

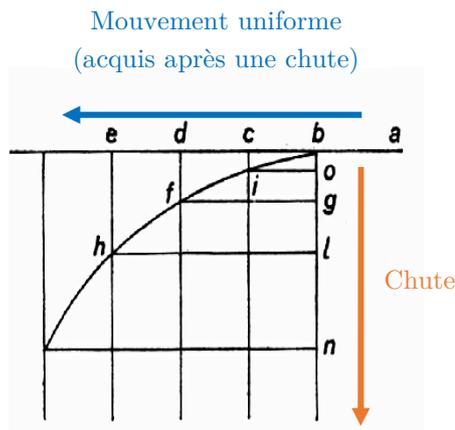
Les examens qui seront donnés seront des commentaires de textes issus du texte que nous sommes en train de lire. Donc il faut connaître les définitions données en cours, et appliquer la méthode pour donner notre propre point de vue sur le texte.

III. SEANCE 3

III.A Revenons sur l'expérience de la tour de Pise

Le manuscrit a été trouvé chez un poissonnier par un spécialiste qui a reconnu l'écriture, par hasard... Rappel : la méthode scientifique selon Russell consiste à faire des observations puis déduire des lois générales par induction. Or, comme le développe A. Coyré dans *Études galiléennes*, Galilée a la réputation d'avoir construit une physique avec seulement les mathématiques (il parle de « géométrisation à outrance »)

Le manuscrit nous dit autre chose : il expérimente en observant la chute d'un objet à différentes hauteurs, et en mesurant les temps de chute (mais difficile de mesurer car pas de chronomètres, donc mesures avec le pouls, ou bien en chantant un cantique).

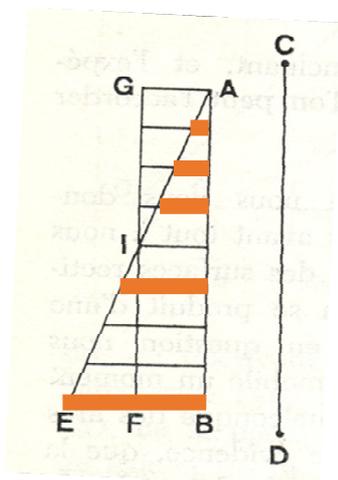


Sur le schéma, au point b, le mouvement de chute est 'converti' avec un petit morceau de bois arrondi, qui donne le mouvement uniforme latéral. Le mouvement est donc dit composé.

Par rapport à une tradition qui fait de Galilée quelqu'un qui a abordé uniquement la physique avec l'œil des maths (ici, étude de la parabole du mouvement $y = x^2$), mais il faut se rendre compte que pour obtenir la composition des mouvements, il a procédé par tâtonnement et avec des essais, pour obtenir à la fin la loi de chute.

La loi de la chute des corps dit que tous les corps tombent suivant la même loi quel que soit leur masse. La vitesse est proportionnelle au temps, on peut aussi figer le mouvement à chaque unité de temps qui s'écoule, et observer qu'à une hauteur donnée, la vitesse acquise est la même pour tout objet.

$$v^2 = 2gh$$



« Dans une règle, ou plus exactement dans un chevron de bois, long d'environ douze coudées, large d'une demi-coudée et épais de trois doigts, nous creusions un petit canal d'une largeur à peine supérieure à un doigt, et parfaitement rectiligne ; après avoir garni d'une feuille de parchemin bien lustrée pour le rendre aussi glissant que possible, nous y laissions rouler une boule de bronze très dure, parfaitement arrondie et polie. Plaçant alors la l'appareil dans une position inclinée, en élevant l'une de ses extrémités, d'une coudée ou deux au-dessus de l'horizon, nous laissions, comme je l'ai dit, rouler la boule en notant (...) le temps nécessaire à une descente complète ; l'expérience était commencée plusieurs fois afin de déterminer exactement la durée du temps, mais sans que nous découvrissions jamais de différence supérieure au dixième d'un battement de pouls. La mise en place de cette première mesure étant accomplie, nous faisons descendre la boule sur le quart du canal seulement : le temps mesuré était toujours rigoureusement égal à la moitié du temps présent. Nous faisons ensuite varier l'expérience en comparant le temps requis pour parcourir sa moitié ou les deux-tiers, ou les trois-quarts, ou toute autre fraction ; dans ces expériences répétées une bonne centaine de fois, nous avons toujours trouvé que les espaces parcourus étaient entre eux comme les carrés des temps, et cela, quelle que soit l'inclinaison du plan, i.e., du canal dans lequel on laissait descendre la boule ».

Discorsi, III

III.B Un autre exemple de la méthode chez Galilée

III.B.1 La corde de Venise

Dans le *Dialogue*, Galilée rapporte une observation faite à Venise : il se promène sur le port un jour où il fait beau, et il voit des palans (pour soulever des charges) reliés à des cordes pour les soulever. Il observe la

journee que les palans sont au sol, puis le lendemain après qu'il a plu, les palans se sont élevés alors que la machine n'a pas été touchée.

Il s'intéresse alors à la structure de la corde, qui doit être constituée de plein (tressage) et de creux (air) : lorsque les creux sont remplis par l'eau de la pluie, la corde se contracte. En supposant une structure de la corde, il va imaginer que le nombre infini de petites sections de cordes avec l'eau ont été capable (en intégrant, comme on dirait fin XVII^{ème} avec les travaux de Leibniz et Newton) de soulever la charge. Tous les petits effets cumulés ont un grand effet.

III.B.2 Le « vêtement d'idée » selon Husserl et Coyré

Au fond, avec toutes les lois théoriques énoncées dans les *Dialogues sur les deux plus grands systèmes du monde* (1632) et les *Discours et démonstrations mathématiques* (1638), l'architecture mathématique n'existe pas sans l'apport de l'observation. Alexandre Coyré disait que Galilée était plutôt platonicien et qu'il utilisait des lois mathématiques pour décrire le monde, ce qui est dit par son maître Edmund Husserl dans *La crise des sciences européennes et la phénoménologie transcendantale* où il affirme que la science galiléenne est d'utiliser les mathématiques pour penser les événements de la physique mais de le faire à la manière d'un vêtement d'idéalité, un « vêtement d'idée » qui a contribué à nous **éloigner de la nature** et des phénomènes (conséquence grave !)

Husserl dit même que la science moderne, avec Galilée, est fondée sur un malentendu qui consiste à ne pas aller voir les phénomènes naturels, mais à les représenter à partir d'un « index mathématique », de voiler la réalité des qualités sensibles des corps de la nature. Ainsi, selon Husserl, tout le travail de la science contemporaine aura été de nous éloigner de la nature, nous avons désappris à ce qu'est connaître la nature.

III.B.3 La véritable visée de Russell

Russell en revanche voit dans la science galiléenne l'expression de la méthode scientifique car cela consiste à rapprocher l'œil du mathématicien de ce qui se fait dans les choses mêmes par des observations pour aboutir à une loi qui ne vient pas voiler la nature mais qui va au contraire la révéler. Il y a un enjeu fort : la langue mathématique utilisée par Galilée, mais aussi Descartes, Leibniz, Newton peut être envisagée de deux manières :

- × Soit elle est la découverte des structures profondes du monde à partir des phénomènes qui s'y produisent (point de vue de Russell)
- × Soit elle est un outil qui escamote la nature et masque les choses mêmes (Husserl)

La manière de considérer les mathématiques par rapport aux phénomènes chez Galilée introduit une difficulté et des désaccords, et il est intéressant de noter que Russell, en choisissant de faire de Galilée le père de la méthode expérimentale (observations puis lois générales par induction), il choisit une manière de comprendre Galilée d'une certaine façon. Le fait qu'il ait choisi cette façon de le comprendre a des conséquences, de même que le jugement porté sur les sciences grecque (trop mathématique), arabe (trop expérimentale), médiévale (qualifiée injustement d'inexistante).

Russell choisit de schématiser la science occidentale pour caractériser au mieux la science qui lui est contemporaine. Il ne présente pas Galilée pour lui-même, il ne cherche pas à faire l'histoire des sciences, il a une réflexion qui porte moins sur les objets étudiés que sur ce vers quoi ces objets tendent, à savoir caractériser (à l'époque où Russell parle) les développements de la science qui lui est contemporaine.

Dans *The Scientific Outlook*, il cherche à comprendre ce que la science contemporaine signifie, pas vraiment à savoir ce que signifie la méthode scientifique chez Galilée, chez Newton, etc. Cela reste une méthode, qui est un acte intellectuel, qui se rapporte aux phénomènes.

III.C Le contexte historique

III.C.1 L'éloignement entre philosophie et sciences

En 1931, la science tend à se séparer radicalement d'intelligibilité immédiate par la philosophie, donc pour Russell il y a urgence que la philosophie soit apte de penser la science par la méthode scientifique. L'objectif

est donc moins d'être exact historiquement que pertinent méthodiquement pour capturer ce que peut être en 1931 la méthode scientifique

D'autres auteurs se livrent au même exercice dans la même période : Coyré, Bachelard (*La formation de l'esprit scientifique*). Il y a dans l'articulation entre le XIX et le XX siècle ce que Snow a caractérisé au lendemain de la Seconde guerre mondiale comme l'apparition de deux cultures. En effet, au XVII et au XVIII il y a des questions scientifiques et des débats philosophiques, mais il n'y a pas de séparation nette entre l'activité du philosophe et celle du savant (Leibniz, Descartes).

A partir de Newton, une coupure est intervenue progressivement entre ceux qui se préoccupent de savoir comment les choses se produisent, et ceux qui s'occupent de savoir pourquoi les choses se produisent. L'activité de science et de métaphysique se sont séparés à partir des *Principia mathematica* de Newton et progressivement, comme le dit Snow, se constituent dans des domaines isolés qui ne communiquent plus comme s'ils n'avaient plus rien avoir avec l'autre.

Dans ce mouvement de désagrégation entre la culture des humanités et celle des sciences, il y a eu plusieurs étapes : Newton est la première, mais au long du XIX siècle il y a le développement d'une science de plus en plus mathématisée, et qui communique de moins en moins avec une philosophie qui se retire sur le sol de ses humanités et qui se complait dans le développement de métaphysiques abscondes, s'éloignant de la réalité du mouvement des sciences.

Par exemple, la systématique de Hegel est très différente de l'œuvre de Kant, qui s'est toujours intéressé de près aux mathématiques, à la physique, à la géologie. On trouve des écrits sur les volcans, sur des aspects des sciences qui sont devenus de plus en plus absents à toute réalité. Dans le cas d'Hegel, l'auteur du savoir absolu, qui tente d'enfermer toute réalité dans le déploiement du concept tel qu'il le particularise dans *Phénoménologie de l'esprit* et la *Science de la logique*.

Une étape est franchie avec le jugement que Husserl porte sur Galilée, à savoir que la science moderne est responsable d'une forme d'éloignement entre la conscience commune (qui continue de voir le monde tel qu'il est) et la science (qui produit une image mathématisée et complexe du monde).

Une autre raison pour la séparation entre sciences et humanités (grossièrement), c'est l'évolution de la physique, avec certaines branches (comme la mécanique quantique) qui n'est compréhensible que mathématiquement. Il n'y a pas poétique de la mécanique quantique, et au moment où Russell en parle Schrödinger commence à peine à tenter de clarifier ce qui est écrit, et Planck lui-même ne croit pas à ce qu'il écrit (discontinuité des énergies, etc.). Cela empêche le lien avec le monde intuitif, le monde tel que nous le connaissons (Husserl), et éloigne la physique de la possibilité de dire ce qu'est simplement le monde.

Cela amène Bergson à écrire des absurdités sur la relativité dans *Durée et simultanéité* [ne le lisez pas c'est une horreur].

III.C.2 Les objectifs de Russell

L'objectif de Russell est double :

- × caractériser, à travers l'exemple de toutes les méthodes scientifiques formulées de Galilée à 1931, l'horizon de la pensée scientifique contemporaine
- × au sein de la méfiance généralisée entre la science et la philosophie, rétablir un lien de communication entre ces deux univers de plus en plus séparés

La fin de cette tentative de lien est assez pathétique avec la discussion de la relativité restreinte par Bergson dans *Durée et simultanéité*, dans lequel Bergson reproche à la conception par Einstein du temps relatif d'être une construction mathématique abstraite n'ayant aucune prise sur la durée, qui elle affecte véritablement la conscience.

Dans ce livre, comme dans *La pensée et le mouvement*, Bergson se plaît à déployer les ressources sens intime, ie la manière dont la conscience peut habiter toutes les parties d'une mélodie qui se déploie (lorsqu'on est dans une mélodie, on la prolonge par la mémoire). Le temps comme sens intime est ce par quoi Bergson se fait connaître, et il est choqué par la manière dont Einstein formule une théorie objective du temps dont l'une des conséquences est qu'on doit adopter les transformations de Lorentz pour étudier les phénomènes

électromagnétiques, qui prédisent que le temps comme l'espace peuvent se contracter dans le sens d'une particule qui va à une vitesse proche de celle de la lumière. La notion du temps et de l'espace ne sont plus aussi intangibles qu'avec Leibniz (le temps est parmi les idées) et Kant (le temps et l'espace sont des catégories de l'entendement).

Russell veut montrer qu'avec la méthode scientifique, la pensée scientifique n'est pas totalement différente de la manière de penser ordinaire : elle a ses propres outils, elle a sa manière de construire mathématiquement ses propres objets, elle a ses lois, mais la pensée physique est encore très largement connectée aux phénomènes puisqu'il est bien question des phénomènes.

III.D TD

III.D.1 L'abjuration forcée de Galilée

The formula of abjuration, which, as a consequence of this sentence, Galileo was compelled to pronounce, was as follows:

— I, Galileo Galilei, son of the late Vincenzo Galilei of Florence, aged seventy years, being brought personally to judgment [amené personnellement à comparaître], and kneeling before you, Most Eminent and Most Reverend Lords Cardinals, General Inquisitors of the Universal Christian Republic against heretical depravity, having before my eyes the Holy Gospels [les Saintes Évangiles] which I touch with my own hands, swear that I have always believed, and, with the help of God, will in future believe, every article which the Holy Catholic and Apostolic Church of Rome holds, teaches, and preaches. But because I have been enjoined, by this Holy Office, altogether to abandon the false opinion which maintains that the sun is the centre and immovable, and forbidden to hold, defend, or teach, the said false doctrine in any manner; and because, after it had been signified to me that the said doctrine is repugnant to the Holy Scripture, I have written and printed a book, in which I treat of the same condemned doctrine, and adduce reasons with great force in support of the same, without giving any solution, and therefore have been judged grievously suspected of heresy; that is to say, that I held and believed that the sun is the centre of the world and immovable, and that the earth is not the centre and movable, I am willing to remove from the minds of your Eminences, and of every Catholic Christian, this vehement suspicion rightly entertained towards me, therefore, with a sincere heart and unfeigned faith, I abjure, curse, and detest the said errors and heresies, and generally every other error and sect contrary to the said Holy Church; and I swear that I will never more in future say, or assert anything, verbally or in writing, which may give rise to a similar suspicion of me; but that if I shall know any heretic, or anyone suspected of heresy, I will denounce him to this Holy Office, or to the Inquisitor and Ordinary of the place in which I may be. I swear, moreover, and promise that I will fulfil and observe fully all the penances which have been or shall be laid on me by this Holy Office. But if it shall happen that I violate any of my said promises, oaths, and protestations (which God avert!), I subject myself to all the pains and punishments which have been decreed and promulgated by the sacred canons and other general and particular constitutions against delinquents of this description. So, may God help me, and His Holy Gospels, which I touch with my own hands, I, the above-named Galileo Galilei, have abjured, sworn, promised, and bound myself as above; and, in witness thereof, with my own hand have subscribed this present writing of my abjuration, which I have recited word for word. At Rome, in the Convent of Monerva, June 22, 1633, I, Galileo Galilei, have abjured as above with my own hand.

It is not true that, after reciting this abjuration, he muttered: "*Eppur si muove.*" It was the world that said this—not Galileo.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 17-19). Taylor and Francis. Édition électronique Routledge.

C'est un extrait traduit de l'abjuration de Galilée. Ce texte a été écrit par l'Église, car Galilée a enseigné que la Terre n'est pas le centre du monde et tourne autour du Soleil, ce qui est contraire aux dogmes. Or, on ne trouve rien dans les textes qui porte sur l'astrologie, donc rien qui ne contrevienne à ce que dit Galilée.

En vérité, il a été condamné car ses ennemis bénédictins de Florence qui ont dénoncé ses agissements et ses propos ont relevé que si c'est la Terre qui tourne autour du Soleil, alors un passage de la Bible n'est plus compréhensible dans l'Ancien Testament, texte de Josué (général pour reconquérir la Terre Sainte) : lors d'une bataille qui tendait à se poursuivre dans la nuit, Josué a demandé à ce que le Soleil s'arrête. Alors la course du Soleil s'est arrêtée, ce qui signifie que le Soleil était en mouvement auparavant, et donc pas immobile.

C'est donc avec un propos destiné à impressionner, à donner l'impression d'un miracle (et qui n'a pas de valeur astronomique considérable) que Galilée est accusé. D'ailleurs Galilée n'a jamais trouvé que ce qu'il professe ne soit hérétique, donc il ne voit pas pourquoi il doit s'excuser de cela. Il y a d'autres passages chez Galilée qui pourraient éventuellement jugés hérétiques mais pas à ce sujet. Il confesse de manière forcée des péchés, qui ne correspondent à rien selon lui.

Que lui reproche-t-on ? "I held and believed that the sun is the centre of the world and immovable, and that the earth is not the centre and movable, I am willing to remove from the minds of your Eminences, and of every Catholic Christian, this vehement suspicion rightly entertained towards me, therefore, with a sincere heart and unfeigned faith, I abjure, curse, and detest the said errors and heresies"

Giordano Bruno est un auteur italien copernicien, qui a été brûlé sur la place en 1600 à Rome, non pas parce qu'il était copernicien mais parce qu'il tenait des propos réellement hérétiques (sur la Trinité, etc.). Mais il n'y a aucune mention de ses visions coperniciennes dans sa condamnation, qui sont des considérations purement scientifiques.

Ainsi, ce texte est une confession forcée, qui intervient après la mise en accusation de Galilée après la publication d'un livre portant pour l'essentiel sur le système solaire. En fait, il y a une thèse autour de la condamnation de Galilée, que l'on trouve chez Pietro Redondi *Galilée Hérétique* 1986, qui explique l'aspect incompréhensible de l'accusation pour des faits qui ne relèvent pas de compétences théologiques (Copernic n'a pas été traîné devant les tribunaux de l'inquisition !).

L'Inquisition est née à la fin du Concile de Trente, qui s'est achevé à la naissance de Galilée, avec l'affirmation de la rigueur de la foi (il faut cesser de tendre l'autre joue, et reconquérir la foi catholique). Et l'enseignement de Galilée commence à faire ombrage aux enseignements catholiques, en faisant entrer une forme de doute dans l'esprit des gens, et donc une sécularisation de l'Église.

La thèse de Pietro Redondi est différente : on n'a jamais vu de condamnation d'un savant pour des propos scientifiques dans le cadre d'une procédure de l'Inquisition, et on n'en verra pas. Le Concile Vatican II va d'ailleurs affirmer que la doctrine de l'Église concernant les sciences est exactement celle de Galilée (réhabilitation de ce qui a été son œuvre, du fait qu'on doit séparer ce qui relève de la science et ce qui relève de la foi, la réhabilitation complète ayant été faite par Jean-Paul II en 1994). Mais Galilée n'a été condamné qu'à vivre reclus dans sa résidence, il n'a pas été condamné au bûcher, donc il y a une certaine clémence.

De ces deux éléments (incompréhension + clémence), P. Redondi pense que toute cette mascarade a servi à couvrir Galilée. En effet, le Pape est un Médicis : il a écrit des poèmes à Galilée pour lui dire combien il l'admirait. Pourtant il le fait convoquer et condamner, avec une peine clémente, parce que les attaques qui commençaient à se faire de plus en plus fortes contre Galilée, et que ce-dernier risquait d'être appelé pour un autre procès, cette fois-ci pour hérésie.

Pour s'en convaincre, on va lire un autre texte.

III.D.2 Foi et savoir

"(...) Si l'Écriture ne peut errer, certains de ses interprètes et commentateurs le peuvent, et de plusieurs façons, dont une des plus communes et des plus graves serait de s'en tenir toujours au sens littéral, d'où l'on risquerait de tirer non seulement des contradictions, mais des hérésies, voire des blasphèmes; on serait en effet nécessairement conduit à donner à Dieu des pieds, des mains, des yeux, à lui attribuer des affections corporelles, et humaines, des sentiments tels que la colère, le repentir, la haine et même parfois l'oubli des choses passées et l'ignorance des choses futures.(...) étant (...) opportun, dans les Écritures, pour s'accommoder à l'entendement du plus grand nombre, **de dire bien des choses différent, extérieurement et quant à la signification des mots, du vrai absolu**; mais au contraire (la nature étant inexorable et n'ayant nul souci que ses raisons cachées et ses façons d'opérer soient ou ne soient pas mises par l'exposition à la portée de la compréhension des hommes, ce pourquoi elle ne transgresse jamais les limites des lois qui lui sont imposées); il semble que ce que, des effets naturels, l'expérience sensible nous met devant les yeux, ou que les démonstrations nécessaires nous permettent de poser en conclusion, ne doive en aucun compte être révoqué en doute sous prétexte de lieux scripturaires qui auraient un sens apparent différent, pris à la lettre, puisque **chaque affirmation de l'Écriture n'est pas liée à des obligations aussi drastiques que chaque effet de nature.**"

"Il estime [Sarsi, l'ennemi à réduire, qui désigne le P. Grassi] que la philosophie est le livre d'un homme, comme l'Illiade ou l'Orlando Furioso, dans lequel la chose la moins importante est de savoir si ce qui est écrit est vrai. (...) La philosophie est écrite dans cet immense livre continuellement ouvert sous nos yeux, c'est à dire l'univers, mais on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend à connaître la langue en laquelle il est écrit. (...) **Il est écrit en langue mathématique et les caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques sans le moyen desquels il est impossible humainement d'y rien comprendre.**"

Opere, Ed. Nazionale, V, pp. 281-288. Traduction de P.-H. Michel revue par J.-P. Sérès. *Il Saggiatore*, p. 232, ed. Nazionale, vol. 6.

Galilée, dans l'*Essayeur* de 1623, mais aussi dans ses lettres, qu'on nomme les *Lettres hérétiques* à Christines de Lorraine, se porte sur la religion et la juge.

Remarque pour les lignes 1 à 7 : c'est la description de Dieu dans l'Ancien Testament, ie un dieu de colère. Le prof s'inscrit en faux par rapport à ce que dira Russell dans un texte qu'on voit ensuite : le procès de Galilée n'est pas celui de l'induction contre la déduction.

La stratégie de communication d'un ouvrage comme la Bible n'est pas de dire la vérité, c'est de dire des choses qui, pour être comprises par les plus simples (l'entendement du plus grand nombre), utilisent des images, des symboles, des procédés littéraires qui n'ont pas à être pris au pied de la lettre.

Face à cette nécessité de recourir à des images, la science ne peut faire autre chose que d'aller à la rigueur de la loi, et on ne doit pas comparer, ou privilégier, ce que dit Josué à ce que dit la loi de la Nature. Ce que les ennemis de Galilée lui reprochent, c'est d'être un ennemi de l'Église, c'est dans la phrase « chaque affirmation de l'Écriture n'est pas liée à des obligations aussi drastiques que chaque effet de nature ».

Par ailleurs Galilée, hormis son lien avec le fils du grand-duc, n'a pas un public large, dont les idées qu'il transmet ne vont pas révolutionner le monde. Galilée s'est placé lui-même sur le terrain du droit théologal, et il empiète cette fois sur l'Église, donc la condamnation aurait été beaucoup plus ferme si ces textes avaient été jugés, et le Pape, un ami de Galilée, n'aurait rien pu y faire. Tout n'est donc pas nécessairement tel qu'on le comprend au premier abord.

« La philosophie est écrite dans cet immense livre continuellement ouvert sous nos yeux, c'est à dire l'univers, mais on ne peut le comprendre si d'abord on n'apprend à connaître la langue en laquelle il est écrit. (...) Il est écrit en langue mathématique et les caractères sont des triangles, des cercles et autres figures géométriques sans le moyen desquels il est impossible humainement d'y rien comprendre. » Il y a une hauteur de la science par rapport à la Bible, car elle ne peut pas être comprise par tous. La présupposition de la science classique est que la nature est écrite en langue mathématique, comme si l'on pouvait réduire la Nature aux mathématiques, ce qui justifie la critique de Husserl. L'ambiguïté demeure : il y a ce balancement chez Galilée entre les effets naturels et les démonstrations nécessaires en langue mathématique.

Berton Brecht a écrit une pièce de théâtre qui décrit Galilée comme un héros, qui mène vers la vérité, sur un ton larmoyant. Mais on vient d'exposer l'**hypothèse** selon laquelle l'ami de Galilée qu'est le Pape ait cherché peut-être à le protéger de l'Église des bénédictins (notons la différence avec les jésuites, qui enseignaient parfois le système copernicien dans certains des Collèges les plus avancés) en le condamnant par avance sur une accusation bénigne pour lui éviter une condamnation beaucoup plus grave.

Au-delà de la question du procès, du lien entre foi et savoir, il y a une question de hiérarchie et de séparation entre les propositions scientifiques et celles qui ne le sont pas. Il y a l'idée selon laquelle la Nature ne communique ses lois qu'à travers les mathématiques, ce qui valide la lecture dure que fait Husserl de la révolution scientifique qui s'est moins préoccupé de connaître la nature que d'établir des modèles mathématiques, et qui surtout nous a empêché de connaître la nature autrement.

Heidegger à propos de la technique : la science moderne n'a fait qu'arraisonner la nature, au sens où elle a contraint la nature à fonctionner selon un mode de production qui n'est pas le sien initialement. Il prend l'exemple du barrage électrique sur le Rhin, qui force le fleuve à exprimer des choses (son énergie potentielle) qui étaient contenues en elle, mais de façon pas naturelle. La première critique écologique vient de la phénoménologie et de Heidegger, et elle se prolonge dans d'autres ouvrages comme par exemple *La Barbarie* de Michel Henry [à lire puis jeter, pourtant c'est un très bon auteur mais là ça dépasse les bornes] où l'accusation selon laquelle la science moderne a asséché la nature va très loin : nous sommes devenus des barbares avec des objets comme

la télé. Il y a une ligne de critique contre la science galiléenne qui la fait apparaître comme mauvaise, et qui contrebalance l'image de la bonne science contre la mauvaise Église.

La manière dont on fait résonner les mots du texte change la donne, donc il faut prendre garde. Parfois les choses ne sont pas telles qu'on les voit, et il y a une position à adopter.

Exemple de la loi des gaz parfaits : Mariotte a exprimé cette loi mathématiquement, et le philosophe Boyle le fait aussi de son côté ; cette loi s'exprime avec des logarithmes. Il y a un auteur du XVII^e siècle qui s'est cependant aperçu que certains points de la courbe donnée par cette loi ne sont pas physiques. Autrement dit, la connaissance que nous voulions avoir des phénomènes physique s'avère être partielle, car les outils que l'on utilise (la courbe logarithmique) ne permettent pas de se prononcer sur certaines valeurs. L'outil géométrique est une aide pour la connaissance de la nature mais nous dissimule ce que l'on ne sait pas y lire, autrement dit tout ce qui dans la nature n'est pas mathématisable passe à la trappe (Husserl).

Deuxième façon de voir la révolution scientifique galiléenne : ce que nous disent les progrès ce n'est pas une tyrannie du cercle et du triangle, ce sont des connaissances qui s'expriment dans les limites qu'elle a au préalable reconnu. Par exemple pour utiliser les lois de composition du mouvement pour les boulets de canon, il faut prendre en compte la rotondité de la Terre, ou bien considérer que la courbure de la Terre est à peu près plane : il y a des limites.

III.D.3 Qualités sensibles des corps (non étudié à cette séance)

"En vérité, je me sens poussé par la nécessité, aussitôt que je conçois un morceau de matière ou substance corporelle, de l'imaginer doué d'étendue et de figure, de sorte qu'à l'égard des autres corps il soit grand ou petit, occupe telle ou telle place, à tel ou tel instant; qu'il soit au repos ou en mouvement, qu'il touche ou non d'autres corps, qu'il soit simple ou multiple; en bref, rien ne me permet d'imaginer un corps qui ne satisfasse à de telles conditions. Mais que ce morceau de matière soit blanc ou rouge, doux ou amer, sonore ou non, odorant ou non, rien n'oblige mon esprit à le doter de semblables qualités; et si les sens ne leur servaient pas de véhicule, la raison ou l'imagination n'y parviendraient pas. D'où je déduis que ces goûts, odeurs, couleurs, à l'égard d'un objet où ils paraissent exister ne sont rien d'autre que de simples noms et ont leur siège dans les sens de l'observateur; celui-ci écarté, toute qualité de ce genre serait abolie et annihilée. Toutefois, comme nous avons imposé à ces qualités des noms particuliers et distincts de ceux des qualités primaires, nous sommes incités à les doter également d'existence réelle. Expliquons-nous plus clairement par un exemple. Je passe une main d'abord sur une statue de marbre, ensuite sur le corps d'un homme vivant. Concernant les effets de la main, ils sont identiques à l'égard de celle-ci. C'est à dire que les qualités primaires en jeu, mouvement et contact, sont les mêmes dans les deux cas. Mais le corps humain qui subit cette action ressent des impressions diverses suivant les parties touchées et si la plante des pieds, ou le genou, ou le coude sont touchés, ils percevront en dehors de la sensation commune du contact, une autre impression à laquelle nous avons donné un nom, celui de chatouillement. Et il me semble que ce serait une erreur grossière que de dire que la main possède, en dehors du mouvement et du toucher une autre faculté distincte de ceux-ci, savoir la faculté de chatouiller. Une feuille de papier, une plume frottée légèrement sur quelque partie du corps que ce soit exécutera partout, en ce qui la concerne, la même opération, savoir mouvement et toucher. Mais si nous-mêmes sommes atteints entre les yeux, sur le nez ou sous les narines, nous ressentirons un chatouillement presque intolérable, sans qu'ailleurs nous sentions à peine le contact. Donc ce chatouillement est nôtre, et non le fait de la plume et se réduirait à un simple nom si nous étions écartés de celle-ci. J'estime pour ma part que toutes les qualités secondaires telles que les goûts, les odeurs et les couleurs attribués aux corps naturels n'ont pas davantage de réalité."

Il Saggiatore, in *Opere*, t. VI, p. 341 et suiv.

IV. SEANCE 4

IV.A Newton

IV.A.1 Naissance

Newton est né en 1642 ou 1643, et mort le 20 mars ou le 31 mars 1727. En effet, c'est une époque où dans les pays qui ne sont pas sous l'égide du Vatican n'avaient pas tous adoptés la réforme du calendrier. On est passé en 1582 d'un calendrier de l'époque romaine au calendrier grégorien, afin de faire correspondre le temps qu'on mesure dans la société avec le calendrier, pour que les dates correspondent vraiment, et que Pâques ait bien lieu à Pâques, et que Noël ait lieu un 25 décembre et non pas le 4 janvier.

Le calendrier fondé sur les mouvements planétaires n'est pas parfaitement exacte, et si on n'adopte pas un certain nombre de corrections (sur les années bissextiles, ...) on arrive à un décalage entre le temps dans la vie sociale et le temps 'céleste'. C'est intéressant car Newton a aidé à mieux comprendre par quels principes dynamiques le système solaire évolue.

Ainsi, il faut bien comprendre que Russell va comprendre l'apport de Newton dans cet élément, c'est-à-dire que Newton est important pour ce qu'il a permis de passer d'une compréhension du monde fondé sur la prise de points et d'observations à une compréhension du monde d'un principe de mouvement, pour comprendre le principe physique qui font que les planètes se meuvent. Dans l'ancienne astronomie, une comète est dérangement, et devrait être répertoriée, alors qu'avec les lois de Newton, elle ne fait que confirmer le mouvement des planètes qui est à l'œuvre.

Ainsi, celui qui va mettre de l'ordre pour s'affranchir de la simple observation est quelqu'un dont on ne peut pas dire avec certitude la naissance, car le calendrier julien ne colle pas avec notre calendrier grégorien actuel.

IV.A.2 La réalisation de la méthode

Nous avons deux ouvrages majeurs de Newton, qui sont :

- × *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, London, 1687, 2e éd. 1713, 3e éd. 1726. Ici s'invente pratiquement la physique mathématique de notre temps, d'après Russell.
- × *Opticks*, London, 1704 (*Optique*, Paris, Christian Bourgeois, 1989). Nous ne parlerons pas de cet ouvrage, mais ce fut un grand travail de Newton, où il a découvert un certain nombre de lois clés (notamment l'association longueur d'onde-couleur, bien qu'il soit un corpusculariste)

Russell s'intéresse à Newton, car il est celui qui apporte un achèvement à la science galiléenne, il présente la méthode dans son sens le plus idéal, le plus proche de l'époque de Russell. Il présente la méthode à la fois à la grecque (partir d'une loi générale d'où on peut tirer l'expérience) et à la moderne (on trouve quelque chose issu du phénomène (pas comme Descartes qui dirait que cela vient seulement de l'entendement)). Il y a une construction théorique qui se fait à partir d'un élément qui provient des phénomènes.

Newton's triumph was the most spectacular in the history of science. Astronomy, since the time of the Greeks, had been at once the most advanced and the most respected of the sciences. Kepler's laws were still fairly recent, and the third of them was by no means universally accepted. Moreover, they appeared strange and unaccountable to those who had been accustomed to circles and epicycles. Galileo's theory of the tides was not right, the motions of the moon were not properly understood, and astronomers could not but feel the loss of that epic unity that the heavens possessed in the Ptolemaic system. **Newton, at one stroke, by his law of gravitation brought order and unity into this confusion.** Not only the major aspects of the motions of the planets and satellites were accounted for, but also all the niceties at that time known; even the comets, which, not so long ago, had "blazed forth the death of princes," were found to proceed according to the law of gravitation. Halley's comet was one of the most obliging among them, and Halley was Newton's best friend. **Newton's Principia proceeds in the grand Greek manner:** from the three laws of motion and the law of gravitation, by purely mathematical deduction, the whole solar system is explained. **Newton's work is statuesque and Hellenic,** unlike the best work of our own time. The nearest approach to the same classical perfection among moderns is the theory of relativity, but even that does not aim at the same finality, since the rate of progress nowadays is too great. Everyone knows the story of the fall of the apple. **Unlike most such stories, it is not certainly known to be false. At any rate, it was in the year 1665 that Newton first thought of the law of gravitation, and in that year, on account of the**

Great Plague, he spent his time in the country, possibly in an orchard. He did not publish his Principia until the year 1687: for twenty-one years he was content to think over his theory and gradually perfect it. No modern would dare to do such a thing, since twenty-one years is enough to change completely the scientific landscape.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 22-23). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

Remarque : “Galileo’s theory of the tides was not right, the motions of the moon were not properly understood”
Ce que dit ici Russell est tout à fait faux.

Russell s’appuie sur le caractère transitoire et mal achevé de la science galiléenne, il y a dans la science ptolémaïque une forme de réconfort intellectuel d’avoir une description complète du système solaire. Si on prend le système de Ptolémée avec la science d’Aristote, on a l’impression d’une description complète et sans manque. Il y dans l’établissement des lois de Kepler des choses qui semblent mystérieuses qui n’arrangent pas les défauts qui se présentent que le système de Galilée.

Il affirme que le système des marées n’était pas exact. Ce que recherchait Galilée sur les marées c’est que si on prend une sphère animée d’un mouvement de rotation et d’un mouvement de révolution, il y a forcément des mouvements créés avec un retard dans les masses liquides. Galilée n’avait pas tort, l’effet existe, mais il est très petit et mesuré en laboratoire bien après Russell. C’est pourquoi Russell ne peut pas avoir qu’au fond Galilée a raison.

Galilée a étudié non pas le mouvement de la Lune (étudié par Cassini au XVII^{ème}) mais son apparence. En revanche on sait depuis 1655 que la Lune suivait aussi un mouvement de révolution net de rotation sur elle-même, mais avec un mouvement de rotation synchronisé avec sa rotation.

A partir de ces jugements sur Kepler et Galilée, Russell montre qu’ils n’ont pas été capables de porter les éléments de révolution scientifique qui étaient en leur possession jusqu’à leur terme. C’est là que Newton intervient (dans la scénographie de Russell) par une mathématisation qui signe cet aspect « statuesque et hellénique »

La comète de Halley a été le meilleur ami du système newtonien, car son mouvement est périodique avec un cycle très long à l’allure elliptique très aplati. Elle n’est pas autre chose que la représentation plus spectaculaire du mouvement des planètes.

IV.A.3 Les trois lois du mouvement

La mise en forme des apparences du ciel est une construction fondée sur un raisonnement hypothético déductif, qui repose sur l’exposition des trois lois. Avant l’exposition de ces trois lois, il est parti des définitions, qu’il ne prouve pas.

- × La quantité de matière (notre masse à nous)
- × La quantité de mouvement est définie à la manière de Galilée et Descartes : $p = mv$
- × La force d’inertie, la *vis incita*, la force qui a été imprimée
- × La force qui imprime, *vis impressa*, un choc qui imprime un mouvement différent de celui qu’il était avant
- × La force centripète, qui fait tendre un corps vers un centre, opposée à la force centrifuge
- × La quantité accélératrice et la quantité motrice de la force centripète.

Ces éléments ne sont que des préalables, mais il met en ordre tout ce qui existe déjà chez Descartes, Galilée, Huygens, des éléments qui étaient épars. De là il va tirer des lois, c’est-à-dire l’établissement d’une relation entre une variation d’élément et une autre variation d’élément, qui est supposée être celle qui fonde l’ensemble des changements qui interviennent dans l’ordre de la matière. A partir des définitions et des lois, on prétend dire quelque chose de la nature. Voici les trois lois du mouvement :

PREMIERE LOI Tout corps persévère dans l’état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n’agisse sur lui et ne le contraigne à changer d’état. (nommée plus tard la loi d’inertie)

DEUXIEME LOI Les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée. Si une force produit un mouvement quelconque, une force double de cette première produira un mouvement double et une force triple un mouvement triple, soit qu’elle

ait été imprimée en un seul coup, soit qu'elle l'ait été peu à peu et successivement et ce mouvement étant toujours déterminé du même côté que la force génératrice sera ajouté au mouvement que le corps est supposé avoir déjà s'il conspire avec lui, ou en sera retranché, s'il lui est contraire, ou bien sera retranché ou ajouté en partie s'il lui est oblique et de ces deux mouvements il s'en formera un seul dont la détermination sera composée des deux premières.

TROISIEME LOI L'action est toujours égale et opposée à la réaction, c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et dans des directions contraires. Tout corps qui presse ou tire un autre corps est en même temps tiré ou pressé lui-même par cet autre corps. Si on presse une pierre avec le doigt, le doigt est pressé en même temps par la pierre. Si un cheval tire une pierre par le moyen d'une corde, il est également tiré par la pierre car la corde qui les joint et qui est tendue des deux côtés fait un effort égal pour tirer la pierre vers le cheval et le cheval vers la pierre et cet effort s'oppose autant au mouvement de l'un qu'il excite le mouvement de l'autre. Si un corps en frappe un autre et qu'il change son mouvement de quelque façon que ce soit, le mouvement du corps choquant sera aussi changé de la même quantité et dans une direction contraire par la force du corps choqué à cause de l'égalité de leur pression mutuelle. Par ces actions mutuelles il se fait des changements égaux, non pas de vitesse, mais de mouvement, pourvu qu'il ne s'y mêle aucune cause étrangère, car les changements de vitesse qui se font de la même manière dans des directions contraires doivent être réciproquement proportionnels aux masses, parce que les changements de mouvement sont égaux. Cette loi a lieu aussi dans les attractions, comme je le prouverai dans le scholie suivant.

Newton, *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (1687)

[Le prof explique les lois en détail, des histoires d'accélération et de forces]

Dans les mouvements de révolution d'une fronde, nous ressentons un effort qui fait que la corde tire sur la main, et que la corde tire sur la main. Il fait le lien avec le mouvement des planètes, le fait que la force centrifuge est compensée vers une force centripète qui attire les planètes les unes vers les autres.

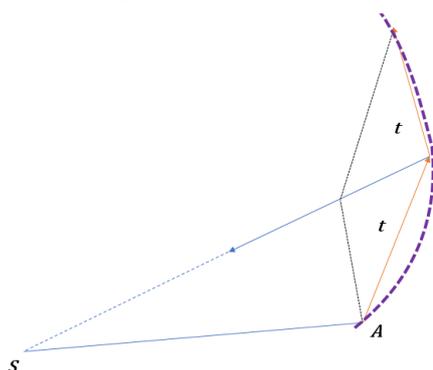
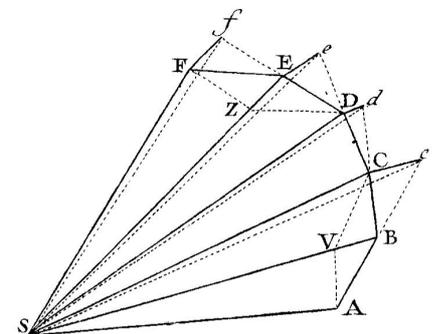
IV.A.4 Force et attraction

DEUXIÈME SECTION : De la recherche des forces centripètes.

PROPOSITION I. THEOREME I Dans les mouvements curvilignes des corps, les aires décrites autour d'un centre immobile sont dans un même plan immobile et sont proportionnelles aux temps.

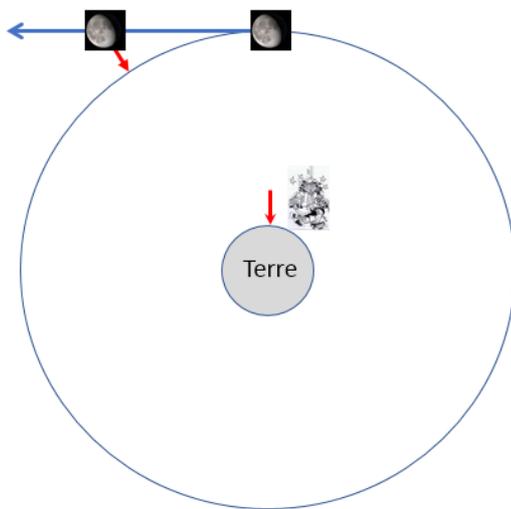
Supposé que le temps soit divisé en parties égales et que dans la première partie de ce temps le corps, par la force qui lui a été imprimée, décrive la ligne AB : suivant la première loi du mouvement dans un second temps égal au premier, il décrirait, si rien ne l'en empêchait, la droite BC = AB ; donc en tirant au centre S, les rayons AS, BS, cS, les aires ASB, BSc seraient égales.

Supposé que lorsque ce corps est arrivé en B, la force centripète agisse sur lui par un seul coup, mais assez puissant pour l'obliger à se détourner de la droite Bc et à suivre la droite BC. Si on tire la ligne Cc parallèle à BS, laquelle rencontre BC en C, à la fin de ce second temps, le corps (selon le premier corollaire des lois) sera en C dans le même plan que le triangle ASB. En tirant ensuite la ligne SC, le triangle SBC sera égal au triangle SBc, à cause des parallèles SB, Cc, donc il sera aussi égal au triangle SAB. De même, si la force centripète agit successivement sur le corps en C, D, E, etc. et qu'elle lui fasse décrire à chaque petite portion de temps les droites CD, DE, EF, etc. ces lignes seront toutes dans le même plan, et le triangle SCD sera égal au triangle SBC, le triangle SDE au triangle SCD et le triangle SEF au triangle SDE. Ce corps décrira donc en des temps égaux des aires égales dans un plan immobile : et en composant les sommes des aires quelconques SADS, SAFS seront entre elles comme les temps employés à les décrire. Qu'on imagine maintenant que le nombre des triangles augmente et que leur largeur diminue à l'infini, il est clair (par le corollaire 4 du Lemme III) que leur dernier périmètre ADF sera une ligne courbe. Donc la force centripète qui retire le corps à tout moment de la tangente de cette courbe agit sans interruption et les aires quelconques SADS, SAFS, qui étaient proportionnelles aux temps employés à les décrire, leur seront encore proportionnelles dans ce cas. C.Q.F.D.



Newton, *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (1687)

Sur la figure gauche, on peut lire la loi des aires, et observer le mouvement elliptique.



En 1665, moment où Newton reçoit supposément une pomme dans un verger sur la tête, il fait le lien entre la pomme et la Lune.

On peut se représenter le raisonnement de Newton avec le schéma. Pour Aristote, la Terre est le centre de l'univers, et tout converge vers la Terre. Pour Descartes, il y a autour de la Terre un tourbillon de particules très fines qui se heurte aux confins. Pour Newton, la Lune, si on la libérait de l'emprise de la Terre, posséderait la capacité de se déplacer en ligne droite.

$$F_{a \rightarrow b} = F_{b \rightarrow a} = G \frac{m_a m_b}{d^2}$$

La Lune et la pomme sont toutes deux soumises à cette même force. Il obtient ce résultat en sachant l'existence d'une force centripète.

Newton's law of gravitation has had a peculiar history. While it continued for over two hundred years to explain almost every fact that was known in regard to the motions of the heavenly bodies, it remained itself isolated and mysterious among natural laws. New branches of physics grew to vast proportions; the theories of sound, heat, light, and electricity were successfully explored; but no property of matter was discovered which could be in any way connected with gravitation. It was only through Einstein's general theory of relativity (1915) that gravitation was fitted into the general scheme of physics, and then it was found to belong rather to geometry than to physics in the old-fashioned sense.

From a practical point of view, Einstein's theory involves only very minute corrections of Newtonian results. These very minute corrections, so far as they are measurable, have been empirically verified; but while the practical change is small, the intellectual change is enormous, since our whole conception of space and time has had to be revolutionized. The work of Einstein has emphasized the difficulty of permanent achievement in science. Newton's law of gravitation had reigned so long, and explained so much, that it seemed scarcely credible that it should stand in need of correction. Nevertheless, such correction has at last proved necessary, and no one doubts that the correction will, in its turn, have to be corrected.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 25). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

De même qu'avec les théories d'Einstein, il y a chez Newton la détermination de l'empiricité de l'expérience qui ne vient pas seulement appuyer la théorie, mais est à son origine même.

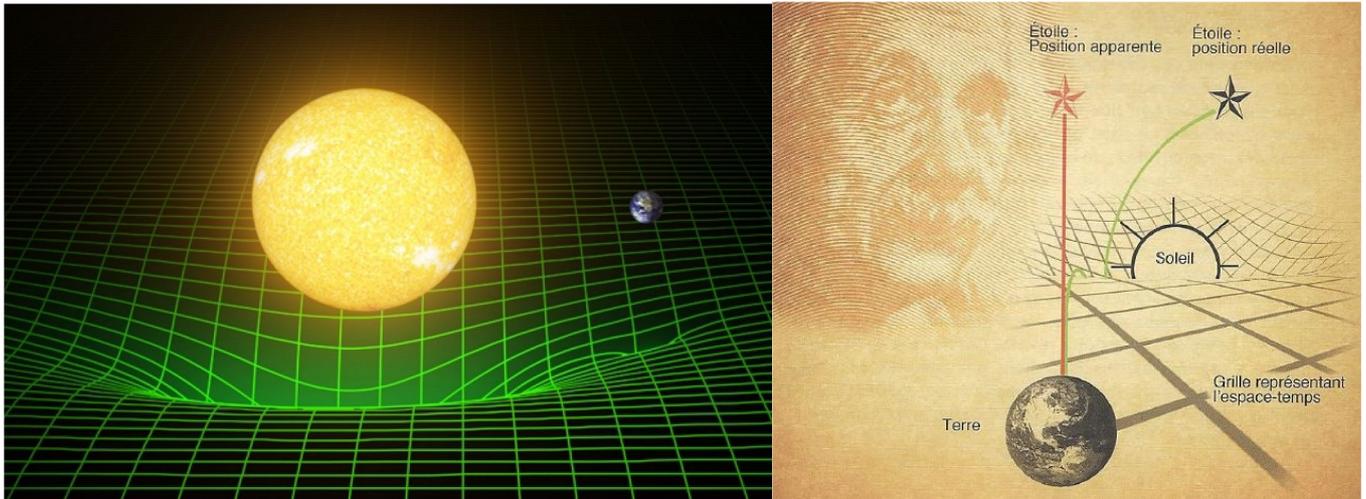
Unlike most such stories, it is not certainly known to be false. At any rate, it was in the year 1665 that Newton first thought of the law of gravitation, and in that year, on account of the Great Plague, he spent his time in the country, possibly in an orchard.

On ne peut pas, selon Russell, disqualifier la théorie selon laquelle la découverte de Newton s'est effectivement déroulée comme cela, si l'origine empirique de la chute des corps (l'histoire de la pomme et de l'analogie avec la Lune). En vérité, Russell *doit* maintenir l'existence de cette fable car il veut maintenir aux fondements de l'intuition physique quelque chose qui relève de l'intuition sur les phénomènes, quelque chose qui permet de rattacher les événements des théories physiques à des événements qui ont été empiriquement vérifiés.

Cela est lié au fait que, ce que Einstein apporte à la théorie de Newton c'est l'existence d'une structure mathématique qui permet de se passer des hypothèses de Newton qui incluent l'existence inexplicable d'une force attractive entre deux corps.

Il y a dans l'apport d'Einstein une clarification mathématique sur le fait que le mouvement des planètes autour du Soleil est lié à une propriété de l'espace-temps. Les lignes de l'espace sont déformées en fonction de la masse. En 1917 on confirmera effectivement cette théorie de 1915, en observant les rayons lumineux d'une

étoile derrière le Soleil, car les rayons lumineux suivent un chemin qui est déformé en raison de la présence du Soleil.



IV.B TD

IV.B.1 Texte et premières remarques

In France, meanwhile, Descartes had inaugurated modern philosophy, but his theory of vortices [tourbillon] proved an obstacle [s'est présenté comme un obstacle] to the acceptance of Newton's ideas. It was only after Newton's death, and largely as a result of Voltaire's *Lettres Philosophiques*, that Newton gained vogue, but when he did his vogue was terrific; in fact, throughout [tout au long] the following century down to the fall of Napoleon, it was chiefly the French who carried on Newton's work. The English were misled by patriotism into adhering to his methods where they were inferior to those of Leibniz, with the result that after his death English mathematics were negligible for a hundred years. The harm that in Italy was done by bigotry was done in England by nationalism. It would be hard to say which of the two proved the more pernicious. Though Newton's *Principia* retains the deductive form which was inaugurated by the Greeks, its spirit is quite different from that of Greek work, since the law of gravitation, which is one of its premises, is not supposed to be self-evident [aller de soi], but is arrived at [mais est atteint] inductively from Kepler's laws. **The book, therefore, illustrates scientific method in the form which is its ideal. From observation of particular facts, it arrives by induction at a general law, and by deduction from the general law other particular facts are inferred. This is still the ideal of physics, which is the science from which, in theory, all others ought to be deduced;** but the realization of the ideal is somewhat more difficult than it seemed in Newton's day, and premature systemization has been found to be a danger.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 24-25). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

Newton, avec ses *Principia*, illustre la méthode scientifique, dans la forme qui représente son idéal (qui est toujours le même aujourd'hui). Voir texte en gras ci-dessus.

Le rôle de Newton pour Russell n'est pas seulement celui de synthétiser, mais bien aussi de présenter pour la première fois sous la forme d'un traité moderne ce mouvement particulier de la méthode scientifique, qui est de constituer une puissance prédictive à partir d'un matériau qui est observé et dont on a tiré un ensemble de lois.

IV.B.2 Commentaires sur le début du texte

Leibniz et Newton ont découvert à deux dates très proches le calcul différentiel par des voies différences, ce qui cause cette crise de patriotisme.

La bigoterie, c'est l'obéissance aveugle à la religion. Le nationalisme a été le ferment d'un renfermement sur soi, ce qui représente bien les idées que Russell a dans ses activités de pacifistes. On fait entrer ici dans un ouvrage qui devrait qualifier la méthode scientifique des éléments d'appréciation du développement des sciences qui empruntent à des analyses totalement différentes.

Le début de ce texte est l'introduction d'un nouvel angle d'attaque dans l'appréciation du rôle de Newton. Newton en France a été rejeté à cause de Descartes, mais encouragé par Voltaire : on soupçonne que pour Russell, en France c'est surtout une question d'acceptation d'idées. Les progrès que Newton permet d'accomplir sont en quelque sorte une lutte entre deux camps qui échangeant des idées (les cartésiens et les voltairiens).

Le tableau est différent en Italie (bigoterie) et en Angleterre (nationalisme) et donc eux n'apprécient le développement scientifique qu'à travers des formules qui ne peuvent qu'obscurcir le véritable contenu de ce que Newton a apporté. Les français avaient une vision plus claire de ce que Newton (ou Leibniz) pouvait apporter.

L'appréciation de la connaissance scientifique est soumise à des filtres nationaux, et chaque pays apprécie les découvertes scientifiques à sa manière. C'est assez réducteur, néanmoins ce n'est pas tout à fait faux de dire que la tradition newtonienne a été entretenue en France par Voltaire, mais aussi par la traduction des ouvrages de Newton. Jean Paul Maras, personnage important de la Terreur, assassiné en 1793, un physicien, avait traduit *L'optique*, alors que de nos jours on n'a pas de telle traduction autre que celle-ci. De même, il n'y a pas d'autre édition française des *Principia mathematica* plus récente que celle du début du XVIIIème siècle.

Toute l'Académie des sciences (Rabot, Lagrange, etc.) défend les idées de Newton, mais Newton a été encensé dans toutes ses dimensions, alors qu'il aurait mieux valu débarrasser Newton de son aspect « statuesque ».

Cette approche par le prisme des nationalismes est quelque chose que nous n'avions pas vu jusqu'à présent, qui est l'intrication des sciences et des sociétés elles-mêmes. Il faut analyser les possibilités d'imbrication entre les développements purement scientifiques et une appréciation sociale, sociétale et civilisationnelle de ces développements.

IV.B.3 Commentaires à partir de « Though Newton ... »

Newton, comme Galilée, reprend la méthode initiée par les grecs, mais est atteinte par induction depuis les lois de Kepler. C'est ce qui fait que le travail de Newton, malgré sa forme géométrique et grecque, retient l'attention de Russell. Ce que ça change profondément, c'est que nous ne sommes plus seulement dans un processus purement déductif.

Les lois de Kepler sont empiriques, et c'est en unifiant les lois de Kepler (par rapport aux observations et aux théories de Copernic, de Huygens, de Galilée) que Newton parvient à cette méthode scientifique. Il est révolutionnaire parce qu'il repose sa méthode sur un raisonnement inductif, pas pour sa mathématisation (qui n'en demeure pas moins impressionnante).

IV.B.4 Démonstration de la troisième loi de Kepler

$$F_{centrifuge} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{Or, } F = m \frac{d^2x}{dt^2}$$

Pour T la période pendant laquelle la planète effectue une révolution sur une courbe assimilable à un cercle de rayon r et de périmètre $2\pi r$, $v = \frac{2\pi r}{T}$

$$\text{Ainsi, en instanciant } v, F = m \left[\frac{2\pi r}{T} \right]^2 \frac{1}{r}$$

$$\text{D'où } F = \frac{4\pi m}{r^2} \frac{r^3}{T^2}$$

On retrouve alors le fameux $\frac{r^3}{T^2}$ de Kepler.

V. SEANCE 5

Nous avons vu le rôle de Newton dans le texte de Russell, ce qui se confirmera dans les parties qui seront consacrées à la structure de la méthode. Nous sauterons les passages sur Pavlov, en allant à la caractérisation de la méthode scientifique.

V.A Biologie

Des œuvres utilisées :

- Charles Darwin, *The Origin of Species*, NY, Appletown & Cie, 1861 (1^{ère} édition 1859, Londres)
- Georges Canguilhem, *La connaissance de la vie*, Paris : Hachette, 1952
- « C. Darwin, l'Origine des espèces », in S. J. Gould, *La structure de la théorie de l'évolution*, Paris: Flammarion, 2006

V.A.1 Premier extrait : le rôle de Darwin dans les sciences modernes

Nous allons découvrir le rôle que peuvent jouer dans l'avènement de la méthode scientifique des sciences qui ne sont pas mathématisées (et qui le sont difficilement), même si on s'aperçoit qu'il y a en filigrane dans la pensée de Russell une sorte de croyance (plutôt partagée) dans le fait que toutes les sciences de la nature peuvent être, et seront, mathématisées.

Si on met de côté la physiologie animale et humaine, qui est descriptive, les découvertes biologiques sont de plus en plus associées à la chimie et à la physique. Donc d'une certaine manière la prédiction de Russell est assez juste.

The earliest triumphs of scientific method were in astronomy. Its most noteworthy triumphs in quite recent times have been in atomic physics. Both these are matters requiring much mathematics for their treatment. **Perhaps in its ultimate perfection all science will be mathematical**, but in the meantime there are vast fields to which mathematics is scarcely applicable, and among these are to be found some of the most important achievements of modern science. We may take Darwin's work as **illustrative** of the **non-mathematical sciences**. Darwin, like Newton, dominated the intellectual outlook of an epoch, not only among men of science, but among the general educated public; and, like Galileo, he came into conflict with theology, though with results less disastrous to himself. Darwin's importance in the history of culture is very great, but the value of his work from a strictly scientific point of view is difficult to appraise [évaluer]. He did not invent the hypothesis of evolution, which had occurred to many of his predecessors. He brought a mass of evidence in its favour, and he invented a certain mechanism which he called "natural selection" to account for it. Much of his evidence remains valid, but "natural selection" is less in favour amongst biologists than it used to be.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 25-26). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

La physique atomique n'est pas développée dans la première partie de l'ouvrage, mais sera discutée dans la partie sur les techniques scientifiques.

La difficulté est de qualifier comment la biologie, qui n'est pas mathématisée, ont quand même participé à la science moderne. La méthode vue jusqu'ici consistait à partir de faits, d'obtenir une loi par induction, puis de produire des prédictions (phénomènes parmi ceux qui n'ont pas été encore observés).

Les sciences biologiques, sans être formelles, ont avoir avec le développement moderne de la rationalité scientifique. Cela nous conduit au-delà de Newton pour l'appréciation de toutes les théories, partant des premières études classificatoires des plantes (Cesalpino ?) jusqu'à

We may take Darwin's work as illustrative of the non-mathematical sciences. Sans aller au-delà du texte, il faut bien de montrer de quelle manière la biologie est véritablement une science. Il y a une réflexion en biologie qui touche à la racine de la science sans forcément en adopter la forme.

On compare Darwin à Newton (ici considéré comme celui qui a établi la dignité de la science à travers sa géométrisation) et à Galilée (ici renvoyé à la confrontation entre foi et savoir du côté de l'affirmation péremptoire d'un certain nombre de conséquences relevant de sa mécanique qui allait en conflit avec l'Église).

En quoi Darwin est-il entré en conflit avec des croyances (fin/milieu du XIX^{ème} siècle) ? Ses travaux portent sur ce qui constitue les formes originelles de la vie, ce qui renvoie au fait que nous sommes nous-même issus de l'évolution. Certains commentateurs diront que cela revient à dire brutalement que nous descendons du singe. C'est donc bien pire que ce que Galilée avait pu affirmer : on lui avait reproché un détail de l'Ancien Testament, mais ici c'est une affirmation qui ne *peut pas* être compatible avec le créationnisme. D'un côté, toutes les formes de vies sont nées en seulement une semaine, de l'autre est une théorie sur un temps long.

Darwin's importance in the history of culture is very great, but the value of his work from a strictly scientific point of view is difficult to appraise. Ce passage relève plus de libertés littéraires de Russell, et n'est pas scientifiquement très sérieux.

Much of his evidence remains valid, but "natural selection" is less in favour amongst biologists than it used to be. L'idée de sélection naturelle a quand même bien tenu la route depuis 1930, même les modifications qui ont eu lieu n'ont pas vraiment touché au cœur de la théorie de Darwin.

La présentation faite de Darwin par Russell intervient dans une sorte de tryptique où il n'a pas la meilleure place : son travail n'est pas mathématisé, pour lequel ses propres productions scientifiques sont difficiles à évaluer (il n'a pas inventé la théorie de l'évolution, et le concept central, la sélection naturelle, a perdu de la valeur aux yeux des biologistes contemporains de Russell).

Un point nous intéresse particulièrement : que cela soit chez Galilée, chez Newton ou chez Darwin, à partir du moment où la méthode scientifique s'impose, fait école, sa valeur est mesurée par le nombre de ceux qui l'acceptent, dans le nombre de ceux qui se placent dans le paradigme dominant (Kuhn), c'est-à-dire à partir du moment où les concepts créés deviennent langue commune. Cet élément n'est pour le moment pas thématiquement par Russell mais reviendra, car l'un des aspects de la méthode scientifique est qu'elle contribue à créer un langage, dont on doit accepter les termes.

D'une certaine manière, le darwinisme n'a pas été dépassé, il a seulement été amendé. La dernière modification notable tourne autour d'un mécanisme évolutionniste ayant des étapes graduées, des phases de stases pendant lesquelles l'évolution semble stagner, avant d'engendrer d'autres mécanismes par la suite. Cela ne remet pas en cause le concept de sélection par le non usage d'une fonction ou l'inadéquation d'un organisme.

V.A.2 Deuxième extrait

Apart from scientific details, Darwin's importance lies in the fact that he caused biologists, and through them, the general public, to **abandon the former belief in the immutability of species**, and to accept the view that all different kinds of animals have been developed by variation out of a common ancestry. Like every other innovator of modern times, he had to combat the authority of Aristotle. Aristotle, it should be said, has been one of the great misfortunes of the human race. To this day the teaching of logic in most universities is full of nonsense for which he is responsible. The theory of biologists before Darwin was that there is laid up in Heaven an ideal cat and an ideal dog, and so on; and that actual cats and dogs are more or less imperfect copies of these celestial types. Each species corresponds to a different idea in the Divine Mind, and therefore there could be no transition from one species to another, since each species resulted from a separate act of creation. Geological evidence made this view increasingly difficult to maintain, since the ancestors of existing widely separated types were found to resemble each other much more closely than do the species of the present day. The horse, for example, once had his proper complement of toes; early birds were scarcely distinguishable from reptiles, and so on. While the particular mechanism of "natural selection" is no longer regarded by biologists as adequate, the general fact of evolution is now universally admitted among educated people. In regard to animals other than man, the theory of evolution might have been admitted by some people without too great a struggle, but in the popular mind Darwinism became identified with the hypothesis that men are descended from monkeys. This was painful to our human conceit, almost as painful as the Copernican doctrine that the earth is not the centre of the universe.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 27-28). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

Le terrain du combat de Darwin aura été celui de l'abandon du fixisme : « abandon the former belief in the immutability of species. » Le fixisme consiste à dire que les espèces ont été fixées à la création du monde, et que la seule évolution à attendre est leur dégénérescence, des espèces disparaissent mais aucune n'est formée à partir d'autres espèces.

Aristote : la matière c'est la puissance, la forme c'est l'acte (???)

Le débat de l'immutabilité remonte à bien avant Darwin, en témoigne cette liste. Nous avons depuis la moitié du XVIIIème siècle de nombreux savants qui y sont impliqués.

Nicolas Sténon (Niels Stensen), *Elementorum myologiae specimen, seu musculi descriptio geometrica : cui accedunt Canis Carchariae dissectum caput, et dissectus piscis ex Canum genere*, 1667. Il était fixiste, arrangé du côté du créationisme, étude du corps et du muscle.

Francesco Redi, *Esperienze intorno alla generazione degl'insetti*, 1668. Etude des insectes, de la mue, et donc de l'origine de cette évolution dans la vie de l'insecte.

Antoni van Leeuwenhoek, observation d'animalcules spermatiques, communication faite par Robert Hooke (auteur de la *Micrographia*, 1665) dès novembre 1677 à la Royal Society.

Nicolas Malebranche, *De la recherche de la vérité*, 1668-1675. Il est très cartésien, mais fixiste. Donc Russell a tort en disant que c'était Darwin contre Aristote : lorsque les pères de la biologie se sont penchés sur l'histoire, ils ont loué Aristote pour être le premier à s'être penché sur la diversité.

Jan Swammerdam, *Biblia naturæ*, 1673 et *Historia insectorum generalis*, 1685

Marcello Malpighi, *Anatome plantarum*, 1675-1679. Première étude physiologique des plantes, une analyse fonctionnelle de la manière dont les plantes vivent.

Nicolas Andry, *De la génération des vers dans le corps de l'homme*, 1700

Hermann Boerhaave, *De usu ratiocinii mechanici in medicina*, 1703 et *Institutiones de médecine*, traduites par La Mettrie en 1708. Médecin le plus connu de son époque, qui a introduit des méthodes mécaniques en médecines.

Georg-Ernst Stahl, *Theoria medica vera*, 1707. On le retrouve chez Kant, dans la préface de la *Critique de la raison pure*, il intervient plutôt en chimie.

Georges Louis Leclerc de Buffon, *Histoire naturelle, générale et particulière*, avec la description du cabinet du roi, Paris, Imprimerie Royale, 1749-1789. Relai important pour passer à la Diderot notamment. Il réfléchit beaucoup à l'hypothèse selon laquelle à partir d'un animal on pourrait dériver tous les autres. Grande inspiration pour Diderot, pour passer à une théorie de la transformation.

John Needham, *Nouvelles observations microscopiques, avec des découvertes intéressantes sur la composition et la décomposition des corps organisés*, 1750 (traduction, notamment, de *An account of some microscopical discoveries*, 1745)

Louis Jean-Marie Daubenton (*Histoire naturelle des animaux*, 1749, anatomie des quadrupèdes, des serpents et des poissons, contributeur proluxe à l'*Encyclopédie*)

Charles Bonnet, *Considérations sur les corps organisés*, 1762

Caspar-Friedrich Wolff, *Theoria generationis*, 1759

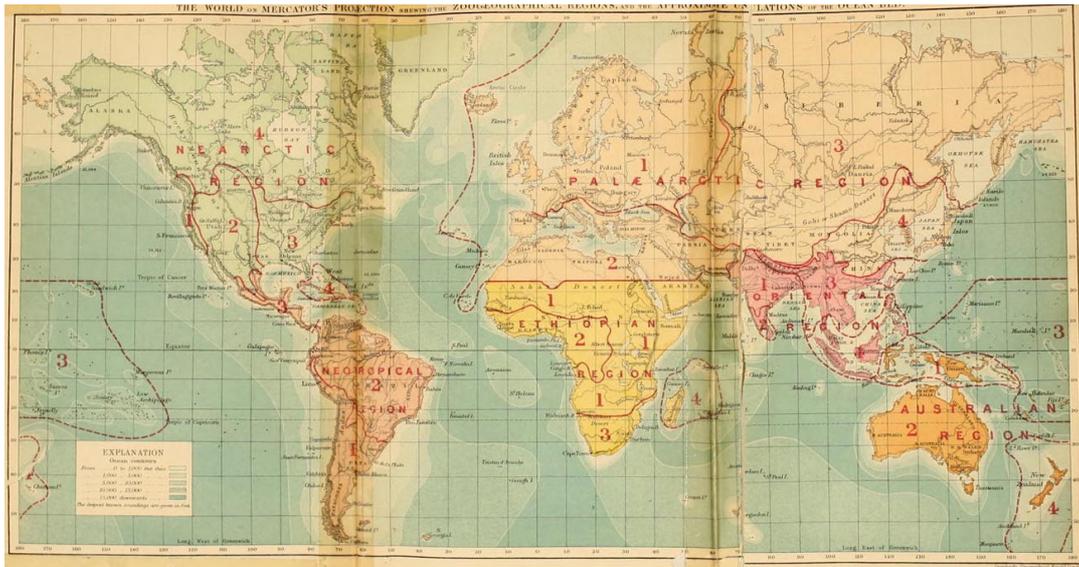
Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, *Vénus physique*, 1752. Il intervient dans le domaine médical, qui a approché de plus près, par ses observations sur les transformations des corps, la transformation de la matière.

Jean-Baptiste Lamarck, *Philosophie zoologique, ou Exposition des considérations relatives à l'histoire naturelle des animaux*, Paris, Dentu / Chez l'A., Museum, 1809. Doctrine du transformisme, le corps est présenté comme se transformant suite à des besoins physiologiques qui n'ont pas nécessairement de lien avec le milieu extérieur.

Georges Cuvier, *Discours sur les révolutions de la surface du globe, et sur les changements qu'elles ont produits dans le règne animal*. Paris, G. Dufour et éd. d'Ocagne, 1825. S'oppose à St-Hilaire, c'est un dernier cri du fixisme en Europe, il se fonde sur des réflexions géologiques [ce n'est pas parce qu'il est fixiste que c'est un rigolo]

Etienne Geoffroy Saint-Hilaire, *Philosophie anatomique. Des monstruosités humaines*. Paris, chez l'A., 1822. Il s'est aventuré dans la théorie évolutive.

Alfred Russell Wallace, *Contributions to the theory of Natural Selection*, 1870, and Charles Darwin and Alfred Wallace, 'On the Tendency of Species to form Varieties' (Papers presented to the Linnean Society 30th June 1858) Cambridge, Routledge, 2003



The Geographical Distribution of Animals, London, Harper & Brothers, 1876

En 1858, première session où est évoquée la théorie de la variation des espèces. Cette carte représente la supposée répartition des animaux dans le monde.

V.A.3 Retour au second texte

“Aristotle, it should be said, has been one of the great misfortunes of the human race”. C’est un jugement abusif et presque obsessionnel de Russell qui est fausse historiquement.

“This was painful to our human conceit, almost as painful as the Copernican doctrine that the earth is not the centre of the universe”. Cette phrase fait référence au texte de Freud à propos de cette question :

Dans le cours des siècles, la science a infligé à l'égoïsme naïf de l'humanité **deux graves démentis**. La première fois, ce fut lorsqu'elle a montré que la Terre, loin d'être le **centre de l'Univers**, ne forme qu'une parcelle insignifiante du système cosmique dont nous pouvons à peine nous représenter la grandeur. Cette première démonstration se rattache pour nous au nom de Copernic, bien que la science alexandrine ait déjà annoncé quelque chose de semblable.

Le second démenti fut infligé à l'humanité par la recherche biologique, lorsqu'elle a réduit à rien les prétentions de l'homme à une **place privilégiée dans l'ordre de la création**, en établissant sa descendance du règne animal et en montrant l'indestructibilité de sa nature animale. Cette dernière révolution s'est accomplie de nos jours, à la suite des travaux de Charles Darwin, d'Alfred Wallace et de leurs prédécesseurs, travaux qui ont provoqué la résistance la plus acharnée des contemporains.

Un troisième démenti sera infligé à la mégalomanie humaine par la recherche psychologique de nos jours qui se propose de montrer au moi qu'il n'est seulement pas **maître dans sa propre maison**, qu'il en est réduit à se contenter de renseignements rares et fragmentaires sur ce qui se passe, en dehors de sa conscience, dans sa vie psychique.

Les psychanalystes ne sont ni les premiers ni les seuls qui aient lancé cet appel à la modestie et au recueillement, mais c'est à eux que semble échoir la mission d'étendre cette manière de voir avec le plus d'ardeur et de produire à son appui des matériaux empruntés à l'expérience et accessibles à tous. D'où la levée générale de boucliers contre notre science, l'oubli de toutes les règles de politesse académique, le déchaînement d'une opposition qui secoue toutes les entraves d'une logique impartiale.

Freud, *Introduction à la psychanalyse* (1917), Paris, Payot, 1965, p. 266.

On aura un texte quasiment inverse avec Popper lorsqu'il sera amené à juger la psychanalyse, qu'il considère presque comme de la charlatanerie, et il reprend cette idée de fissure dans l'égo de l'humanité. Cette idée est répandue.

Russell considère comme science ce qui suit Newton, et il ne sait pas trop comment situer Darwin, donc il adopte une sorte de position indécise qu'on retrouvera par la suite lorsqu'il s'agira de qualifier la technique biologique. Contrairement à la chimie qui est mathématisée à l'époque de Russell (le texte sur les mouvements browniens, le nombre d'Avogadro, les travaux de Niels Bohr), il reste indécis quant à la biologie.

[Profitez de la pause pour boire un peu de lait ou de jus de fruit]

V.B TD

V.B.1 Texte

Darwin's work, even though it may require correction on many points, nevertheless affords an example of what is essential in scientific method, namely, the substitution of general laws based on evidence for [substitution ... for] fairy-tales embodying a fantasy of wish-fulfilment. Human beings find it difficult in all spheres to base their opinions upon evidence rather than upon their hopes. When their neighbours are accused of lapses from virtue, people find it almost impossible to wait for the accusation to be verified before believing it. When they embark upon a war, both sides believe that they are sure of victory. When a man puts his money on a horse, he feels sure that it will win. When he contemplates himself, he is convinced that he is a fine fellow who has an immortal soul. The objective evidence for each and all of these propositions may be of the slightest, but our wishes produce an almost irresistible tendency to believe. Scientific method sweeps aside our wishes and endeavours to arrive at opinions in which wishes play no part. There are, of course, practical advantages in the scientific method; if this were not so, it would never have been able to make its way against the world of fantasy. The bookmaker is scientific and grows rich, whereas the ordinary better is unscientific and grows poor. And so in regard to human excellence, the belief that men have souls has produced a certain technique for the purpose of improving mankind, which, in spite of prolonged and expensive effort, has hitherto had no visible good result. The scientific study of life and of the human body and mind, on the contrary, is likely, before very long, to give us the power of producing improvements beyond our previous dreams, in the health, intelligence, and virtue of average human beings.

Darwin was mistaken as to the laws of heredity, which have been completely transformed by the Mendelian theory. He had also no theory as to the origin of variations, and he believed them to be much smaller and more gradual than they have been found to be in certain circumstances. On these points modern biologists have advanced far beyond him, but they would not have reached the point at which they are but for the impetus given by his work; and the massiveness of his researches was necessary in order to impress men with the importance and inevitability of the theory of evolution.

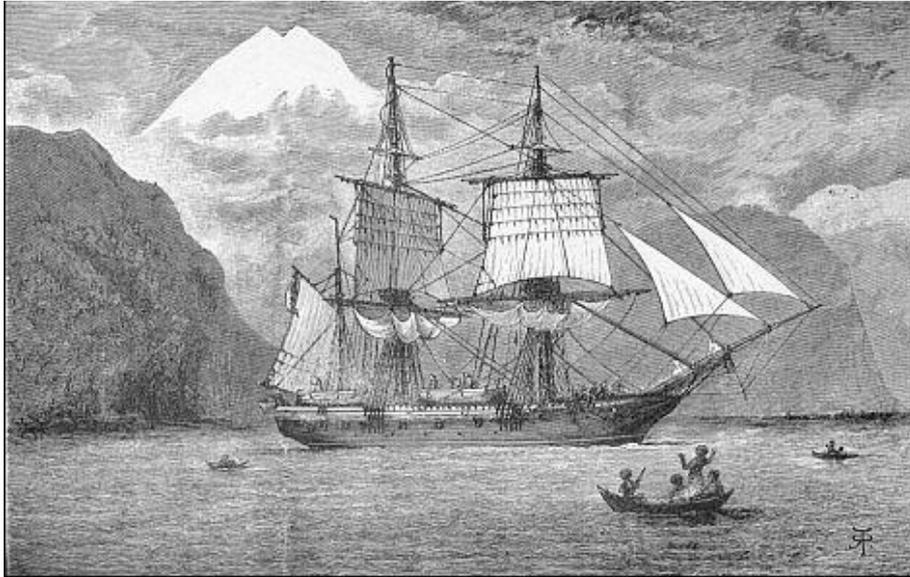
Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (pp. 28-30). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

V.B.2 Jusqu'à « before believing it »

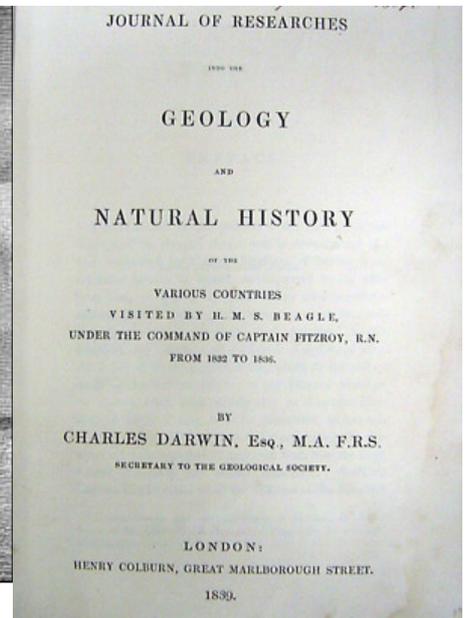
Darwin, s'est opposé à la théologie et aux opinions : la méthode scientifique arrache à la croyance populaire cette composante religieuse et de croyance fondée sur aucun fait mais sur des fantasmes. Cette tendance humaine est forte et mène aux explications les plus simples.

Darwin a rendu la science plus imperméable aux opinions qui ne sont pas des faits observables. Cette figure est très différente de Newton et Galilée.

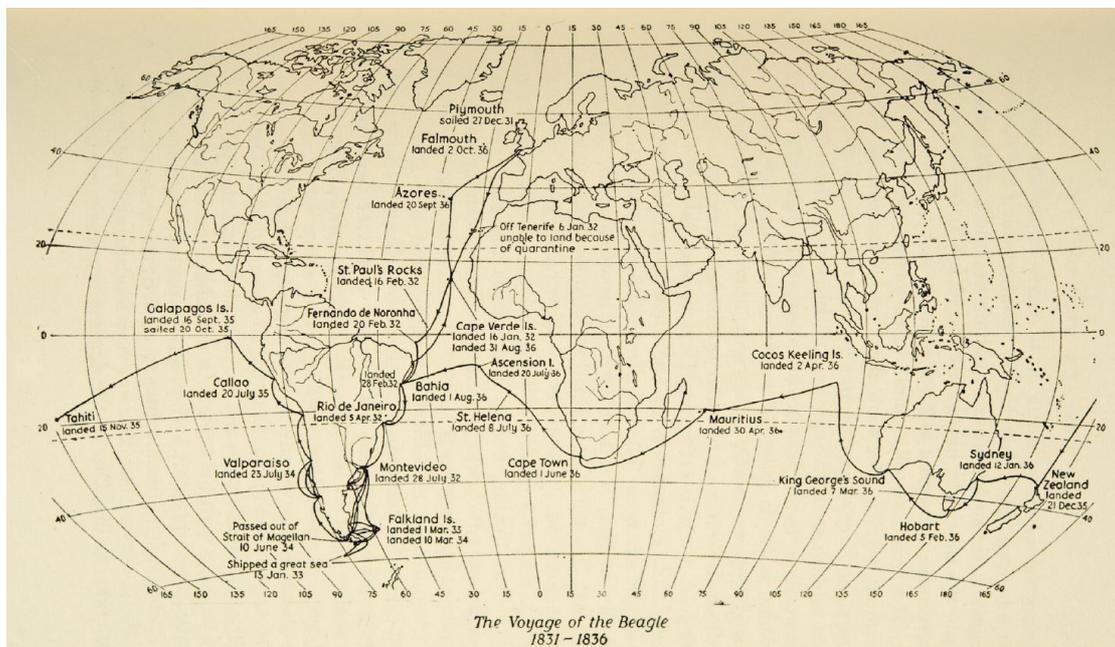
En effet, Russell a raison de présenter les travaux de Darwin (comme Wallace) comme il le fait ; ses travaux sont construits comme le récit des phénomènes. Ses travaux reposent sur deux voyages à travers le monde.



H.M.S. *Beagle* in Straits of Magellan. Mt. Sarmiento in the distance.



Il a observé en particulier les oiseaux et les tortues, la diversité animale, à partir de quoi va naitre dans ses écrits un certain nombre de concepts.



Il ressort de ce voyage de 5 ans (qui ne devait durer que quelques mois) avec une foule d'observations. Dans la préface de *L'origine des espèces*, il remercie ses prédécesseurs :

CONTRIBUTED BY THE AUTHOR TO THIS AMERICAN EDITION.

I WILL here attempt to give a brief, but I fear imperfect, sketch of the progress of opinion on the Origin of Species. The great majority of naturalists have believed that species were immutable productions and have been separately created: this view has been ably maintained by many authors. A few naturalists, and several who have not particularly studied natural history, believe, on the other hand, that species undergo modification, and that the existing forms of life have descended by true generation from pre-existing forms. Passing over authors of the classical period, and likewise Demaillet and Buffon, with whose writings I am not familiar, Lamarck was the first man, whose view that species undergo change excited much attention. This justly celebrated naturalist published his *Philosophie Zoologique* in 1809, and his *Introduction to his Hist. Nat. des animaux sans Vertèbres* in 1815, in which works he upholds the doctrine that species are descended from each other. He seems to have been chiefly led to this conclusion by the difficulty of distinguishing species and varieties,—by the almost perfect gradation of the forms in certain groups, and by the analogy of domestic productions. With respect to the means of modification, he attributed something to the action of

external conditions, something to the crossing of already existing forms, and much to use and disuse or the effects of habit. To this latter agency he seems to attribute all the beautiful adaptations in nature,—such as the long neck of the giraffe for browsing on the branches of trees.* But he likewise believed in a law of progressive development; and as all the forms of life thus tended to progress, in order to account for the presence of very simple productions at the present day, he maintained that such forms were now spontaneously generated.

Geoffroy Saint Hilaire, as is stated in his *Life* by his Son, as early as 1795, suspected that what we call species are various degenerations of the same type. It was not until 1828 that he published his conviction that the same forms have not been perpetuated since the origin of all things. Geoffroy seems to have relied chiefly on the conditions of life, or the “monde ambiant,” as the cause of change; but he was cautious, and, as his son says, “C’est donc un problème à réserver entièrement à l’avenir, supposé même que l’avenir doive avoir prise sur lui.”

C. Darwin, *The Origin of Species*, NY, Appletown & Cie, 1861

V.B.3 Passage de fin de *L'origine des espèces*

It is interesting to contemplate an entangled bank, clothed with many plants of many kinds, with birds singing on the bushes, with various insects flitting about, and with worms crawling through the damp earth, and to reflect that these elaborately constructed forms, so different from each other, and dependent on each other in so complex a manner, have all been produced by laws acting around us. These laws, taken in the largest sense, being Growth with Reproduction; Inheritance which is almost implied by reproduction; Variability from the indirect and direct action of the external conditions of life, and from use and disuse; a Ratio of Increase so high as to lead to a Struggle for Life, and as a consequence to Natural Selection, entailing Divergence of Character and the Extinction of less-improved forms. Thus, from the war of nature, from famine and death, the most exalted object which we are capable of conceiving, namely, the production of the higher animals, directly follows. There is a grandeur in this view of life, with its several powers, having been originally breathed into a few forms or into one; and that, whilst this planet has gone cycling on according to the fixed law of gravity, from so simple a beginning endless forms most beautiful and most wonderful have been, and are being, evolved.

C. Darwin, *The Origin of Species*, NY, Appletown & Cie, 1861, Ch. XIV, p. 425

En vert, les principes fondamentaux, et en bleu leurs conséquences.

De la contemplation naît des lois générales : la **croissance** et la **reproduction**, l'**hérédité** (inheritance), la **variation** (variability, liée à une pression des conditions extérieures et à l'usage ou le non usage), le **ratio de croissance**. Ce sont des conditions globales non seulement pour des individus mais aussi pour une espèce. Darwin ne le sait pas mais le principe de reproduction est valable au niveau cellulaire d'une certaine façon, d'être 2 à partir de 1.

Lorsqu'il parle de lois, il en parle « in the largest sense », ce ne sont pas les lois de la thermodynamique, mais il s'agit de principes généraux qui gouvernent l'existence des espèces.

Exemple de variation : des crabes évoluent de crabe de plage à crabe des profondeurs, et ont encore les trous dans leur coquille pour des yeux mais n'ont plus d'yeux (car ils ne sont d'aucune utilité).

La nature forme de contenant de la variation et de la croissance des espèces, et cette limite fait partie de ce qui va transformer l'organisme et qui contribue à la « struggle for life », la lutte pour la vie. Cela conduit comme une conséquence à la sélection naturelle, qui conduit à l'expression des caractères et l'extinction d'espèces.

On voit toutes les **formes de la méthode scientifique** telle que Russell l'admet : il y a la contemplation (observation, classification), puis la compréhension de l'évolution des fonctions selon le milieu (d'où les voyages de Darwin).

VI. SEANCE 6

VI.A Fin du développement sur Darwin

VI.A.1 Lamarck

Je fréquentais plusieurs fois par décade, au Jardin des Plantes, le cours d'histoire naturelle de M. de Lamarck [...]. M. de Lamarck était, dès lors, comme le dernier représentant de cette grande école de physiciens et observateurs généraux qui avait régné depuis Thales et Démocrite jusqu'à Buffon [...]. Sa conception des choses avait beaucoup de simplicité, de nudité et beaucoup de tristesse. Il construisait le monde avec le moins d'éléments, **le moins de crises et le plus de durée possible** [...]. Une longue patience aveugle, c'était son génie de l'Univers [...]. De même, dans l'ordre organique, une fois admis ce pouvoir mystérieux de la vie, aussi petit et aussi élémentaire que possible, il le supposait se développant lui-même, se confectionnant peu à peu avec le temps ; le besoin sourd, la seule habitude dans les milieux divers faisaient naître à la longue les organes, contrairement au pouvoir constant de la nature qui les détruisait, car M. de Lamarck séparait la vie d'avec la nature. La nature à ses yeux, c'était la pierre et la cendre, le granit de la tombe, la mort. **La vie n'y intervenait que comme un accident étrange et singulièrement industriel, une lutte prolongée avec plus ou moins de succès ou d'équilibre çà et là, mais toujours finalement vaincue ; l'immobilité froide était régnante après comme devant.**

Sainte-Beuve, *Volupté*, cité dans G. Canguilhem, *La connaissance de la vie*, Paris : Hachette, 1952

Lamarck est un transformiste, c'est-à-dire qu'il a introduit dans l'analyse des espèces la prise en considération de l'environnement extérieur des espèces qui les amène à modifier leurs fonctions, et la modification de ces fonctions amène la modification des organismes et des organes. Il envisageait ces modifications sur un temps longs, de sorte que les espèces ont pour ainsi dire le temps d'essayer toutes les transformations, de même que l'érosion d'une roche mène à la formation de forme étonnante sur les massifs.

On peut envisager un rapprochement entre cette théorie et celles de la thermodynamique et du fait que les corps tendent à un équilibre thermique, ici la mort.

VI.A.2 Diderot

(...) Si la foi ne nous apprenait que les animaux sont sortis des mains du Créateur tels que nous les voyons ; et **s'il était permis d'avoir la moindre incertitude sur leur commencement et sur leur fin**, le philosophe abandonné à ses conjectures ne pourrait-il pas soupçonner que l'animalité avait de toute éternité ses éléments particuliers, épars et confondus dans la masse de la matière ; qu'il est arrivé à ces éléments de se réunir, parce qu'il était possible que cela se fit ; que l'embryon formé de ces éléments a passé par une infinité d'organisations et de développements ; qu'il a eu, par succession, du mouvement, de la sensation, des idées, de la pensée, **de la réflexion, de la conscience**, des sentiments, des passions, des signes, des gestes, des sons, des sons articulés, une langue, des lois, des sciences, et des arts ; qu'il s'est écoulé des **millions d'années** entre chacun de ces développements ; qu'il a peut-être encore d'autres développements à subir et d'autres accroissements à prendre, qui nous sont inconnus ; qu'il a eu ou qu'il aura un **état stationnaire** ; qu'il s'éloigne ou qu'il s'éloignera de cet état par un dépérissement éternel, pendant lequel ses facultés sortiront de lui comme elles y étaient entrées ; qu'il disparaîtra pour jamais de la nature, ou plutôt qu'il continuera d'y exister, mais sous une forme, et avec des facultés tout autres que celles qu'on lui remarque dans cet instant de la durée ?

Denis Diderot, *Pensées sur l'interprétation de la nature*, §LVIII Question 2

Diderot n'est pas un vitaliste, il est un matérialiste qui prend en compte le caractère irrémédiablement actif de la matière qui seule peut expliquer le déploiement des formes organisées dans la nature qui se construisent dès lors plus positivement que négativement ; qui ont moins avoir avec une lutte des parcelles élémentaires de vie contre un environnement qu'en l'affirmation positive de ce que la vie peut faire en étant irréductible à une explication purement mécaniste.

Il y a chez Diderot non pas une pensée de l'évolution, mais quelques anticipations qui permettent de comprendre ce que Darwin a pu introduire de ses propres observations de la nature. Ces anticipations sont formées par des éléments qui sont liés à des transformations mécaniques, mais sont liées à ce caractère positif et conflictuel ne pouvant avoir un sens qu'en considérant de l'activité au sein de la matière.

Les premières lignes servent à modérer le propos de Diderot, qui a été incarcéré peu de temps auparavant en Bastille, et qui formule ici son propos comme une hypothèse. Il introduit l'idée de la possibilité qu'il y ait une conscience et la réflexion grâce à une organisation de la matière, on est très loin d'une biologie fixiste et créationniste dans laquelle il faut expliquer c'est éventuellement la dégradation d'une forme mais certainement pas son origine. Le développement de l'humanité est bien ici vu comme une évolution.

VI.A.3 Pavlov

Russell consacre seulement un passage relativement plat à Darwin, et ce que nous venons de dire dépasse ces considérations, mais sont nécessaires pour comprendre ce que Russell voulait en dire.

Nous ne traiterons pas le passage sur Pavlov (étude des réflexes, des pensées), car il n'a pas beaucoup d'intérêt par rapport aux éléments qui vont suivre.

VI.B TD

VI.B.1 Texte

The eyes of moles and of some burrowing rodents are rudimentary in size, and in some cases are quite covered up by skin and fur. This state of the eyes is probably due to gradual reduction from disuse, but aided perhaps by natural selection. In South America, a burrowing rodent, the tuco-tuco, or *Ctenomys*, is even more subterranean in its habits than the mole; and I was assured by a Spaniard, who had often caught them, that they were frequently blind; one which I kept alive was certainly in this condition, the cause, as appeared on dissection, having been inflammation of the nictitating membrane. As frequent inflammation of the eyes must be injurious to any animal, and as eyes are certainly not indispensable to animals with subterranean habits, a reduction in their size with the adhesion of the eyelids and growth of fur over them, might in such case be an advantage; and, if so, natural selection would constantly aid the effects of disuse.

It is well known that several animals, belonging to the most different classes, which inhabit the caves of Styria and of Kentucky, are blind. In some of the crabs the foot-stalk for the eye remains, though the eye is gone; the stand for the telescope is there, though the telescope with its glasses has been lost. As it is difficult to imagine that eyes, though useless, could be in any way injurious to animals living in darkness, I attribute their loss wholly to disuse. In one of the blind animals, namely, the cave-rat, the eyes are of immense size; and Professor Silliman thought that it regained, after living some days in the light, some slight power of vision. In the same manner as in Madeira the wings of some of the insects have been enlarged, and the wings of others have been reduced by natural selection aided by use and disuse, so in the case of the cave-rat natural selection seems to have struggled with the loss of light and to have increased the size of the eyes; whereas with all the other inhabitants of the caves, disuse by itself seems to have done its work.

VI.B.2 Commentaires

Subterranean : rongeur fouisseur

Thèse du texte : Dans un texte qui prend en compte des éléments très précis d'observation, Darwin tente de réunir un certain nombre d'arguments destinés à établir une forme de légitimité pour le processus de sélection naturelle. [Il faut absolument voir apparaître sélection naturelle.]

Mouvements du texte :

- × du début à « natural selection », il introduit un exemple qui permet de formuler l'hypothèse que l'absence d'usage s'inscrit dans la sélection naturelle
- × de « In South America » à « nictitating membrane », il s'agit de renforcer le lien entre la cécité et le non-usage à partir d'un certain nombre d'observations, qui seront relayées par une partie explicative

[pas de plan complet évoqué]

Dans la continuité du texte de la fin de *L'origine des espèces*, il y a une ivresse de l'empirie et des différentes espèces (le tuco-tuco, les crabes, les insectes, ...). Dans ce genre de raisonnement, qui n'est ni ontologique ni métaphysique, ce qui emporte l'argument c'est la **multiplicité**, ou encore la **diversité biologique**. C'est la même loi qui agit tout autour de nous, tout en étant moins visible que les lois de la physique.

Dans la fin du texte, il est question de phases transitoires : par exemple les rats qui vivent dans des endroits sombres voient paradoxalement la taille de leurs yeux augmenter, dans une sorte de lutte contre l'obscurité. On peut aussi l'interpréter comme une possible fin future de cette espèce, une espèce condamnée.

VI.B.3 Comparaison entre la physiologie et la physique

Physics, owing to the simplicity of its subject matter, has reached a higher stage of development than any other science. I do not think it can be doubted that the ideal is the same for all sciences; but it can be doubted whether human capacity will ever be able to make physiology, for example, as perfect a deductive edifice as theoretical physics is now.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 44). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

Pour Russell, la physique est en quelque sorte l'idéal de la méthode scientifique. Il y a une gradation entre la physique, qui est au sommet de la méthode scientifique, et la physiologie.

Pourtant, en considérant le texte de Darwin que nous venons de commenter, on pourrait affirmer que Russell se trompe : il y a une implication parfaite entre des éléments d'observation que l'on vient tirer par prolifération de différents d'endroits dans le monde et l'hypothèse à montrer qui est la sélection naturelle. Cette sélection naturelle est prouvée par l'existence de cas innombrables d'animaux qui se comportent de la même façon, qui voient disparaître certains organes lorsqu'ils ne sont pas utilisés. Plus on voit de tels cas de disparition d'organe, plus on donne d'éléments à la sélection naturelle, qui se comporte dès lors comme une théorie dans la forme donnée par Russell. On convoque des phénomènes A, B, C, et on généralise.

VI.C Chapitre II : Caractéristiques de la méthode scientifique

Dans ce chapitre II, Russell nous livre sa conception des caractéristiques de la méthode scientifique. Nous reverrons les exemples évoqués jusqu'ici (hormis Pavlov) dans le but d'établir de façon beaucoup plus ferme et beaucoup plus riche ce qu'est la méthode scientifique selon Russell. Il parvient à saisir la relation entre observation, induction et déduction, de manière à rendre plus clair ce qui les lie.

VI.C.1 Un rappel

Scientific method has been often described, and it is not possible, at this date, to say anything very new about it. Nevertheless, it is necessary to describe it if we are to be in a position later to consider whether any other method of acquiring general knowledge exists. In arriving at a scientific law there are three main stages: the first consists in **observing the significant facts**; the second in **arriving at a hypothesis**, which, if it is true, would account for these facts; the third in **deducing from this hypothesis consequences** which can be tested by observation. If the consequences are verified, the hypothesis is **provisionally accepted as true**, although it will usually require modification later on as the result of the discovery of further facts.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 40). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

Le terme *tested by observation* n'est nulle part présent dans le chapitre I.

1. Observation des faits signifians/significatifs (Induction)
2. Hypothèse
3. Déduction de conséquences à tester par l'observation

On constate une sorte de cercle : on va de l'observation à l'observation, et on comprend que les faits que l'on observe à la 3^{ème} étape sont les mêmes que ceux de la 1^{ère}. On observe les mêmes phénomènes, transformés par l'activité théorique qui a précédé la phase empirique qui a constitué notre méthode scientifique.

Le test permet une approbation qui est **provisoire**, ce qui n'était pas mentionné dans le chapitre I, où Russell insistait plutôt sur le caractère héroïque, imposant, de la méthode scientifique. Or ici on introduit une forme de fragilité dans la théorie.

Ce qui est désigné en creux ici, c'est le problème que pose **l'induction** elle-même. La capacité que nous avons de partir d'observations de faits pour parvenir à des énoncés théoriques ne va pas de soi, et est critiquée (cf. fin du chapitre II). Un autre problème, que l'on retrouve chez Popper, est celui de la **démarcation**, la distinction entre une proposition scientifique et une autre qui ne l'est pas. Exemple de la Covid, des politiques et des médecins.

VI.C.2 Faits et hypothèses

Russell construit la notion de faits et la notion d'hypothèse, d'abord en montrant leur intégration dans un réseau qui forme le champ de la pensée scientifique. Un fait n'est compréhensible que d'après l'étendue de ce réseau que l'on nomme la connaissance scientifique ; il n'y a pas de connaissance isolée.

In the existing state of science, no facts and no hypotheses are isolated; they exist within the general body of scientific knowledge. The significance of a fact is relative to such knowledge. To say that a fact is significant in science, is to say that it helps to establish or refute some general law; for science, though it starts from observation of the particular, is not concerned essentially with the particular, but with the general. A fact, in science, is not a mere fact, but an instance. In this the scientist differs from the artist, who, if he deigns to notice facts at all, is likely to notice them in all their particularity. Science, in its ultimate ideal, consists of a set of propositions arranged in a hierarchy, the lowest level of the hierarchy being concerned with **particular facts**, and the highest with some general law, governing everything in the universe. The various levels in the hierarchy have a twofold logical connection, travelling one up, one down; the upward connection proceeds by **induction**, the downward by **deduction**. That is to say, in a perfected science, we should proceed as follows: the particular facts, A, B, C, D, etc., suggest as **probable** a certain general law, of which, if it is true, **they are all instances**. Another set of facts suggests another general law, and so on. All these general laws suggest, by induction, a law of a higher order of generality of which, if it is true, they are instances. There will be many such stages in passing from the particular facts observed to the most general law as yet ascertained. From this general law we proceed in turn deductively, until we arrive at the particular facts from which our previous induction had started. In textbooks the deductive order will be adopted, but in the laboratory the inductive order.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 40). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

La science est présentée dans une forme d'essentielle fragilité, simplement transitoire, dont les lois sont seulement acceptées temporairement selon notre capacité à trouver une autre série de phénomènes qui vont nous conduire à une autre loi.

On remarque que dans la fin du texte, on nous présente une structure générale, dans laquelle à partir d'un groupe de faits on aboutit à une loi générale. Or cette loi générale, comme elle n'est qu'à son premier stade, elle est certes probable mais elle est aussi très élémentaire et constitue par rapport aux stades suivants le rôle de faits. Nous avons des groupes de faits qui se constituent dans une loi qui est plus générale qu'eux-mêmes (puisque ce sont des faits particuliers), mais qui demeurent à l'égard des étapes suivantes dans un état qui est encore particulier.

Il y a une gradation progressive entre le particulier et le général qui se fait par un empilement progressif non pas de stades décisifs dans lesquels la théorie serait trouvée, mais par l'engendrement progressif dans l'intégration d'une généralité à partir d'une particularité qui s'étirole progressivement pour laisser la place à des éléments plus généraux. Intervient alors le passage à la déduction (ou prédiction, comme nous l'avions expliqué avec Einstein et les planètes), qui est en quelque sorte la véritable phase scientifique. La première phase n'a de sens que via la mise en forme théorique qui suit.

Russell souligne de façon imagée que cette mise en forme théorique n'advient pas comme la succession du blanc au noir, mais par une intégration progressive, qui suggère que les faits retenus sont ceux qui sont signifiants, significatifs, c'est-à-dire ceux qui ont été en quelque sorte nettoyés de leur particularité. Les faits que nous observons en physique sont **toujours déjà investis par le regard de la théorie** que nous pouvons porter sur elle, et ne sont donc pas les mêmes que ceux que l'artiste observe. Si je regarde la vitesse d'un objet dans la théorie de Galilée, je la vois de façon mathématisée comme la dérivée d'une position.

Russell, qui est empiriste, fait de la phase d'observation la phase essentielle. Popper lui reprochera à ce titre de n'avoir pas vu que le cœur de la physique ne se situait pas dans l'expérience, mais dans la construction des hypothèses et de la théorie. Russell a dit dans une conférence qu'il n'avait aucune confiance dans l'induction, mais que toute sa confiance était dans l'empirisme.

[*Développement hors du cadre du texte*] De même que l'on peut dire que l'observation est toujours empreinte de théorie, Kant affirme dans la *Critique de la faculté de juger* que si nous avions eu une autre table de catégories, une autre structure d'entendement, nous aurions eu une autre connaissance. Il indique par-là que notre unique moyen de connaître les phénomènes, les faits particuliers, c'est de les constituer, au minimum, à travers les catégories ou les lois que nous avons en nous-mêmes d'espace et de temps. Un phénomène n'est pas connaissable s'il ne se déroule pas dans l'espace ni le temps, et il n'y a donc pas de phénomène pur du point de vue de la connaissance. Pour nous, notre manière de connaître, c'est d'abord et toujours déjà avoir constitué les choses brutes en phénomènes, et partant de là nous ne connaissons que les phénomènes (et non pas la chose en soi). D'une certaine manière, nous ne pouvons connaître que si nous savons déjà ce qu'il faut connaître. C'est ce que Husserl critique chez Galilée, c'est que nous avons à connaître en physique ce sont les phénomènes qui sont toujours déjà transformés, et ce qui est désigné par particulier est déjà du général (les faits sont dans les catégories d'espace et de temps).

VI.D Texte non étudiés lors de la séance

Men sometimes speak as though the progress of science must necessarily be a boon to mankind, but that, I fear, is one of the comfortable nineteenth-century delusions which our more disillusioned age must discard. Science enables the holders of power to realize their purposes more fully than they could otherwise do. If their purposes are good, this is a gain; if they are evil, it is a loss. In the present age, it seems that the purposes of the holders of power are in the main evil, in the sense that they involve a diminution, in the world at large, of the things men are agreed in thinking good. Therefore, at present, science does harm by increasing the power of rulers.

B. Russell, *ICARUS or The Future of Science*, 1924

Science may be defined as the discovery of causal laws by means of observation and experiment—laws which are more valued when they are quantitative than when they are merely qualitative. Mathematics, which does not require observation, owes its first considerable development to the Greeks, but the only observational study in which the Greeks were proficient was astronomy, where there are very obvious uniformities and much can be done by pure geometry. It was not until Galileo that a way was found of dealing with motions that are not uniform and not periodic. Before his time men sought laws of stability; but in modern times laws of change have been what science has mainly wished to find. And ever since Bacon science has been valued, not only, or even chiefly, as pure knowledge, but as a source of power—power over inanimate nature, power over plants and animals, and now, at last, power over human communities.

Science is a product of Europe. The only exception I can think of is the Babylonian discovery that eclipses could be predicted. A very few nations—Italy, France, the Low Countries, Britain, and Germany—contributed not quite 90 percent of the great discoverers. Poland contributed Copernicus, Russia contributed Mendeleeff and Pavlov, but on the whole the share of Eastern Europe has not been a great one. Within Western Europe, as may be seen from a map showing the birthplaces of eminent men of science, there has been a correlation with commerce and industry. But commerce does not necessarily lead to science. It did not do so among the Phoenicians and Carthaginians, and the Arabs, though they studied science of a sort, made no discoveries in any way comparable to those of Western Europe since 1600. I do not think that seventeenth century science can be regarded as an inevitable outcome of social and economic conditions; the existence of individuals possessed of very rare abilities was also necessary. Why they should have been born there and then cannot be explained in scientific terms by means of our present knowledge. It certainly does not have a racial explanation, as may be seen from the fact that many of the best men of science have been Jews, who though living in Europe are not of course of Western European stock.

Bertrand Russell, B.B.C. broadcast transcript, published as “Science as a Product of Western Europe,” *The Listener* 39 (May 27 1948), 865-6 Repr. as “Nature and Origin of Scientific Method,” *The Western Tradition, a Series of Talks Given in the B.B.C. European Programme*, 1949

Conseils de lecture : *Darwin, a life in science*, John Grivvin et Michael White, éditions Pocket Books et *The origin of species*, Charles Darwin, Amsterdam University Press.

VII. SEANCE 7

VII.A Retour sur le texte précédent

In the existing state of science, no facts and no hypotheses are isolated; they exist within the general body of scientific knowledge. The significance of a fact is relative to such knowledge. To say that a fact is significant in science, is to say that it helps to establish or refute some general law; for science, though it starts from observation of the particular, is not concerned essentially with the particular, but with the general. A fact, in science, is not a mere fact, but an instance. In this the scientist differs from the artist, who, if he deigns to notice facts at all, is likely to notice them in all their particularity. Science, in its ultimate ideal, consists of a set of propositions arranged in a hierarchy, the lowest level of the hierarchy being concerned with **particular facts**, and the highest with some general law, governing everything in the universe. The various levels in the hierarchy have a twofold logical connection, travelling one up, one down; the upward connection proceeds by **induction**, the downward by **deduction**. That is to say, in a perfected science, we should proceed as follows: the particular facts, A, B, C, D, etc., suggest as **probable** a certain general law, of which, if it is true, **they are all instances**. Another set of facts suggests another general law, and so on. All these general laws suggest, by induction, a law of a higher order of generality of which, if it is true, they are instances. There will be many such stages in passing from the particular facts observed to the most general law as yet ascertained. From this general law we proceed in turn deductively, until we arrive at the particular facts from which our previous induction had started. In textbooks the deductive order will be adopted, but in the laboratory the inductive order.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 40). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

Il faut retenir la construction de ce qu'il appelle les faits particuliers, qui est le fondement de la méthode scientifique selon Russell, et qui est beaucoup moins empirique qu'elle ne rejoint l'idée d'une construction générale des théories physiques dans lesquelles les faits retenus sont des faits qui sont toujours déjà transformés.

On pourrait prendre exemple sur la dialectique transcendantale et ce qu'est connaître d'après Kant, qui ne résulte pas d'une information immédiate que nous saisirions, il y a toujours un rapport médié par le fait que nous ne percevons pas la chose en soi, la chose nouménale, nous percevons son phénomène, son apparaître. Ce phénomène nous apparaît de façon minimale selon des modalités de temps et d'espace. Nous avons des particularités qui font le cadre dans lequel nous étudions ces phénomènes (la géométrie euclidienne dans le cas de Kant, la relativité dans le cas d'Einstein) et qui se rapportent toujours à des structures antécédentes qui ne sont pas dans la nature.

Husserl reproche à cette méthode de ne savoir considérer dans la nature que ce que l'entendement y a déjà mis : on est capable de penser un phénomène que dans la mesure où il correspond aux outils particuliers dont nous disposons que sont les mathématiques, et tout phénomène qui n'est pas perceptible passe à la trappe. Lorsque l'on regarde l'histoire de la physique c'est ce qui se passe : au XIX^{ème} siècle la théorie de la gravitation était dominante, au point qu'elle avait débordé sur d'autres sciences comme l'électricité ou l'optique, et les outils mathématiques de la mécanique sont réinvestis ailleurs (calcul infinitésimal, ...).

Cette circulation qu'il existe entre les phénomènes et la théorie et qui font que la voie empirique nous montre que théorie découle de l'expérience et inversement que les observations sont toujours déjà informées par la théorie dans le cadre d'une science. La position épistémologique de Russell ne consiste pas simplement à la juxtaposition d'un cas empirique stricte ; on choisit donc les faits qui peuvent être mathématisés.

Instancier, c'est identifier un des termes inconnus soit par un nombre ou une fonction. Par exemple, lorsque l'on remplace un terme dans une démonstration.

Les faits sont représentés par des instances, et il y a donc toujours déjà cette information particulière qui leur est donné par la théorie, et tous les faits, puisqu'il n'y a pas de fait isolé, sont en relation les uns avec les autres, avec les théories qui les encadrent. Tout cela suggère la capacité explicative ou prédictive d'une théorie, sa capacité à déduire, jusqu'au moment où celle-ci ne parvient plus à rendre compte et est dépassée par une théorie plus générale.

Ce mouvement de progression dans la théorie peut être franchi de façon historiquement décalée.

VII.B L'intégration progressive de théories : cas de la gravité

VII.B.1 Texte

Galileo's result was a law of the lowest order of generality, as little removed from the crude facts as a general law could be. Meanwhile, **Kepler had observed the motions of the planets**, and formulated his three laws as to their orbits. These, again, were laws of the lowest order of generality. **Newton collected** together Kepler's laws and **Galileo's** law of falling bodies, and the laws of the tides, and what was known as to the motions of comets, in one law, namely, the law of gravitation, **which embraced them all**. This law, moreover, as usually happens with a successful generalization, showed not merely why the previous laws were right, but also why they were not quite right. Bodies near the earth's surface do not fall with an acceleration which is quite constant: as they approach the earth, the acceleration is slightly increased. Planets do not move exactly in ellipses: when they approach near to other planets, they are pulled a little out of their orbits. Thus Newton's law of gravitation superseded the older generalizations, but could scarcely have been arrived at except from them. For over two hundred years no new generalization was found to swallow up **Newton's** law of gravitation, as it had swallowed up **Kepler's** laws. When, at last, **Einstein** arrived at such a generalization it placed the law of gravitation in the most unexpected company. To everybody's surprise, it was found to be a **law of geometry rather than of physics in the old sense**. The proposition with which it has most affinity is the theorem of Pythagoras, to the effect that the squares on the two shorter sides of a right-angled triangle are together equal to the square on the longest side.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 41). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

Une généralisation est la capacité que nous avons d'intégrer des lois à un contexte plus général encore. Cette progression ne se fait pas par un raisonnement ponctuel : les travaux de Galilée sur la chute des corps étaient une généralisation mais n'intégraient pas certains autres faits.

L'introduction des éléments qui vont faire converger les concepts de réfutation et de confirmation. Une théorie, lorsqu'elle intègre des théories antérieures, elle détermine au passage les limites de cette autre théorie. « Toute détermination est une négation » Spinoza. Lorsque l'on connaît quelque chose de façon de plus en plus précise, on effectue un tri entre ce qui relève d'un concept bien pensée et ce qui n'en relève pas. Connaître de plus en plus adéquatement, c'est savoir éliminer la chose qui n'y est pas adéquat.

Russell explicite l'intégration progressive des différentes strates de l'élaboration d'une seule et même réalité qui est la gravité. On repère les différentes étapes et les grands noms en gras.

Newton a caractérisé cette incapacité de nommer la force de gravitation : le travail qui consiste à déterminer la cause est celui des philosophes et des métaphysiciens. En tant que philosophe naturel, autrement dit de physicien, il n'a pas à se poser la question du *pourquoi*, et il doit déterminer le *comment cela se passe*.

VII.B.2 La nature de la force de gravitation

Cependant, Russell fait justement remarquer que la question de la nature de la force de gravitation n'est une question philosophique que dans la mesure de notre ignorance de sa structuration. La structure de la loi de la chute des corps se présente, dans le cadre de la relativité générale, comme liée à la structure de l'espace.

On peut envisager l'espace comme plan, suivant une géométrie euclidienne, ou bien suivant une géométrie non euclidienne avec une incurvation positive ou négative. Le développement entre la théorie de la gravitation avec la structure-même de l'espace où le phénomène se produit va occuper Russell dans les lignes qui suivent.

Le processus historique entier de condensation progressive d'une loi de plus en plus générale qui va jusqu'à la théorie Einstein, la plus générale, qui se passe de la notion de force de gravitation, aboutit à une conclusion surprenante. En effet, le surgissement de la géométrie pure dans la physique va à l'encontre de l'idée selon laquelle il y aurait un niveau de compréhension physique et mathématique du phénomène qui ne posait des questions que de mesure, et un niveau de compréhension philosophique du soubassement de cette théorie et qui a avoir avec la nature de ces forces. Or la nature de ces forces est d'être géométrique et non métaphysique.

L'intervention d'Einstein choque d'ailleurs à ce niveau-là, notamment Bergson qui ne va pas accepter que le dernier mot que l'on puisse avoir sur des réalités qui appartiennent au monde physique puisse être donné uniquement par des généralisations mathématiques. Bergson, dans *Durée et simultanéité*, tente de donner des leçons de physique à Einstein et malheureusement cela se passe mal pour lui. Il y a une conférence donnée en

Sorbonne dans les années 1930 entre Bergson et Einstein où il est clair que l'un et l'autre ne se comprennent pas, car Bergson et d'autres philosophes ne pouvait pas admettre qu'un problème qu'on pensait métaphysique (l'espace et le temps) soit résolu par une équation.

C'est à cette époque qu'on peut dater la séparation entre la science et la philosophie, où il est admis que lorsqu'on parle de science, on parle de choses phénoménales, et lorsqu'on parle de philosophie on parle des choses réelles, qui sont soi-disant supérieures aux considérations scientifiques. L'affrontement entre Bergson et Einstein a laissé les deux camps irréconciliables avec le constat commun que l'on ne parle pas de la même chose, ce qui navre probablement Russell, qui voulait introduire en philosophie la possibilité de parler de façon scientifique.

Lorsqu'on parle de *scientific outlook*, cela signifie qu'il faut avoir une idée précise de la méthode scientifique, parce que cette méthode scientifique peut avoir un certain nombre de contrecoups sur la manière dont on philosophe. Lorsque la fin de l'ouvrage s'attaque au rapport entre sciences et société, il faut voir que comprendre les phénomènes scientifiques, tenter d'en épouser ce qui peut former modèle, possède un enjeu important dans le cadre de la réforme de la philosophie que Russell et d'autres souhaitent à travers le travail de purification de la langue en philosophie, qui ne doit plus être ambigu, le modèle de cette non-ambiguïté étant les sciences formelles.

VII.B.3 Retour au texte

Ces transformations auxquelles on assiste ici sont liées aux progrès mathématiques qui ont eu lieu pendant 200 ans, qui est indispensable à l'intégration que fait Einstein. Depuis 1915, personne n'a véritablement remis en cause le caractère fondateur du texte d'Einstein, et même si au niveau secondaire on continue de fonctionner avec un système newtonien, au-delà on fonctionne essentiellement sur les fondements qu'Einstein a posés (en particulier en optique, pas forcément en mécanique).

Le caractère provisoire d'une théorie ne l'empêche pas de chercher à durer. Lorsque Russell parle de la domination de Newton sur la question de la gravitation, il montre qu'une théorie cherche à repousser le plus loin possible le moment de sa réfutation, elle essaie d'expliquer le maximum de phénomènes qu'elle peut expliquer pendant le temps où elle peut les expliquer.

VII.C Lobachevsky et Einstein

VII.C.1 Géométrie non euclidienne

Lobachevsky, in the year 1829, demonstrated the falsehood of this opinion [To the Greeks—and to the moderns until a hundred years ago—geometry was an a priori study like formal logic, not an empirical science based upon observation], and **showed that the truth of Euclidean geometry could only be established by observation, not by reasoning.** Although this view gave rise to important **new branches of pure mathematics**, it did not bear fruit in physics until the year 1915, when Einstein embodied it in his general theory of relativity. It now appears that the theorem of Pythagoras is not quite true, and that the exact truth which it adumbrates [qu'il cache] contains within itself the law of gravitation as an ingredient or consequence. Again, it is not quite Newton's law of gravitation, but a law whose observable consequences are slightly different. Where Einstein differs from Newton in an observable manner it is found that Einstein is right as against Newton. Einstein's law of gravitation is more general than Newton's, since it applies not only to matter, but also to light and to every form of energy. Einstein's general theory of gravitation demanded as a preliminary not only Newton's theory, but also the theory of electromagnetism, the science of spectroscopy, observation of light pressure, and the power of minute [précise] astronomical observation, which we owe to large telescopes and the perfecting of the technique of photography. Without all these preliminaries, Einstein's theory could not have been both discovered and demonstrated.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 42). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

Ce que Russell retient de Lobachevsky, c'est qu'il a pris la matière mathématique et la question de l'espace comme un élément qui relevait d'une science empirique, autrement dit que l'espace devait être observé et mesuré avant d'être pensé comme la matière pure. Il était en quelque sorte un physicien des mathématiques.

Lobachevsky a donné naissance à la topologie algébrique, qui est une nouvelle forme de géométrie et qui naît de ses recherches sur la manière de contourner les espaces euclidiens. Nous découvrons qu'à travers la

mathématisation des théories physiques, on assiste en même temps à la naturalisation des mathématiques, puisqu'elles sont un domaine dans lequel les objets sont remis en question. L'espace euclidien considéré comme l'unique façon d'aborder l'espace remonte à plus de deux millénaires de pensée, de Platon à Kant.

Dans le cadre de la gravitation, la théorie d'Einstein inclut bien évidemment une forme de traitement intégratif de niveau théorique atteint par la loi de Newton. Mais comme le souligne Russell, elle intègre aussi des choses qui relevaient d'édifices théoriques distincts (électromagnétisme, spectroscopie, pression de la lumière) dont on peut réaliser des observations.

On retient que ce sont les géométries non euclidiennes qui ont donné un substrat au dernier achèvement à nos idées sur la gravitation. Russell interprète la publication des thèses de Lobachevsky comme la recherche de la vérité sur la géométrie euclidienne : on interroge la question des parallèles, on teste ce postulat.

VII.C.2 Extraits des *Nouveaux principes de la géométrie*

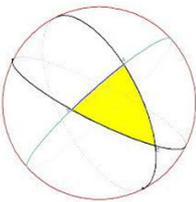
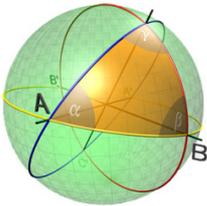
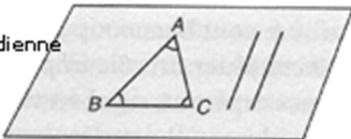
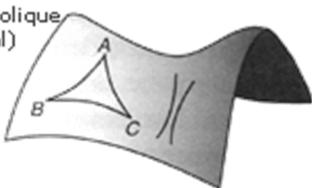
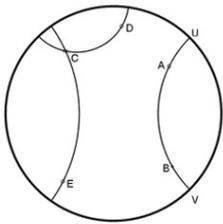
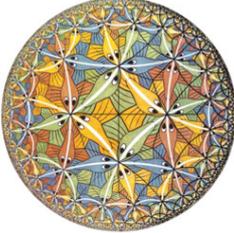
On ne peut encore déduire de la géométrie le principe qu'on a voulu démontrer et que peuvent seules vérifier, d'une manière analogue à celle des autres lois physiques, les expériences, les observations astronomiques par exemple.

[...] En réalité, dans la nature, nous ne connaissons que le mouvement : c'est lui qui rend possibles les perceptions des sens. Tous les autres concepts, par exemple ceux de la Géométrie, sont produits artificiellement par notre esprit et tirés des propriétés du mouvement et, pour cette raison, l'espace en lui-même, pris à part, n'existe pas pour nous.

N. Lobatchevski, *Nouveaux principes de la géométrie* (1835-38)

Les physiciens étudient le mouvement, les mathématiciens étudient l'espace, qui n'existe pas seul. Il y a cette façon de le considérer comme un objet dont on va éprouver les propriétés, et qui pour cela doit devenir un objet de l'inquisition physique comme les autres objets.

VII.C.3 Les trois possibilités de l'espace

	→ Par un point il passe une infinité de parallèle
<p>Surface sphérique</p> 	 
<p>Surface euclidienne (plate)</p> 	→ Par un point il passe une unique parallèle
<p>Surface hyperbolique (selle de cheval)</p> 	→ Par un point il peut ne passer aucune parallèle
	 

La géométrie devient de la physique dans un sens particulier : les objets eux-mêmes ont été conduits à être retravaillés pour se défaire de ce qui avait été le principe jamais contesté dans l'histoire de la géométrie, à savoir le postulat d'Euclide. **La géométrie, c'est la physique de l'espace.** L'effort de Lobachevsky aura été de rendre à la géométrie une intention de mesure, une intention expérimentale qui lui convient en tant que les mathématiques sont la première théorie de l'espace, parce qu'il y avait un dogme, celle de la théorie d'Euclide.

L'esthétique kantienne s'est fondée sur une géométrie euclidienne, un espace plat. Que deviennent les concepts dès lors que les notions primitives d'espace et de temps sont changées ? La conséquence première a été la séparation entre science et philosophie.

Poincaré a participé à la construction de modèles de géométrie hyperbolique, il a montré que l'on peut parfaitement faire de la physique dans certains d'entre eux, mais il a refusé d'admettre que ces espaces étaient effectivement des espaces physiques. Einstein, au contraire, a franchi ce pas, et d'ailleurs il a plus emprunté d'éléments à Riemann qu'à Lobachevsky [mais peu importe].

VII.D TD

VII.D.1 Texte

Galileo's result was a law of the lowest order of generality, as little removed from the crude facts as a general law could be. Meanwhile, **Kepler had observed the motions of the planets**, and formulated his three laws as to their orbits. These, again, were laws of the lowest order of generality. **Newton collected** together Kepler's laws and **Galileo's** law of falling bodies, and the laws of the tides, and what was known as to the motions of comets, in one law, namely, the law of gravitation, **which embraced them all**. This law, moreover, as usually happens with a successful generalization, showed not merely why the previous laws were right, but also why they were not quite right. Bodies near the earth's surface do not fall with an acceleration which is quite constant: as they approach the earth, the acceleration is slightly increased. Planets do not move exactly in ellipses: when they approach near to other planets, they are pulled a little out of their orbits. Thus Newton's law of gravitation superseded the older generalizations, but could scarcely have been arrived at except from them. For over two hundred years no new generalization was found to swallow up **Newton's** law of gravitation, as it had swallowed up **Kepler's** laws. When, at last, **Einstein** arrived at such a generalization it placed the law of gravitation in the most unexpected company. To everybody's surprise, it was found to be a **law of geometry rather than of physics in the old sense**. The proposition with which it has most affinity is the theorem of Pythagoras, to the effect that the squares on the two shorter sides of a right-angled triangle are together equal to the square on the longest side.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 41). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

VII.D.2 Thèse et mouvement

Thèse : Russell, à travers les différentes étapes que forment Galilée, Kepler, Newton et Einstein, montre dans ce texte que le concept de loi tel que nous pouvons le formuler consiste en un enveloppement et une généralisation progressifs qui est acquis dans l'histoire du développement des disciplines scientifiques.

Il faut voir apparaître le mot « loi ». On indique l'auteur dans une thèse. Entre Galilée et Einstein, ce n'est pas le concept de loi qui a évolué, c'est la loi qui est transformation. [Le mot base, on le met dans son sac et on le laisse sans jamais le sortir]

Introduction au texte : Russell, après avoir présenté historiquement les développements des différentes figures de la pensée scientifique, traite plus précisément ici au concept de loi, qu'il présente dans son essentielle intégrabilité progressive dans l'histoire.

Mouvements : Dans le texte qui nous est présenté, dans un premier temps jusqu'à « which embrace them all », les différents acteurs de la reformulation du concept de loi nous sont présentés à travers ce qui les lie les uns aux autres, à savoir la généralisation progressive de leur thèse. Russell poursuit cette appréciation du rôle de la loi dans un second temps jusqu'à « Kepler's law » et approfondit sa définition en introduisant dans la généralisation un aspect de détermination des lois ; les lois, en se généralisant, deviennent ainsi paradoxalement plus précises, parce qu'elles éliminent les aspects non exacts des lois qui les précèdent. Enfin, jusqu'à la fin du texte à travers la figure d'Einstein, Russell nous montre les conséquences extrêmes de ce processus de généralisation, qui vont jusqu'à remettre en cause certains des aspects que l'on pensait inamovibles des théories physiques.

C'est la généralisation qui est le lien entre les trois mouvements. Une pensée est plus générale à mesure qu'elle élimine plus de chose, qu'elle devient plus précise. Le mouvement doit donner lieu à une dynamique du texte.

VIII. SEANCE 8

Introduction de Lobachevsky en raison de ses avancées en géométrie, qui placent le mathématicien qui étudie la géométrie comme un physicien ; l'espace devient un objet d'études. Les géométries non euclidiennes ont donné, selon Russell, un substrat au dernier achèvement de nos idées sur la gravitation. Ce qui a fait la différence entre les physiciens, comme Poincaré ou Planck, de l'école ancienne et ceux qui ont suivi Einstein, c'est le fait qu'on arrive ou non à considérer que les transformations de Lorenz (relativité restreinte) et puis les [bruit qui interrompt le prof, qui ne finira pas sa phrase].

VIII.A Le fait significatif/signifiant

Russell va dégager ce que sont les phénomènes significatifs : un fait est considéré comme significatif lorsqu'il est orienté par une théorie, ou bien il est à l'origine accidentelle d'une théorie (comme c'est le cas pour Oersted, physicien qui a découvert les interactions autour du champ magnétique).

Throughout the history of physics, from the time of Galileo onward, the importance of the significant fact has been very evident. The facts that are significant at any one stage in the development of a theory are quite different from those that are significant at another stage. When Galileo was establishing the law of falling bodies, the fact that in a vacuum a feather and a lump of lead fall equally fast was more important than the fact that, in air, a feather falls more slowly, since the first step in understanding falling bodies consisted in realizing that, so far as the earth's attraction alone is concerned, all falling bodies have the same acceleration. The effect of the resistance of the air must be **treated as something superadded to the earth's attraction**. The essential thing is always to look for such facts as illustrate one law in isolation, or, at any rate, only in combination with laws whose effects are well known. This is why experiment plays such an important part in scientific discovery. In an experiment the circumstances are artificially simplified, so that some one law in isolation may become observable. In most concrete situations, what actually happens requires for its explanation a number of laws of nature, but in order to discover these one by one it is usually necessary to invent circumstances such that only one of them is relevant. Moreover, the most instructive phenomena may be very difficult to observe. Consider, for example, how much our knowledge of matter has been enhanced by the discovery of X-rays and of radio-activity; yet both of these would have remained unknown but for the most elaborate experimental technique. The discovery of radio-activity was an accident due to the perfecting of photography. Becquerel had some very sensitive photographic plates, which he was meaning to employ; but as the weather was bad, he put them away in a dark cupboard in which there happened to be some uranium. When they were taken out again they were found to have photographed the uranium, in spite of the complete darkness. It was this accident which led to the discovery that uranium is radio-active. This accidental photograph affords another illustration of the significant fact.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 42). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

On peut distinguer deux **faits significatifs** : un fait significatif dans la loi galiléenne, qui est celui qui représente les conséquences de cette loi exprimée dans le vide, et un autre dans la théorie aristotélicienne, qui est celle d'un corps chutant dans un milieu. Si on considère comme Russell que les faits ne sont jamais toujours purs, ils doivent être significatifs dans une théorie, alors on a à chaque théorie ses phénomènes significatifs.

On parlait au XVII **d'expérience cruciale** : une expérience qui permettrait de choisir clairement entre deux théories. Par exemple, il y a eu une expérience pour tenter de mesurer la différence de vitesse de la lumière dans l'eau par rapport à la vitesse dans l'air, car la théorie corpusculaire de l'époque indiquait que cette vitesse devrait être supérieure, alors que la théorie ondulatoire indiquait que la vitesse était inférieure.

En tirant à l'extrême ce que dit Russell, il y a des faits significatifs mais il n'y a pas vraiment d'expérience cruciale. En effet, quel que soit la manière de considérer les faits, on peut toujours affirmer qu'il y a des théories valables dans le vide (Galilée), et d'autres dans l'air (Aristote, qui prend en quelque sorte la résistance du milieu en compte).

Le sens, l'interprétation du fait significatif dépend essentiellement de la théorie qu'il semble illustrer, mais peut aussi être à l'origine d'une théorie (ici la radioactivité avec Becquerel, qui s'inscrivait parfaitement dans les travaux menés par Marie Curie à l'époque).

VIII.B La physique comme modèle de la méthode scientifique

Physics, owing to the simplicity of its subject matter, has reached a higher stage of development than any other science. I do not think it can be doubted that the ideal is the same for all sciences; but it can be doubted whether human capacity will ever be able to make physiology, for example, as perfect a deductive edifice as theoretical physics is now.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 44). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

La physique est pour Russell un modèle de la méthode scientifique, et c'est un point auquel il ne renoncera jamais. Il y a une hiérarchie dans les sciences : la physique offre dans les modalités qui sont les siennes à l'époque un modèle de développement si pur qu'elle projette sur les autres sciences un idéal qu'elles cherchent à atteindre.

Il y a une gradation en sciences dans laquelle la physiologie est très basse, puisque sa structuration et le fait qu'elle soit attaché à des découvertes qui soient aussi contingentes laisse des doutes quant à la possibilité d'en faire une science aussi déductive que la physique. La physiologie, d'un certain point de vue, possède dans certaines parties de son champ d'action des éléments déductifs, mais on peut comprendre le raisonnement de Russell qui consiste à dire qu'il y a une classification des sciences, comme Auguste Comte dans son travail de classification positiviste, selon qu'elles participent pleinement ou non à l'idéal qu'est celui de la physique théorique.

Voir le film *Radioactive* sur Marie Curie, dans lequel est racontée la découverte de la radioactivité, dans l'atmosphère de la première guerre mondiale.

Russell ajoute une autre caractéristique à la méthode scientifique : ce qui est constitutif de la méthode scientifique, ce n'est **pas l'exactitude** universelle, mais c'est paradoxalement **l'approximation**. La bonne science est celle qui a la capacité de circonscrire le cercle de son erreur.

VIII.C L'approximation en sciences

Although this may seem a paradox, all exact science is **dominated by the idea of approximation**. When a man tells you that he knows the exact truth about anything, you are safe in inferring that he is an inexact man [qu'il est un homme qui vit dans l'inexact]. Every careful measurement in science is **always given with the probable error**, which is a technical term, conveying a precise meaning. It means: that amount of error which is just as likely to be greater than the actual error as to be less. It is characteristic of those matters in which something is known with exceptional accuracy that, in them, **every observer admits that he is likely to be wrong, and knows about how much wrong he is likely to be**. In matters where the truth is not ascertainable, no one admits that there is the slightest possibility of even the minutest error in his opinions. Who ever heard of a theologian prefacing his creed, or a politician concluding his speeches, with a statement as to the probable error in his opinions? **It is an odd fact that subjective certainty is inversely proportional to objective certainty**. The less reason a man has to suppose himself in the right, the more vehemently he asserts that there is no doubt whatever that he is exactly right. It is a practice of theologians to laugh at science because it changes. "Look at us," they say. "What we asserted at the Council of Nicea we still assert; whereas what the scientists asserted only two or three years ago is already forgotten and anti-quoted." [jeu de mot avec antitiquité] Men who speak in this way have not grasped the great idea of successive approximations.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 46). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

On donne une erreur telle que nous sommes certains que l'erreur mesurée sera plus faible que celle-ci, on circonscrit l'erreur. Cette pratique de l'erreur se retrouve dans les disciplines qui ont le sens de la précision la plus avancée, alors que dans les domaines dans lesquels la vérité est incertaine (la métaphysique, la psychologie, ...), on voit apparaître des figures qui disent qu'il n'y a aucune chance qu'elles se trompent.

Dans un texte qui introduit un élément qui semble paradoxal, Russell nous donne un marqueur entre ce qui est science et ce qui ne l'est pas. La science la plus rigoureuse doit inclure dans ses mesures un cercle d'erreur, et dans cette prise en compte de l'erreur se joue l'avenir de la science, son évolution, et l'ajustement de sa théorie par de nouveaux faits significatifs. La vie de la science c'est la conjecture et la réfutation, comme le dira Popper.

Plus qu'un classement, il y a donc ici l'idée d'une séparation entre les sciences capables de se présenter avec leur vérité et leur erreur, et puis celles par défaut d'une crise réelle sur la vérité, l'inventent et font comme les théologiens, les métaphysiciens, les psychologues. Russell approche donc une définition de la science par sa falsifiabilité, la possibilité d'être falsifié ou la possibilité d'être fausse fait partie intégrante de la définition. En retour, la possibilité d'erreur donne une plus grande force à l'argument inductif (nous le verrons en TD).

VIII.D TD

VIII.D.1 Rappel des consignes pour le devoir

Il faut des marges, il faut écrire Russell correctement, il faut présenter la thèse et le mouvement, il faut citer en français si l'on écrit en français, il ne faut pas écrire comme un fleuve [c'est presque comme si on m'avait raconté les 24h du Mans dès que le mot *motorcars* est apparu]. [Certains étudiants de L3 traitent l'exercice très en dilettante, comme si j'avais servi du caca boudin.]

VIII.D.2 Texte

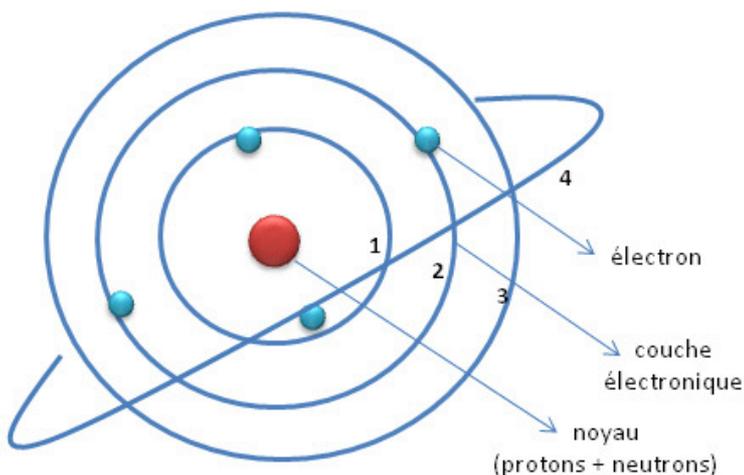
One advantage of quantitative precision, where it is possible, is that it gives much greater strength to inductive arguments. Suppose, for example, that you invent a hypothesis, according to which a certain observable quantity should have a magnitude which you work out to five significant figures; and suppose you then find by observation that the quantity in question has this magnitude. You will feel that such a coincidence between theory and observation can hardly be an accident, and that your theory must contain at least some important element of truth. Experience shows, however, that **it is easy to attach too much importance to such coincidences**. **Bohr's theory of the atom was originally commended by a remarkable power of calculating theoretically certain quantities which had until then been known only by observation**. Nevertheless, Bohr's theory, though a necessary stage in progress, has already been **virtually abandoned**. The truth is, that men cannot frame sufficiently abstract hypotheses; **imagination is always intruding upon logic**, and causing men to make pictures of occurrences which are essentially incapable of being visualized. In Bohr's theory of the atom, for example, there was a highly abstract constituent, which was in all likelihood true, but this abstract element was embedded in imaginative details which had no inductive justification. The world that we can picture is the world that we see; but the world of physics is an abstract world that cannot be seen. **For this reason, even a hypothesis which accounts with a minute exactitude for all known relevant facts must not be regarded as certainly true**, since it is **probably only some highly abstract aspect** of the hypothesis that is **logically necessary** in the deductions which we make from it to observable phenomena.

Russell, Bertrand. *The Scientific Outlook* (p. 48). Taylor and Francis. Édition du Kindle.

VIII.D.3 Thèse et mouvement

Thèse :

VIII.D.4 Explications scientifiques



Dans la théorie de Bohr, il existe des couches électroniques à différents niveaux d'énergie, où les électrons tournent autour du noyau comme les planètes autour du Soleil.

Il faut retenir que le modèle de l'atome de Bohr comprenait cette donnée hautement spéculative d'un modèle planétaire, qui a persisté assez longtemps. Sa partie la plus inductive est liée au nombre de liaisons covalentes sur lesquelles un électron et un seul peut effectivement se loger. En fonction du nombre d'atomes qui peuvent se loger à cette place, le nombre quantique, les atomes vont s'accrocher les uns aux autres.

On explique ainsi la compatibilité entre atomes pour la formation de liaisons : entre 2 atomes d'H et un de O, si les places sont libres, alors on a de l'eau. La chimie a permis de confirmer la partie inductive de la théorie de Bohr, avec entre autre la spectrographie, ce qui a permis de mettre en avant que les hauteurs de niveau d'énergie au niveau de chaque rayon étaient confirmés par les observations.

Tout en étant validée de façon inductive, il existe une part non validée de la théorie, qui est ici le fait que les électrons soient en rotation autour du noyau. Ce qui a été validé, c'est ce qui est calculable, ce qui ne l'a pas été c'est la représentation.

De même, la théorie électrique est née en considérant qu'il a des flux électroniques semblables à des fleuves dans certains matériaux conducteurs. On a toujours ces images de courant électrique, mais les fondements ont maintenant bien entendu changé.

Une hypothèse physique n'est pas un bloc, elle est composée de ce qui doit se donner ce qui confère le pouvoir de calcul, et d'un autre côté d'éléments qui ne rentrent pas dans cette de compréhension de type inductif, mais qui sont plutôt là pour nous représenter la théorie. Tous les aspects d'une théorie, même si elle est capable de donner un sens à tous les faits observables qui sont significatifs, il y a forcément en elle des choses qui demeurent sujet à la discussion et au dépassement, donc au changement.

L'aspect dual de cette théorie, composée à la fois d'éléments inductifs et d'autres qui ne le sont pas, est capable de donner des orientations différentes à la théorie selon les faits significatifs considérés.

Comment peut-on dire que la théorie physique est à la fois la science dans son idéal mais aussi, comme le disait les théologiens, quelque chose de très changeant ? Quel concept de vérité peut-on tirer de quelque chose qui est à la fois extrêmement calculatoire, prédictif, et qui se donne toute l'armature logique du processus inductif, mais qui est aussi facilement renversable ?