

# Falsifiabilité et quantité d'information

Frédéric Fabre

2019 – url : <https://www.dblogos.net/er/txt9.pdf>

## Résumé :

Le concept de corroboration au sens de Popper fait intervenir une probabilité conditionnelle, qui est la probabilité qu'un événement se produise si l'on ne tient pas compte de la théorie qui le prévoit. Plus cette probabilité est faible, plus la corroboration est élevée. D'autre part, en théorie de l'information, la quantité d'information au sens de Shannon est d'autant plus élevée que la probabilité est faible, ce qui permet d'associer une quantité d'information à un événement prévu par une théorie. Le fait qu'une théorie à prétention empirique comprenant les conditions de sa propre vérité ne soit par définition pas réfutable, implique que la quantité d'information associée à toute interprétation effectuée dans le cadre d'une telle théorie est indéterminée. Comme conséquence de ce qui précède, on doit préciser la relation entre la théorie des probabilités logiques de Popper et la théorie de l'information. Enfin, comme une théorie réellement empirique ne peut contenir les conditions de sa propre vérité, on doit admettre que d'autres alternatives sont possibles, ce qui doit pouvoir s'interpréter en termes de mondes possibles.

**Mos clés :** falsifiabilité, réfutabilité, probabilité, quantité d'information, épistémologie, mondes possibles

## Title : Falsifiability and quantity of information

## Abstract :

The concept of corroboration in Popper's sense involves a conditional probability, which is the probability that an event will occur if the theory that predicts it is ignored. The lower this probability, the higher the corroboration. On the other hand, in information theory, the quantity of information in the sense of Shannon is all the higher as the probability is lower, which makes it possible to associate a quantity of information with an event predicted by a theory. The fact that a theory with empirical claims including the conditions of its own truth is by definition not refutable, implies that the quantity of information associated to any interpretation made within the framework of such a theory is indeterminate. As a consequence of the above, one must clarify the relation between Popper's theory of logical probabilities and information theory. Finally, since a truly empirical theory cannot contain the conditions of its own truth, one must admit that other alternatives are possible, which must be interpreted in terms of possible worlds.

**Keywords :** falsifiability, probability, quantity of information, epistemology, possible worlds

## 1. Théories comprenant leurs conditions de vérité

### 1.1. Conditions logiques

On considère le cas où l'on admet qu'il puisse exister des *conditions logiques de vérité empirique* d'une théorie *T*, selon le domaine couvert par la théorie. Si de telles conditions existent, elles sont par définition données *a priori*, ce qui implique que la théorie *T* n'est pas réfutable par l'expérience. Supposons que ces conditions soient contenues dans une autre théorie *T'*. Cela signifierait que *T'* « en sait plus » que *T* relativement au domaine de *T*, donc que la « bonne » théorie pour le domaine considéré serait en fait *T'*, qui ainsi contiendrait les conditions de sa propre vérité. Donc si un domaine donné est subsumé par une théorie dont il existe des conditions de sa vérité empirique, ces conditions sont contenues dans la théorie elle-même.

Or l'épistémologie a précisément pour objet la détermination des « conditions de validité » des théories<sup>1</sup>, celles-ci étant ici par définition identifiées à des conditions de *vérité* (dans le cas d'une théorie réfutable, le concept de vérité empirique est seulement « normatif et régulateur »<sup>2</sup>). On est donc ici dans un contexte piagetien d'internalisation de l'épistémologie des systèmes empiriques.<sup>3</sup>

Des théories différentes relèvent évidemment dans leur genèse et leur fonctionnement de modes de raisonnements distincts. En général, on peut aussi aboutir à une *même* théorie par des chemins différents, pas forcément réductibles l'un à l'autre. Mais dans le cas où l'on admet qu'une théorie contient les conditions de sa propre vérité, ces conditions par définition *font partie* de la théorie elle-même. Du fait que ces conditions sont admises *a priori*, on ne pourra reconnaître qu'un mode de raisonnement est valide que s'il est en adéquation avec la théorie considérée, donc si la pensée du sujet connaissant s'y conforme. C'est la raison pour laquelle une théorie qui contient les conditions de sa propre vérité intègre toujours et de façon essentielle dans sa thématique les modes de raisonnement du sujet connaissant – ce qui peut être envisagé de multiples façons : d'un point de vue psychologique, cognitif, sociologique, anthropologique, etc. Donc non seulement une telle théorie comprend sa propre épistémologie, mais celle-ci se doit d'être avant tout une *épistémologie du sujet connaissant* (en contraposition avec l'épistémologie « sans sujet connaissant » de Karl Popper<sup>4</sup>), qui implique une forme de relativisme tel que théorisé par Michel Foucault dans *L'archéologie du savoir* où, pour tout ce qui *n'est pas* la théorie de référence, la simple possibilité de l'accès à l'objectivité est niée par l'affirmation de déterminations externes (économiques, sociales, etc.) du sujet connaissant<sup>5</sup>. Mais une théorie empirique des déterminations psychologiques, sociologiques, etc., des théories, imposerait qu'on applique ces mêmes déterminations à elle-même, et l'on retomberait alors sur la contradiction logique qui obère toute forme de relativisme.<sup>6</sup>

---

<sup>1</sup> Cf. Robert Blanché, *L'épistémologie*, Paris, PUF, 1972, p. 8.

<sup>2</sup> Cf. Renée Bouveresse, *Karl Popper ou le rationalisme critique*, Paris, Vrin, 1986, p. 102.

<sup>3</sup> Cf. Jean Piaget, *Les courants de l'épistémologie scientifique contemporaine*, in *Logique et connaissance scientifique* (LCS), ouvrage collectif sous la direction de Jean Piaget, Paris, Gallimard, Encyclopédie de la Pléiade, 1967, p. 1225 sqq.

<sup>4</sup> Cf. Karl Popper, *La connaissance objective*, trad. Jean-Jacques Rosat, Paris, Aubier, 1991, Ch. 3, *Une épistémologie sans sujet connaissant*, p. 181-242.

<sup>5</sup> Cf. Michel Foucault, *L'archéologie du savoir*, 1969, Paris, Gallimard, 2017, p. 224-225.

<sup>6</sup> Cf. par ex. Hilary Putnam, *Raison, vérité et histoire*, 1981, trad. Abel Gerschenfeld, Paris, Éditions de Minuit, 1984, p. 182.

## 1.2. Exemples

On peut prendre comme exemple celui de l'explication des objections à la psychanalyse par la psychanalyse elle-même. La citation suivante est extraite du premier volume des œuvres complètes de Sandor Ferenczi :

Je m'attends à rencontrer une violente opposition aux théories de Freud, en particulier celle concernant l'évolution de la sexualité, et c'est naturel. Car la validité même de la théorie de Freud serait mise en cause si la censure opposée à la sexualité ne se manifestait que chez les névrosés sans qu'il y en ait trace chez les bien-portants, notamment les médecins bien-portants.<sup>1</sup>

On notera que l'on ne reprend aucune objection à la psychanalyse pour pouvoir éventuellement la réfuter, mais que l'on affirme juste que c'est *le fait même* de s'opposer à la psychanalyse qui, étant explicable par la psychanalyse elle-même, constitue une preuve de sa validité.<sup>2</sup> L'argument va même encore plus loin : sachant qu'il existe des objections à la psychanalyse, il affirme que si ces objections n'existaient pas, cela pourrait remettre en cause la validité de la psychanalyse - ce qui constitue une « fausse falsifiabilité », puisque précisément pour cette raison on s'estime en droit de ne pas même *prendre en compte* les objections, quelles qu'elles soient.

Ce type d'immunisation contre la critique n'est pas propre à la psychanalyse : on peut le retrouver dans différents systèmes de pensée de nature idéologique. Il était par exemple déjà utilisé par Marx et Engels dès le *Manifeste du Parti Communiste*, où il était affirmé que toute idée s'y opposant ne pouvait résulter que de déterminations expliquées et disqualifiées par la théorie que l'on aurait voulu critiquer, si bien que l'existence même de ces critiques permettait d'exemplifier et de confirmer la théorie.<sup>3</sup> Du fait que « c'est avec lui que le socialisme apparaît comme une *nécessité historique* »<sup>4</sup> (c'est nous qui soulignons), ce manifeste promeut une *théorie empirique* qui est en même temps une *pure déduction* : on ne peut donc envisager d'autre *monde possible*. Par conséquent, ne pas admettre cette thèse ne peut être que la conséquence d'une aberration (logique et psychologique) dans l'appréhension de la réalité historique par le sujet connaissant, appréhension qui, étant un des facteurs constitutifs du développement historique, relève d'une analyse qui se doit d'être intégrée dans la théorie elle-même.

Un autre exemple serait celui du système de Piaget, qui se veut à la fois science (psychologie cognitive et génétique), théorie particulière (psychogénétique), et épistémologie (l'épistémologie génétique). Ces trois éléments ne constituant qu'un seul système, celui-ci est à la fois « juge et partie »<sup>5</sup>. Piaget peut ainsi développer une approche normative, donc qui se met elle-même à l'abri de toute critique, relativement au développement de l'esprit humain, à son fonctionnement, et à l'appréhension globale du réel, permettant de décider de ce que sont les « connaissances valables », selon la façon qu'elles ont eu d'être « constituées » par le sujet

---

<sup>1</sup> Sandor Ferenczi, *Les névroses à la lumière de l'enseignement de Freud et la psychanalyse*, in *Psychanalyse I*, Œuvres complètes tome I, 1908-1912, trad. J. Dupont et Ph. Garnier, Paris, Payot, 1969, p. 37. Le choix de cette citation est arbitraire : ce type d'« argument » est central dans la défense de la psychanalyse, et on le retrouve sous différentes formes de façon récurrente dans la littérature ou le discours psychanalytiques.

<sup>2</sup> Sur ce point, v. *La psychanalyse peut-elle devenir une science ?*, <https://www.dblogos.net/er/txt2.pdf>.

<sup>3</sup> Cf. Karl Marx et Friedrich Engels, *Manifeste du Parti Communiste*, 1848, trad. Laura Lafargue, 1893, [https://socialpolicy.ucc.ie/Literature\\_collection/Manifest\\_French.pdf](https://socialpolicy.ucc.ie/Literature_collection/Manifest_French.pdf), édition numérique réalisée par Jean-Marie Tremblay, 2002, p. 20.

<sup>4</sup> Georges Bourgin et Pierre Rimbert, *Le socialisme*, 1949, Paris, PUF, 1973, p. 16.

<sup>5</sup> v. *Emergence et représentation (ER)*, <https://www.dblogos.net/er/ER.pdf>, p. 165.

connaissant<sup>1</sup> : l'épistémologie en général doit se réduire alors à une épistémologie du sujet connaissant. On aboutit ainsi à une forme accomplie de ce que l'on appelle habituellement le « psychologisme », qui, selon Alain Firode, « se manifeste (...) particulièrement chez les auteurs se réclamant du "constructivisme" piagetien », où le psychologue « prétend dériver [les] propriétés logiques [d'un objet théorique] d'une étude de sa genèse psychologique »<sup>2</sup>. Ces aspects ont un rapport étroit avec le mode de pensée dialectique qui structure et conditionne le système de Piaget.<sup>3</sup>

Pour ce qui est de la fusion entre ce que l'on considère comme « science », théorie particulière et pratique, la situation de la psychanalyse est analogue<sup>4</sup>, ce que par exemple Daniel Lagache reconnaît (sans d'ailleurs y voir de problème), lorsqu'il décrit la psychanalyse selon Freud à la fois comme méthode d'investigation des processus mentaux, technique de traitement des névroses, et corps de savoir psychologique.<sup>5</sup> Ce n'est toutefois que plus tard, notamment avec Paul-Laurent Assoun, que l'on y a intégré explicitement une « épistémologie rigoureusement indigène et immanente à la démarche de connaissance qui appartient à Freud »<sup>6</sup>.

Nous verrons plus loin (section 6) de façon plus générale pourquoi l'internalisation d'une épistémologie dans une discipline à prétention empirique conduit à une aporie, quel que soit le domaine concerné.

## 2. Corroboration et distinction entre cadres théoriques

### 2.1. Corroboration et probabilité logique

Dans la lignée de J. M. Keynes, Émile Borel définit la « probabilité subjective »  $P(A, K)$  comme étant celle d'un événement  $A$  par rapport à un « corps de connaissances  $K$  », constitué des éléments purement factuels connus par celui qui évalue la probabilité. D'un individu à un autre, une probabilité pour un même événement pourra donc être différente, ou évoluer si le corps de connaissances change.<sup>7</sup> Pour établir un concept de corroboration, Popper considère un contexte des connaissances  $b$ , et une nouvelle hypothèse  $h$  qui a la forme d'un énoncé universel, ce qui va impliquer des contraintes supplémentaires.<sup>8</sup> Le « contexte des connaissances »  $b$  est défini de la façon suivante :

Par « contexte », j'entends tout élément de savoir (touchant au problème étudié) que nous considérons – peut-être seulement de manière conjecturale – comme vrai, pendant que nous testons  $h$ . Ainsi  $b$  peut, par exemple, inclure des conditions initiales. Il faut noter que  $b$  doit être logiquement compatible avec  $h$ .<sup>9</sup>

---

<sup>1</sup> Cf. par ex. Jean Piaget, *Nature et méthodes de l'épistémologie*, in *LCS*, p. 125 ; v. également *L'épistémologie et ses variétés*, p. 6.

<sup>2</sup> Alain Firode, *Théorie de l'esprit et pédagogie chez Karl Popper*, Paris, L'Harmattan, 2012, p. 34.

<sup>3</sup> v. *ER*, section 4.7, *Dialectique et psychologisme*.

<sup>4</sup> v. *La psychanalyse peut-elle devenir une science ?*

<sup>5</sup> Cf. Daniel Lagache, *La psychanalyse*, 1956, Paris, PUF, 1973, p. 5.

<sup>6</sup> Paul-Laurent Assoun, *Introduction à l'épistémologie freudienne*, Paris, Payot, 1981, p. 7.

<sup>7</sup> Cf. Émile Borel, *Probabilités et certitude*, Paris, Presses Universitaires de France, 1969, p. 11-12.

<sup>8</sup> Nous verrons plus loin (section 8.1), que l'on peut définir ces probabilités en éliminant leur caractère « subjectif », tel que précédemment défini.

<sup>9</sup> Karl Popper, *Le réalisme et la science*, 1983, trad. Alain Boyer et Daniel Andler, Paris, Hermann, 1990, p. 253.

Le contexte  $b$  peut donc être assimilé à la conjonction de ce que Lakatos appelle la « théorie interprétative »<sup>1</sup> et de conditions initiales. La théorie interprétative doit constituer un *cas limite* de la « théorie explicative » que l'on veut tester (ce que Lakatos ne reconnaît pas<sup>2</sup>), cette dernière comprenant en l'occurrence l'hypothèse  $h$ <sup>3</sup>, sans quoi cette mise à l'épreuve serait impossible. Ainsi que l'écrit l'astronome Martin Harwitt, « les techniques d'observation doivent être capables de reconnaître des traits extrêmement surprenants dans les nouveaux phénomènes à découvrir »<sup>4</sup>. Or les « techniques d'observation » relèvent de la théorie interprétative, tandis que les « nouveaux phénomènes » peuvent être de deux sortes : ceux qui sont explicables par l'ancienne théorie, mais auxquels on n'avait pas pensé ou qui n'avaient jamais été observés, mais aussi ceux qui ne peuvent être prévus que par la nouvelle théorie.

Si l'on admet qu'il existe une infinité de mondes possibles (ici d'un point de vue nomologique), la probabilité d'une théorie est toujours nulle<sup>5</sup>, ce qui implique que les lois du calcul classique des probabilités ne s'appliquent pas aux théories. Plus précisément, puisque le monde réel est l'un de ces mondes possibles, on devrait dire que la probabilité de l'existence du monde est nulle, ce qui est une preuve par l'absurde du fait que l'on ne peut pas attribuer une telle probabilité à une théorie en tant que système nomologique.<sup>6</sup>

Pour pouvoir utiliser des probabilités d'événements joints à ou conditionnés par l'acceptation d'un contexte théorique donné, sans retomber sur des expressions qui ne sont plus valides du genre 0/0 puisque  $p(b) = p(h) = 0$ , Popper a développé un « calcul formel des probabilités »<sup>7</sup>, ayant pour objet la *comparaison entre contextes théoriques* (et notamment comment des données empiriques peuvent étayer des hypothèses), où les probabilités conditionnelles mettant en jeu  $b$  ou  $h$  ne font pas l'objet d'une décomposition comme dans les probabilités classiques (le terme utilisé pour désigner ces probabilités est « probabilités logiques »<sup>8</sup>). L'objectif était de définir un concept de *corroboration* (qui n'est pas une probabilité) dont, par analogie avec le coefficient de corrélation, la grandeur varie entre  $-1$  (la réfutation), et  $+1$  (valeur maximale inaccessible mais servant de référence) en passant par  $0$  (expérience non contributive)<sup>9</sup>. La corroboration est ainsi définie par<sup>10</sup> :

$$C(h, e, b) = \frac{p(e|hb) - p(e|b)}{p(e|hb) - p(e|h) + p(e|b)} \quad (1)$$

On notera que l'expression de la corroboration n'a de sens que si la nouvelle théorie (comportant  $h$ ) est comparable à l'ancienne, ce qui n'est pas compatible avec une

<sup>1</sup> Cf. Imre Lakatos, *La falsification et la méthodologie des programmes de recherche scientifique*, in *Histoire et méthodologie des sciences*, Paris, PUF, 1994, p. 24.

<sup>2</sup> *Ibid*, p. 57-58.

<sup>3</sup> Sur ce point, v. *ER*, section 3.4, *Théorie interprétative et théorie explicative*.

<sup>4</sup> Martin Harwitt, *Progrès et découvertes en astronomie*, trad. France et Jean-Louis Heudier, Paris, Masson, 1984, p. 177.

<sup>5</sup> v. *ER*, p. 181-182.

<sup>6</sup> Cet aspect sera précisé à la section 8.2.

<sup>7</sup> Cf. Karl Popper, *La logique de la découverte scientifique (LDS)*, 1959, 1968, trad. Nicole Thyssen-Rutten et Philippe Devaux, Paris, Payot, 1973, Annexes \*IV et \*IX.

<sup>8</sup> Cette terminologie est sans doute critiquable, puisque les probabilités « classiques » sont évidemment tout autant « logiques » et « formelles ». Un terme plus approprié serait celui de « probabilités épistémiques », mais rien n'interdit d'utiliser cette expression sans référence explicite à l'approche poppérienne, même si (v. *infra*, section 8.1) celle-ci entre dans ce cadre. Disons qu'on continuera à utiliser la terminologie habituelle par pure convention.

<sup>9</sup> Concernant la signification des différents termes entrant dans la définition de la corroboration, v. *Réfutation de l'induction probabiliste et corroboration : les arguments de Bunge et Popper*, <https://www.dblogos.net/er/txt1.pdf>

<sup>10</sup> Karl Popper, *Le réalisme et la science*, op. cit., p. 257.

*incommensurabilité* des théories concernées<sup>1</sup>, ni par conséquent des paradigmes dont ces théories font partie, comme dans l'approche kuhnienne.<sup>2</sup> Cela n'empêche pas qu'il puisse exister des approches radicalement incompatibles d'un point de vue méthodologique, ce qui n'est pas la même chose qu'une « incommensurabilité » au sens de Kuhn ou Feyerabend<sup>3</sup> : il y a bien par exemple une telle incompatibilité entre la méthodologie dont procède la théorie des épicycles de Ptolémée et celle dont procède la théorie de la gravitation de Newton, parce que la première de ces théories, bien que très savante et complexe, n'est pas pour autant scientifique : elle repose sur des dogmes et non des hypothèses, et autorise à ajouter ou modifier indéfiniment épicycles et déférents pour la rendre conforme aux observations<sup>4</sup> ; alors que la théorie de la gravitation de Newton constitue le « premier système de physique théorique »<sup>5</sup>, rendu possible, depuis Kepler, par le passage de règles géométriques arbitraires à la causalité physique<sup>6</sup>. Par contre, il n'y a pas de rupture de ce genre entre la théorie newtonienne de la gravitation et la relativité générale, et d'ailleurs la première donne des résultats qui sont des cas limite de la seconde, alors que le passage de l'une à l'autre théorie constitue authentiquement une révolution scientifique. Ainsi que l'écrit Popper à propos de ce type de cas :

Cependant, même cette révolution ne produit pas une théorie incommensurable avec celle qui l'a précédée : la tâche même de la révolution était d'expliquer l'ancienne catégorie de choses par une théorie de plus grande profondeur.<sup>7</sup>

Dans l'expression précédente de la corroboration, un élément essentiel est la probabilité d'un événement  $e$  prédit par une nouvelle hypothèse  $h$  dans le contexte des connaissances  $b$  seul, c'est-à-dire sans tenir compte de  $h$  :

(...) la donnée empirique  $e$  ne peut être considéré comme étayant  $h$  qu'à condition de ne pas être probable (c'est-à-dire attendue) sur la base du seul contexte  $b$ . Nous pouvons à présent formuler cette condition ainsi :

$$p(e|b) \ll \frac{1}{2} \quad (2)$$

c'est-à-dire : la probabilité de  $e$  étant donné  $b$  est très inférieure à  $\frac{1}{2}$ . D'où il ressort immédiatement que plus  $p(e|b)$  est faible, plus  $e$  étaye  $h$  – à condition que notre première exigence soit satisfaite, c'est-à-dire que  $e$  découle de  $h$  et  $b$ , ou de  $h$  compte tenu de  $b$ .<sup>8</sup>

Un exemple que l'on prend souvent est celui de la prédiction de l'existence d'une nouvelle planète à partir des perturbations de l'orbite d'une planète déjà connue (Neptune à partir des perturbations de l'orbite d'Uranus, Pluton à partir des perturbations de l'orbite de Neptune). Même s'il n'est sans doute pas réaliste d'espérer calculer réellement une probabilité concernant la présence d'une planète avec toutes les caractéristiques requises (masse, orbite,

<sup>1</sup> Cf. Paul Feyerabend, *Contre la méthode*, 1975, trad. Baudouin Jurdant et Agnès Schlumberger, Paris, Éditions du Seuil, 1979, Ch. 17, p. 246 sqq.

<sup>2</sup> Cf. Thomas Kuhn, *La structure des révolutions scientifiques*, 1962, trad. Laure Meyer, Paris, Flammarion, 1970.

<sup>3</sup> Sur ce point, cf. Karl Popper, *Le mythe du cadre de référence*, trad. Renée Bouveresse, in *Karl Popper et la science d'aujourd'hui*, Actes du colloque de Cerizy de 1981, Paris, Aubier, 1989, p. 13-41.

<sup>4</sup> Cf. Paul Couderc, *Histoire de l'astronomie*, 1945, Paris, PUF, 1966, p. 64.

<sup>5</sup> *Ibid.*, p. 100.

<sup>6</sup> Sur ce point, cf. Arthur Koestler, *Les somnambules*, Paris, Calmann-Lévy, 1960, p. 379-380.

<sup>7</sup> Karl Popper, *Le mythe du cadre de référence*, op. cit., p.39.

<sup>8</sup> Karl Popper, *Le réalisme et la science*, op. cit., p. 255.

etc.), si l'on ne tient pas compte de la théorie qui en prévoit la présence, on peut admettre « en tout état de cause » qu'une telle probabilité serait très faible, et donc que les observations effectuées corroboraient la théorie de Newton.<sup>1</sup> Mais un degré de corroboration élevé peut aussi être associé à l'observation de ce qui ne serait qu'une apparence uniquement pour la nouvelle théorie, et qui devrait être nécessairement une réalité physique dans l'ancienne. Si par exemple on observe autour d'une galaxie massive ou d'un amas de galaxies deux images de galaxies quasi identiques, cela pourra être interprété en relativité générale comme deux images d'une seule galaxie (phénomène de « lentille gravitationnelle »). Si l'on ne tient pas compte de la relativité générale, on doit admettre qu'il doit s'agir de deux galaxies différentes d'aspect identique et suffisamment proches, mais la probabilité de cette coïncidence serait très faible, donc on admet qu'une observation de ce type corrobore la relativité générale.

Dans tous les cas, il y a corroboration lorsque le phénomène observé relève d'une *dépendance causale* descriptible à partir de la conjonction de lois naturelles (relevant de la théorie mise à l'épreuve) et de conditions initiales, et d'un hasard au sens de Jacques Monod, c'est-à-dire « résultant de l'intersection de (...) chaînes causales totalement indépendantes »<sup>2</sup> si l'on ne tient compte que du contexte préalable à la théorie testée, la corroboration étant d'autant plus élevée que ce phénomène est improbable.

## 2.2. détermination nomologique et indétermination physique

Il faut préciser un point concernant la prédictibilité par  $h$  d'un événement donné, selon une *détermination nomologique* relevant de la théorie qui sous-tend  $h$ . Il peut s'agir d'un événement ponctuel, déterministe au sens classique, mais aussi par exemple d'une répartition statistique (donc d'un *ensemble* d'événements), auquel cas l'hypothèse  $h$  n'est elle-même testable que statistiquement (v. *infra*, section 3.2). On pourrait objecter que les inégalités de Heisenberg, appelées aussi « relations d'indétermination », constituent un contre-exemple de l'idée d'une *détermination* nomologique caractérisant les théories scientifiques, et serait ainsi en rupture avec l'« objectivité totale » qui aurait jusque là caractérisé la physique<sup>3</sup>. Mais ce qui relève d'une « détermination nomologique » n'est pas nécessairement « déterministe » au sens classique. Dans le cas des inégalités de Heisenberg, on peut *déterminer nomologiquement* certaines *indéterminations physiques* relatives à des micro-états, qui ne sont pas des incertitudes ou des imprécisions sur des mesures, alors que l'objet observé se caractériserait par des grandeurs « en soi » déterminées (thèse que Bernard d'Espagnat nomme « microréalisme »<sup>4</sup>), mais constituent des propriétés intrinsèques aux systèmes microphysiques observés<sup>5</sup>, si bien que le fait de *ne pas* obtenir de telles indéterminations serait un motif de réfutation de la théorie<sup>6</sup>. Et d'autre part, lorsque la prédiction d'une telle indétermination se réalise, la probabilité qu'il s'agisse d'une imprécision due à une imperfection des appareils de mesure reproduisant l'indétermination prévue serait évidemment extrêmement faible. On voit que même le fait qu'une théorie puisse *prévoir des indéterminations* ne change rien à la problématique de la corroboration ou de la réfutation.

<sup>1</sup> v. *Réfutation de l'induction probabiliste et corroboration : les arguments de Bunge et Popper*.

<sup>2</sup> Cf. Jacques Monod, *Le hasard et la nécessité*, Paris, Éditions du Seuil, 1970, p. 149.

<sup>3</sup> Cf. René Leclercq, *Histoire et avenir de la méthode expérimentale*, Paris, Masson, 1960, p. 121.

<sup>4</sup> Cf. Bernard d'Espagnat, *Une incertaine réalité*, Paris, Gauthier-Villars, 1985, p. 93.

<sup>5</sup> Sur ce point, cf. Jean-Louis Basdevant et Jean Dalibard, *Mécanique quantique*, Palaiseau, Éditions de l'École Polytechnique, 2006, p. 46-47.

<sup>6</sup> Cf. Richard Feynman, Robert Benjamin Leighton, Matthew Linzee Sands, *Le cours de physique de Feynman*, vol. 3, *Mécanique quantique*, 1965, version française E. Bequer, P. Fleury et F. Muller, Paris, InterEditions, 1979, p. 15.

### 3. Quantité d'information pour une expérience ou une observation

#### 3.1. Probabilité logique et quantité d'information

La valeur informative correspondant à l'expérience ou à l'observation réalisée dans le cadre théorique où on admet l'hypothèse  $h$  sera d'autant plus élevée que la probabilité (2), où on n'admet que le contexte  $b$ , sera plus petite, donc cette probabilité satisfait au « cahier des charges » de la définition de la quantité d'information au sens de Shannon.<sup>1</sup> On peut ainsi exprimer la quantité d'information apportée par l'expérience  $e$  dont le résultat est prédictible par  $h$  dans le contexte  $b$ , selon une détermination nomologique relevant de la théorie qui sous-tend  $h$ , et possible d'un point de vue purement probabilitaire à partir du contexte  $b$  seul, par :

$$I(h, e, b) = -\ln p(e|b) \quad (3)$$

Rappelons qu'ici  $p(e|b)$  n'est pas une probabilité classique mais une « probabilité logique », qui ne peut pas être décomposée en  $p(e \wedge b)/p(b)$ .

#### 3.2. Le cas des descriptions statistiques

La théorie des probabilités conduit à *substituer* aux explications individuelles des explications statistiques<sup>2</sup>, créant ainsi, selon la terminologie bachelardienne, un *rationalisme régional* permettant de formuler de façon hypothético-déductive des prédictions de nature statistique. Par exemple, dans le cas par définition de la physique statistique, ou généralement dans des domaines comme la sociologie et l'économie, les prédictions effectuées portent sur des *distributions statistiques*, qui mettent donc en jeu des *unités statistiques*, c'est-à-dire des ensembles (par exemple des populations), et non des entités individuelles prises isolément : des prémisses probabilistes (ou statistiques) mènent à des conclusions probabilistes (ou statistiques).<sup>3</sup> Donc, dans ce type de cas, ce sera la distribution statistique elle-même qui devra être considérée comme un *événement* pouvant à son tour être affecté d'une certaine probabilité si l'on ne tient pas compte de l'hypothèse qui l'implique. On peut donc légitimement associer une quantité d'information à la réalisation d'une distribution statistique impliquée par une hypothèse donnée.

#### 3.3. Conditions d'indétermination de la quantité d'information

Faisons comme si on ne disposait pas du concept poppérien de probabilité logique. Des observations astronomiques telles que celles mentionnées plus haut à titre d'exemples nous apportent indéniablement des *informations* sur la réalité, à partir du moment où il existe une théorie qui permet de les prévoir. Si l'on admet que cela peut se traduire en termes de quantité d'information (selon une interprétation épistémique), celle-ci ne peut être définie, dans ce contexte, qu'à partir d'une probabilité telle que  $p(e|b)$ . Donc, sauf à affirmer que les observations en question, sachant qu'elles sont prédictibles par une théorie empirique, ne nous apportent aucune information sur la réalité, ou à rejeter ici l'utilisation du concept de quantité d'information, on est contraint d'introduire un concept de « probabilité logique », permettant d'attribuer une signification objective à une probabilité telle que  $p(e|b)$ .

<sup>1</sup> On verra plus loin (section 7.1) de façon plus précise comment légitimer le recours au concept de quantité d'information (en base  $e$ ), à partir du concept poppérien de contenu logique.

<sup>2</sup> Cf. Émile Borel, *Principes et formules classiques du calcul des probabilités*, leçons rédigées par René Lagrange, Paris, Gauthier-Villars, 1958, préface, p. XIII.

<sup>3</sup> Cf. Karl Popper, *L'univers irrésolu*, 1982, trad. Renée Bouveresse, Paris, Hermann, 1984, p. 81.

Considérons le cas où la théorie comprenant  $h$  contient les conditions de sa propre vérité. Dans ces conditions, la probabilité (au sens classique) de  $h$  existe et est égale à 1, et l'on n'est plus fondé à dire que les probabilités utilisées sont des « probabilités logiques » au sens de Popper. On est alors contraint de revenir au calcul classique des probabilités. D'autre part, on devrait affirmer que  $p(b) = 0$ , non parce qu'il existerait une infinité de mondes possibles d'un point de vue nomologique (ce qui n'est plus le cas ici où l'on admet qu'il n'en existe qu'un), mais parce que, puisque seule la théorie comprenant  $h$  serait possible, la théorie sous-tendant  $b$  seul devrait être considérée comme logiquement impossible. On retombe ainsi sur une « expression fatale » que la théorie formelle de la probabilité, dans son champ d'application, permettait précisément d'éviter :

$$p(e|b) = \frac{p(e \wedge b)}{p(b)} = \frac{0}{0} \quad (4)$$

Le fait que cette grandeur soit indéterminée interdit de définir une corroboration, et cette indétermination se retrouve évidemment dans la quantité d'information :

$$I(h, e, b) = \lim_{p(b) \rightarrow 0} \ln p(b) - \lim_{p(e \wedge b) \rightarrow 0} \ln p(e \wedge b) = \infty - \infty \quad (5)$$

ce qui signifie qu'une théorie comprenant les conditions de sa propre vérité n'a pas de valeur heuristique, puisqu'elle ne peut nous informer sur sa capacité à nous informer sur la réalité.

On peut rapprocher ces conclusions d'un théorème démontré par Raymond Smullyan relatif aux systèmes formels, et repris par Jean Ladrière dans le cadre d'un essai sur les limites de la formalisation<sup>1</sup>, théorème d'après lequel les propositions inférées dans le cadre d'un système qui contient les conditions de sa propre vérité sont indécidables.<sup>2</sup> Ici il est question non pas de systèmes purement formels, mais de systèmes empiriques (on devrait dire, à *prétention* empirique) dont le formalisme conceptuel est tel qu'ils contiennent les conditions de leur propre vérité *au sens empirique*. Comme dans le cas général la quantité d'information a une signification *comparative*, la singularité exprimée par (5) traduit le fait que toute comparaison devient inopérante : aucune théorie autre que la nouvelle théorie postulée n'aurait jamais pu décrire adéquatement la réalité, et aucun progrès réel (c'est-à-dire basé sur la possibilité de réfuter la théorie concernée au profit d'une autre théorie) n'est considéré comme possible.

## 4. Intersubjectivité et quantité d'information

### 4.1. Intersubjectivité et inter-objectivité

Ce que dans le domaine des sciences empiriques on appelle « intersubjectivité » consiste en la possibilité pour différents locuteurs à s'entendre, y compris dans le cas où ils recourent à des approches différentes, sur la pertinence heuristique des systèmes conceptuels utilisés dans un domaine donné, et donc sur la question de savoir sous quelles conditions et dans quelle mesure une théorie peut avoir un rapport *objectif* avec l'expérience. L'*intersubjectivité* est donc d'abord une *inter-objectivité*, qui devient intersubjectivité « par le changement de l'indice », selon l'expression employée par Husserl pour décrire la transformation de ce qui est établi en phénoménologie « en quelque chose de proprement

<sup>1</sup> Cf. Jean Ladrière, *Les limites de la formalisation*, in *LCS*, p. 324-327.

<sup>2</sup> v. *ER*, section 4.11, *Dialectique et diagonalisation*.

psychologique »<sup>1</sup> - on a l'équivalent chez Popper avec le *principe de transposition*<sup>2</sup>, initialement énoncé dans le contexte de la remise en cause des fondements de l'inductivisme humien<sup>3</sup>. L'intersubjectivité entre différentes branches du savoir ou différentes approches portant partiellement ou totalement sur un même domaine est ainsi un indicateur essentiel du caractère critique de la science, et constitue une condition de l'objectivité scientifique.<sup>4</sup> Or, on peut vérifier que l'intersubjectivité entre langages théoriques est conditionnée par la possibilité de déterminer, pour chaque expérience ou observation, une quantité d'information.

#### 4.2. Interprétation et projection

D'après (3), dans le cas d'un système empirique, la grandeur de la quantité d'information dépend de l'événement particulier auquel elle se réfère compte tenu du contexte  $b$  : la quantité d'information n'est bien ici qu'une traduction quantitative de la description qualitative de l'information<sup>5</sup>. Et d'après (5), dans le cas d'un système comprenant les conditions de sa propre vérité, le fait que la quantité d'information soit indéterminée ne dépend pas d'un événement particulier tel que  $e$ , mais est seulement la conséquence de la certitude de la validité de la théorie sous-tendant  $h$ , qui implique que  $b$  seul (sans  $h$ ) a une probabilité, et que celle-ci est nulle. Ceci entraîne les deux conséquences suivantes :

1°) Le fait que, quel que soit l'événement  $e$ , on a affaire à une *indétermination* (et non par exemple à une quantité d'information que l'on pourrait *déterminer* comme étant égale à zéro) implique, si l'on reste dans le cadre de la théorie sous-tendant  $h$ , que l'on puisse toujours trouver une *interprétation compatible* avec la réalisation de cet événement, quel qu'il soit. Dans ces conditions, la théorie considérée relève d'une approche purement interprétative (ce qui peut être revendiqué, comme l'a fait Paul Ricœur pour la psychanalyse<sup>6</sup>), et constitue donc une forme d'herméneutique, où les « hypothèses spéculatives » ne sont pas mises à l'épreuve d'observations ou d'expériences susceptibles de les réfuter, mais « *se vérifient* par leur pouvoir d'articuler les concepts herméneutiques »<sup>7</sup> (c'est nous qui soulignons) - du fait que l'« hypothèse »  $h$  n'est plus à proprement parler une hypothèse, puisque la théorie qui sous-tend  $h$  n'est pas réfutable, il fallait s'attendre à ce que la méthodologie dont procède cette théorie soit à l'opposé de la méthodologie hypothético-déductive. Si l'on considère même le cas d'un événement qui n'aurait pas été anticipé, toujours puisque la quantité d'information  $I(h,e,b)$  reste indéterminée  $\forall e$ , on pourrait là encore imaginer de nouvelles interprétations *ad hoc* (relevant de ce que Popper appelle des « stratagèmes conventionnalistes »<sup>8</sup>) permettant à la théorie de rendre compte de la réalisation de l'événement observé.

<sup>1</sup> Cf. Edmond Husserl, *Introduction à la logique et à la théorie de la connaissance*, 1906-1907, trad. Laurent Joumier, Paris, Vrin, 1998, p. 282.

<sup>2</sup> Cf. Karl Popper, *La connaissance objective*, op. cit., p. 46. Sur la relation entre l'énoncé de Husserl et celui de Popper, v. ER, p. 61.

<sup>3</sup> Cf. David Hume, *Enquête sur l'entendement humain*, 1748, trad. André Leroy et Michelle Beyssade, Paris, Flammarion, 1983, section IV, p. 83-99.

<sup>4</sup> Sur cette question, cf. Emmanuel Malolo Dissakè, *Grammaire de l'objectivité scientifique, Au cœur de l'épistémologie de Karl Popper*, Ch. 5, *Des scientifiques subjectifs à la science objective, Originalité de l'intersubjectivité poppérienne*, Chennevières-sur-Marne, Dianoïa, 2012, p. 126-152 ; du même auteur : *Karl Popper : Langage, falsificationnisme et science objective*, Paris, PUF, 2004, p. 96-98.

<sup>5</sup> Cf. par ex. Nicolas Sendrier, *Introduction à la théorie de l'information*, 2007, École Polytechnique, <https://www.rocq.inria.fr/secret/Nicolas.sendrier/thinfo.pdf>, p. 12-13.

<sup>6</sup> Cf. Paul Ricœur, *De l'interprétation, Essai sur Freud*, 1965, Paris, Éditions du Seuil, 1995, p. 78.

<sup>7</sup> *Ibid.*, p. 273.

<sup>8</sup> Cf. Karl Popper, *La science : conjectures et réfutations*, 1953, in *Conjectures et réfutations*, trad. Michèle-Irène et Marc B. de Launay, Paris, Payot, 1985, p. 65.

De toute façon, *toute théorie est interprétation*, y compris les théories scientifiques, pour lesquelles on peut avoir des variantes empiriquement équivalentes, mais qui diffèrent au moins en partie quant aux significations qu'elles expriment. Par exemple, la mécanique quantique a donné lieu à plusieurs interprétations, notamment celles de Schrödinger et de Heisenberg. Dans ce cas, *interpréter* ne signifie pas rechercher un *sens caché*, mais vise plutôt à une meilleure compréhension du sens déjà exprimé par le formalisme.<sup>1</sup>

Il existe également des cas où, partant d'une théorie existante, on peut faire émerger de nouvelles significations en la représentant d'une certaine façon, comme avec la représentation de Minkowski, qui est une représentation géométrique de la relativité restreinte sous sa forme initiale.<sup>2</sup> (Si un mode de représentation se traduit aussi par un accroissement du contenu empirique, on passe d'une théorie à une autre, la première constituant un cas limite de la deuxième<sup>3</sup>). Dans ce type de cas, on peut admettre avec René Guitart que « l'interprétation n'est bien que représentation de la représentation »<sup>4</sup>. Il est donc possible de progresser en termes de signification, en prenant comme objet non directement la réalité elle-même, mais des théories existantes décrivant cette réalité, de façon comparable à ce que l'anthropologue Marc Augé dit de l'art de Erró :

Lorsque tout a été peint (ou dit) on ne peut recommencer qu'en prenant tout ce qui précède non pour source mais pour objet.<sup>5</sup>

Il peut donc exister des *différences sémantiques* entre théories empiriques (ou entre variantes de telles théories), y compris dans le cas où elles recouvrent un même domaine d'application. Autrement dit, la réfutabilité n'est pas tout, mais elle est un pré-requis. Mais quand une théorie contient les conditions de sa propre vérité, comme celles-ci par définition ne peuvent pas être remises en cause, les significations qu'elles expriment sont indépassables : une *pure interprétation* du réel devient alors une simple *projection* de la théorie dans le réel<sup>6</sup>. Cela induit un rapport au réel qui présente des similitudes avec la description que fait Jung de certains aspects de l'introversion lorsqu'elle est poussée à l'extrême (et sans préjuger de la pertinence des explications qu'en donne Jung dans le cas d'une origine purement psychologique), où les faits ne peuvent être interprétés que comme des « exemples illustratifs » des idées que l'ont veut imposer au réel, selon une pensée qui va jusqu'à « faire entrer de force les faits dans le cadre de son image, voire à les ignorer pour développer à son aise les produits de son imagination »<sup>7</sup>, si bien que, à l'instar de ce qu'écrit

---

<sup>1</sup> Cf. Sébastien Poinat, *Mécanique quantique, Du formalisme mathématique au concept philosophique*, Paris, Hermann, 2014, p. 457 sqq.

<sup>2</sup> v. ER, section 2.1, *La représentation géométrique de la relativité restreinte*.

<sup>3</sup> v. ER, Ch. 2, *La relation de représentation*.

<sup>4</sup> René Guitart (Université Paris 7), *Représentation de la représentation*, Conférence le 10 novembre 2007 au Colloque de l'AECF Lille, *Les a-tours de la représentation*, 10-11 novembre 2007, <http://rene.guitart.pagesperso-orange.fr/textespreprints/guitartrep08.pdf>, p. 16.

<sup>5</sup> Marc Augé, *Erró, peintre mythique*, Paris, Le Lit du Vent, 1994, p. 105.

<sup>6</sup> Comme exemple classique d'une telle projection, on peut vérifier que les observations et expériences effectuées dans le cadre de la théorie des stades de Piaget consistent exclusivement à y *projeter* des catégories bourbakistes. Cf. par ex., dans LCS : Jean Piaget, *Les données génétiques*, p. 404-423 ; Jean-Blaise Grize, *Remarques sur l'épistémologie mathématique des nombres naturels*, § *La solution a posteriori de Jean Piaget*, p. 519 sqq ; ou encore, de façon assez flagrante, à propos des « lois mathématiques de groupe » vues dans « les actions spatiales des bébés », v. Jean-Jacques Ducret, *Jean Piaget 1970-1980. Dix années de recherches sur le constructivisme au Centre international d'épistémologie génétique*, in *Bulletin de psychologie*, tome 51 n° 435, 1998, *Présence de Jean Piaget (1)*, pp. 343-375, p. 355.

<sup>7</sup> Cf. Carl Gustav Jung, *Types psychologiques*, 2<sup>ème</sup> édition, trad. Yves Le Lay, Genève, Librairie de l'Université Georg et Cie S.A., 1958, p. 373-376.

Léon Brunschvicg à propos des religions, la théorie « se crée à elle-même un objet »<sup>1</sup>. Une théorie comprenant une épistémologie qui lui est spécifique, et donc dans ce cas particulier les conditions de sa propre vérité, relève ainsi de ce que l'on pourrait appeler une *introversion épistémologique*, qui conduit à une systématisation du recours au *biais de confirmation*.

2°) S'il n'est pas possible de lever l'indétermination de la quantité d'information  $I(h,e,b)$  afférente à un événement  $e$  donné tant qu'on reste dans le cadre d'un système comprenant les conditions de sa propre vérité (théorie  $T_1$ ), on peut toutefois envisager, au moins pour certaines explications ou interprétations, que cette indétermination puisse être levée dans le cadre d'une *autre* théorie ( $T_2$ ), existante ou peut-être encore inconnue, qui évidemment ne contiendrait pas les conditions de sa propre vérité. Il n'est donc pas impossible que certaines analyses de  $T_1$  soient corroborées par une théorie du type  $T_2$  (ce que Popper admettait par exemple pour les théories de Freud et d'Adler, « dans une psychologie scientifique se prêtant à l'épreuve des tests »<sup>2</sup>). Mais si la levée de cette indétermination dans  $T_2$  donnait un résultat défavorable (du type  $I(h,e,b) \approx 0$ ), il serait toujours possible, en revenant à  $T_1$ , de recourir là encore à des interprétations *ad hoc* permettant d'affirmer que l'événement  $e$  exemplifie  $T_1$ , précisément parce que dans  $T_1$  on n'aurait plus une quantité d'information *déterminée* comme proche de zéro, mais une quantité d'information *indéterminée*. Ceci montre que la question de savoir si un énoncé est rationnel ou non n'est pas toujours évidente au vu de l'énoncé pris isolément, mais peut dépendre du contexte théorique où il est inféré. Ainsi que l'écrit Gilles-Gaston Granger :

(...) la raison se distingue essentiellement de la mythologie non point tant par le contenu de connaissance qu'elle institue que par son propre mouvement *critique*. L'attitude mystique est un achèvement, l'attitude rationnelle un cheminement.<sup>3</sup> (souligné par l'auteur).

Du point de vue de  $T_2$ ,  $T_2$  décrit des phénomènes relevant du même domaine d'application que  $T_1$ . Mais d'après ce qui précède, on voit que les visions du monde qui sous-tendent les deux théories  $T_1$  et  $T_2$  se caractérisent par des conditions d'accessibilité au réel inverses l'une de l'autre : du point de vue de la méthodologie dont relève  $T_2$ , le rapport entre théorie et expérience est *toujours* (pour toute théorie) conditionné par l'existence d'une quantité d'information déterminée, ce qui n'est plus le cas du point de vue de la méthodologie dont relève  $T_1$  ; et corrélativement, du point de vue de  $T_2$ , la réalité permet de *tester* une théorie, *quelle qu'elle soit*, tandis que du point de vue de  $T_1$ , la réalité ne peut qu'*exemplifier* la théorie,  *$T_1$  seulement*. Cela se traduit d'ailleurs par le fait que pour  $T_1$  il ne peut pas y avoir de *théorie concurrente*. La situation n'est donc pas symétrique.

La confrontation entre théories concurrentes est possible si la quantité d'information correspondant aux prédictions que ces théories permettent de faire peut donner lieu à des comparaisons. S'il s'agit de mêmes événements, la quantité d'information sera la même puisque par définition on est dans le même « contexte ». Donc, par exemple pour deux théories, on sera amené à comparer 1°) la capacité pour l'une d'elles à prévoir des événements que l'autre ne prévoit pas et 2°) les quantités d'information correspondantes.

Or ceci suppose évidemment que ces quantités d'information soient déterminées (on ne va évidemment pas effectuer des comparaisons numériques de quantités d'information effectivement calculées : le fait que ces quantités d'information soient *en droit* déterminées est seulement le *signe* que l'on peut s'entendre sur des points de comparaison). Cette

<sup>1</sup> Cf. Léon Brunschvicg, *Les étapes de la philosophie mathématique*, 1912, Paris, Librairie scientifique et technique A. Blanchard, 1993, p. 433.

<sup>2</sup> Cf. Karl Popper, *La science : conjectures et réfutations*, in *Conjectures et réfutations*, op. cit., p. 66.

<sup>3</sup> Gilles-Gaston Granger, *La raison*, Paris, PUF, 1993, p. 31.

détermination est donc une condition de l'intersubjectivité entre les langages théoriques relevant d'un même domaine d'application. Ce type de comparaison n'est évidemment plus possible entre des théories telles que  $T_2$  (ou toute autre théorie empirique) et  $T_1$ .

#### 4.3. Confinement de l'intersubjectivité

Dans le cas des systèmes empiriques, la possibilité d'associer à un événement faisant partie du domaine d'application d'une théorie donnée telle que  $T_2$  une quantité d'information déterminée est un élément essentiel de l'intersubjectivité inter-théorique. Plus précisément, on peut considérer que cet aspect est constitutif du pendant inter-théorique de ce que, pour la communication inter-individuelle, Gilles-Gaston Granger appelle « les circonstances constitutives empiriques [qui] intéressent (...) une psychologie de la communication linguistique »<sup>1</sup>. Mais si l'on se place du point de vue de  $T_1$ , on n'est plus dans un schéma linguistique réflexif (dans le sens où la comparaison serait possible, y compris jusqu'à la contradiction), mais exclusif (de fait, puisqu'on est dans la situation inverse), pouvant éventuellement *se présenter* comme « inclusif » ou « intégratif » (comme en psychanalyse), voire « interdisciplinaire » (comme en épistémologie génétique), puisqu'il n'y a pas de limite à la réinterprétation, dans  $T_1$ , de tout énoncé d'un système empirique tel que  $T_2$ .<sup>2</sup> Dans la pratique, si vous vous adressez à un locuteur de  $T_1$ , vous lui parlez dans *votre* langage, il vous écoute dans *son* langage. Autrement dit, l'intersubjectivité du langage d'une théorie comprenant les conditions de sa propre vérité se limite aux locuteurs s'exprimant dans le cadre exclusif du système (purent) interprétatif que constitue ladite théorie.

Si  $T_1$  est un *langage privé*, il tombe sous la coupe du « paradoxe de Wittgenstein »<sup>3</sup> (du moins tel que le décrit Kripke<sup>4</sup>), d'après lequel tous les événements d'une « histoire mentale », pour un observateur extérieur, sont compatibles avec une pluralité de significations.<sup>5</sup> Ce paradoxe n'a donc qu'une solution sceptique, c'est-à-dire en fait une infinité de solutions. Mais ici on retourne ce défaut, on met à profit l'ambiguïté du langage de  $T_1$  pour l'immuniser contre la critique : la variabilité illimitée des solutions est reportée sur des aspects de l'interprétation du réel qui ne remettent pas en cause les fondamentaux de la théorie, y compris par exemple en définissant de façon *ad hoc* des *anomalies* du réel<sup>6</sup> (ce qui renvoie aux « stratagèmes conventionnalistes » dénoncés par Popper). Alors qu'une explication scientifique se traduit par une prévision qui par définition *exclut* des possibilités, ici la théorie doit rester compatible avec n'importe quel fait : la théorie  $T_1$  souffre alors de cet « excès de souplesse » qui, ainsi que l'a montré Meyerson, du fait qu'elle est compatible avec n'importe quel événement, la rend inapte aussi bien à faire des prévisions qu'à expliquer réellement les faits<sup>7</sup>. Au bout du compte, le locuteur de  $T_1$  ne met pas sa théorie à l'épreuve de l'expérience, c'est au contraire l'expérience qui est mise à l'épreuve de la théorie. Dans la

<sup>1</sup> Gilles-Gaston Granger, *Langages et épistémologie*, Paris, Klincksieck, 1979, p. 150.

<sup>2</sup> Ce qui montre qu'il ne peut pas y avoir réellement « interdisciplinarité » lorsqu'il existe une discipline dominante qui contraint à réinterpréter les autres disciplines uniquement en fonction de ce qui la confirme.

<sup>3</sup> Cf. Ludwig Wittgenstein, *Investigation philosophiques*, in *Tractatus logico-philosophicus*, 1961, trad. Pierre Klossowski, Paris, Gallimard, 1990, § 200-201, p. 202.

<sup>4</sup> Cf. Saul Kripke, *Règles et langage privé, Introduction au paradoxe de Wittgenstein*, 1982, trad. Thierry Marchaisse, Paris, Le Seuil, 1996, p. 15.

<sup>5</sup> *Ibid.*, p. 32.

<sup>6</sup> Là encore, on peut prendre comme exemple la psychogénétique de Piaget, où l'on définit des anomalies, voire des pathologies, pour toute évolution de l'intelligence ou des modes de raisonnement chez l'enfant qui ne seraient pas conformes aux présupposés de la théorie des stades.

<sup>7</sup> Cf. Emile Meyerson, *La déduction relativiste*, Paris, Payot, 1925, Éditions Jacques Gabay, 1992, § 132, p. 186. Dans un passage où il anticipe clairement certains raisonnements de Popper sur la falsifiabilité, Meyerson a repris cet argument dans *Du cheminement de la pensée*, Paris, Librairie Félix Alcan, 1931, Tome 1, § 143, p. 248.

pratique scientifique, on sait que l'on doit rejeter le procédé qui consiste à ajuster l'interprétation du réel pour sauver une théorie. Sur ce point, l'astronome V. Ambartsoumian écrit que

(...) en procédant par ajustage, on trouve toujours un nombre infini de procédés pour « accorder avec les faits » une hypothèse sciemment fausse.<sup>1</sup>

Mais ici on considère que cette manière de faire est parfaitement justifiable, d'abord parce que l'on n'admet pas que  $T_1$  puisse être fausse, et aussi parce que, par rapport à toute critique extérieure, le caractère privé du langage de  $T_1$  permet de recourir librement à toutes les réinterprétations nécessaires (on peut même aller jusqu'à des interprétations créant des contradictions entre différents moments du raisonnement, ce qui est une propriété de la pensée dialectique<sup>2</sup>).

Lorsque l'on veut effectuer des comparaisons entre des conceptions différentes censées relever d'un même domaine, ainsi que l'écrit Putnam :

Que des conceptions soient différentes ne démontre pas qu'il est impossible de traduire quelque chose « correctement », comme on l'entend dire parfois. Bien au contraire, si l'on ne pouvait pas traduire il serait impossible de dire que des conceptions diffèrent et en quoi elles diffèrent. (...) la réussite de l'interprétation n'exige pas que les croyances de celui qu'on traduit soient *identiques aux nôtres*, mais qu'elles soient *intelligibles pour nous*.<sup>3</sup> (souligné par l'auteur)

Mais ici le caractère privé du langage de  $T_1$  permet d'affirmer que le locuteur de  $T_2$  ne peut pas comprendre le langage de  $T_1$  à partir de son propre langage, et par conséquent, étant privé d'accès à l'*intelligibilité* de  $T_1$ , n'est pas *en droit* de critiquer cette théorie : il n'y a donc pas de possibilité de *débat critique*. L'opposition quinéenne entre l'« obvie », lorsqu'une théorie est comprise de l'intérieur, et son « inscrutabilité » lorsqu'elle est vue de l'extérieur<sup>4</sup>, est ainsi admise comme effectivement réalisée pour  $T_1$  et pleinement justifiée.<sup>5</sup> Ce faisant, le locuteur de  $T_1$  s'enferme dans un « cadre de référence » qui, pour lui, ne saurait être un « mythe »<sup>6</sup>, et considère sa théorie comme *incommensurable* à toute théorie concurrente.

D'autre part, du fait que l'opinion d'un locuteur critique de  $T_1$  est toujours explicable par  $T_1$  (v. *supra*, section 1), ce locuteur devient *objet de la théorie*, ce qui le disqualifie comme *sujet connaissant* à proprement parler. Son jugement ne peut évidemment pas être pris en compte dans le contexte d'intersubjectivité limitée réunissant seulement les locuteurs de  $T_1$ , comme si l'on était dans un débat critique où la théorie pouvait être mise à l'épreuve, et où celui qui critique  $T_1$ , s'il a des arguments pour cela, serait admis comme *interlocuteur* par ceux qui défendent  $T_1$ .

---

<sup>1</sup> Viktor Ambartsoumian, *Problèmes de cosmogonie contemporaine*, trad. A. Sokova et V. Polonski, Moscou, Mir, 1971, p. 335.

<sup>2</sup> v. ER, Ch. 4, *Dialectique et représentation*.

<sup>3</sup> Hilary Putnam, *op.cit.*, p. 133.

<sup>4</sup> Cf. Sandra Laugier-Rabaté, *L'anthropologie logique de Quine, L'apprentissage de l'obvie*, Paris, Vrin, 1992, p. 270.

<sup>5</sup> Cet point sera précisé à la section 8.4.

<sup>6</sup> Cf. Karl Popper, *Le mythe du cadre de référence*, *op. cit.*

## 5. Relation entre quantité d'information et falsifiabilité

Une théorie, pas forcément vraie mais susceptible d'avoir un rapport objectif avec la réalité (ne serait-ce que de façon raisonnablement approximative), doit pouvoir nous apporter des informations sur cette réalité dans un domaine donné – ce qui se traduit précisément en termes de théorie de l'information par l'apport d'une quantité d'information déterminée relative à une prédiction (ou une rétrodictio) réalisée. On peut présenter cela comme une preuve par l'absurde du fait qu'aucune théorie ayant un rapport objectif avec la réalité ne peut *réellement* contenir les conditions de sa propre vérité (le problème se poserait de la même façon si l'on reportait ces preuves sur une *autre* théorie - v. *supra*, section 1.1). Ainsi, en prétendant prouver *pourquoi* elle est nécessairement valide, une théorie comprenant les conditions de sa propre vérité « prouve trop », selon la formule utilisée par Daniel Pimbé dans *L'explication interdite*.<sup>1</sup>

On a donc le résultat suivant : une théorie dans le cadre de laquelle on peut associer à chaque expérience ou observation réalisée une quantité d'information déterminée ne peut pas comprendre les conditions de sa propre vérité, et de ce est fait réfutable par l'expérience ; et réciproquement, une théorie (à prétention empirique) non réfutable par l'expérience ne peut objectivement nous *informer* sur la réalité. On retrouve donc bien ici le critère de falsifiabilité.<sup>2</sup>

La relativisation, voire le rejet du critère de falsifiabilité en raison de la « plurivocité des sciences du réel »<sup>3</sup>, date des controverses qui opposaient Popper au Cercle de Vienne. Dans la pratique, il se trouve que c'est seulement dans les sciences humaines que le problème se pose, bien qu'il serait faux de croire que le critère de falsifiabilité y soit toujours rejeté. Si l'on prend l'exemple de la sociologie, on sait que certains auteurs considèrent que ce critère ne devrait pas s'y appliquer : par exemple Jean-Claude Passeron, pour qui, « le type de scientificité dont [le sociologue] traite est celui des sciences de l'interprétation »<sup>4</sup>, ou (en référence à cet auteur) Jean-Louis Le Moigne<sup>5</sup>. Mais on peut aussi citer le cas de Raymond Aron, qui au contraire se réfère explicitement à l'équivalent de ce critère<sup>6</sup>. Il reste que le concept d'information a une portée universelle, il ne dépend pas d'un domaine d'application particulier. Et puisqu'on ne peut pas prétendre être en mesure d'apporter des informations sur la réalité dans un cadre théorique où la quantité d'information associée à chaque énoncé d'observation est indéterminée, ce qui implique la non falsifiabilité de la théorie, l'approche par la théorie de l'information est en accord avec l'idée, toujours soutenue par Popper, d'après laquelle il ne saurait exister d'« épistémologie régionale » où l'on pourrait légitimement déroger à l'application du critère de falsifiabilité.<sup>7</sup>

---

<sup>1</sup> Cf. Daniel Pimbé, *L'explication interdite, Essai sur la théorie de la connaissance de Karl Popper*, Paris, L'Harmattan, 2009.

<sup>2</sup> Cf. Karl Popper, *LDS*, p. 37.

<sup>3</sup> Cf. Otto Neurath, *Pseudo-rationalisme de la falsification*, 1935, trad. Christian Bonnet, in *L'âge d'or de l'empirisme logique*, collectif sous la direction de Christian Bonnet et Pierre Wagner, Paris, Gallimard, 2006, p. 495.

<sup>4</sup> Valérie Erlich, Jean-Claude Passeron, *Le raisonnement sociologique, L'espace non-poppérien du raisonnement naturel*, Cahiers de l'Urmis 1/1995, <https://journals.openedition.org/urmis/pdf/432>, p. 90.

<sup>5</sup> Cf. Jean-Louis Le Moigne, *Les épistémologies constructivistes*, Paris, PUF, 1995, p. 110. Jean-Louis Le Moigne considère également qu'il faut rejeter le critère de falsifiabilité parce qu'il ne s'applique pas aux mathématiques ; or il s'agit d'un critère de démarcation de la science *empirique*, qui ne concerne de toute façon pas les sciences formelles.

<sup>6</sup> Cf. Raymond Aron, *Les étapes de la pensée sociologique*, 1967, Paris, Gallimard, 2013, p. 419.

<sup>7</sup> Cf. par ex. Karl Popper, *Misère de l'historicisme*, 1956, trad. Hervé Rousseau et Renée Bouveresse, Paris, Plon, 1988, p. 164-185.

## 6. L'internalisation de l'épistémologie

### 6.1. Énoncés primitifs

Les résultats précédents peuvent être retrouvés autrement. Rappelons tout d'abord que toutes les théories, et pas seulement dans les sciences telles que la physique, comprennent des propositions théoriques constitutives ou *propositions primitives*. Celles-ci peuvent être des lois naturelles, ou des principes généraux comme (pour revenir à la physique) le principe de moindre action, ou la linéarité en mécanique quantique, etc. – on notera que même si l'on souhaitait adopter une position telle que celle de van Fraassen selon laquelle on devrait rejeter la notion de « loi naturelle » comme métaphysique, au profit en l'occurrence des symétries<sup>1</sup>, il existerait toujours des propositions primitives, dont l'énoncé (dans le cas présent) serait précisément celui desdites symétries. Toute description du réel est ensuite censée instancier une ou plusieurs de ces propositions primitives dans des conditions données. Par exemple, en psychanalyse, on admet généralement que ces propositions primitives sont systématisées dans la *Métapsychologie*<sup>2</sup>, « superstructure spéculative de la psychanalyse » selon Paul-Laurent Assoun<sup>3</sup>, mais on peut évidemment aussi les trouver dans l'ensemble de l'œuvre de Freud.

Ce dernier exemple est problématique dans sa formulation, car il peut y avoir une ambiguïté dans l'usage du mot « spéculatif ». Un système empirique peut être dit « spéculatif », dans le sens où par définition il est réfutable, et dans ce cas la métapsychologie freudienne n'est pas réellement spéculative. Mais on peut aussi dire d'un énoncé métaphysique, et donc non réfutable, qu'il est « spéculatif ». À l'opposé de Paul-Laurent Assoun, Paul Ricœur écrit :

La métapsychologie n'est pas une construction adventice ; ce n'est pas une idéologie, une spéculation ; elle relève de ce que Kant appelait les jugements déterminants de l'expérience ; elle détermine le champ de l'interprétation. Il faut donc renoncer à dissocier méthode et doctrine, à prendre la méthode sans la doctrine. Ici la doctrine est méthode.<sup>4</sup>

Pour Paul Ricœur l'affirmation du caractère « non spéculatif » de la métapsychologie dérive du fait qu'il considère que c'est la théorie elle-même qui doit définir les « jugements déterminants de l'expérience », qui imposent ainsi de façon exclusive ce que doit être le « champ de l'interprétation ». L'épistémologie spécifique sous-jacente garantit ainsi par avance la *vérité*, non juste la possibilité de *corroboration* des énoncés primitifs (qui supposerait aussi la possibilité de leur réfutation). Ici le mot « méthode » ne désigne pas simplement les pratiques d'une discipline donnée, mais englobe les principes généraux qui guident l'interprétation du réel. Du fait qu'il est dit qu'« il faut renoncer à dissocier méthode et doctrine », cette approche est analogue dans sa forme à celle qui sous-tend le système de Piaget, à la fois « *psychologie* génétique » et « *épistémologie* génétique ».

Voyons comment cela se traduit en termes propositionnels. On considère l'ensemble  $\{p_i\}$  des propositions théoriques constitutives de la théorie  $T_1$ . Puisque ici la proposition  $p(E)$  affirmant la validité d'une épistémologie spécifique à  $T_1$  fait partie des présupposés de  $T_1$ , on a :

$$p(E) \in \{p_i\} \quad (6)$$

<sup>1</sup> Cf. Bas C. van Fraassen, *Lois et symétrie*, 1989, trad. Catherine Chevalley, Paris, Vrin, 1994, p. 64-65.

<sup>2</sup> Cf. Sigmund Freud, *Métapsychologie*, 1915, trad. J. Laplanche et J.-B. Pontalis, Paris, Gallimard, 1976.

<sup>3</sup> Cf. Paul-Laurent Assoun, *Le freudisme*, Paris, PUF, 2001, p. 71.

<sup>4</sup> *Op. cit.*, p. 454.

Dans le cas des systèmes empiriques, une épistémologie a pour objet de déterminer les « conditions de validité » des théories (v. *supra*, section 1.1), c'est-à-dire leurs conditions principielles d'accessibilité au réel. Si l'on définit de telles conditions *spécifiques* à une théorie donnée, le minimum que l'on puisse dire à ce niveau est que celles-ci doivent *impliquer* les propositions primitives de cette théorie. Donc, si  $v(p_i)$  est une proposition affirmant la validité de  $p_i$  :

$$\forall i : p(E) \Rightarrow v(p_i) \quad (7)$$

D'après la table de vérité de la relation binaire de l'implication :

| $p(E)$ | $v(p_i)$ | $p(E) \Rightarrow v(p_i)$ |
|--------|----------|---------------------------|
| V      | V        | V                         |
| V      | F        | F                         |
| F      | V        | V                         |
| F      | F        | V                         |

Si  $p(E)$  est admise *a priori* comme vraie pour le domaine d'application de  $T_1$ , on doit éliminer les troisième et quatrième lignes. Partant de la définition classique de l'implication, on s'est rapproché du « conditionnel généralisé » de Quine, selon lequel « un conditionnel cesse d'être pris en considération, comme vide et inintéressant, dès que son antécédent se révèle faux ».<sup>1</sup> D'autre part, l'implication (7) ne fait initialement que *définir* la relation entre l'épistémologie interne à  $T_1$  et chacune de ses propositions primitives, donc la seconde ligne est aussi éliminée. Finalement il ne reste que la première ligne, donc toute proposition  $p_i$  est nécessairement vraie, et de ce fait la théorie  $T_1$  est effectivement irréfutable. L'internalisation d'une épistémologie spécifique permet donc bien à  $T_1$  de se soustraire à la falsifiabilité poppérienne.

Les conditions précédentes, qui complètent la formulation initiale (7), reviennent à introduire des *modalités* telles qu'il est *impossible* d'avoir à la fois  $p(E)$  vraie et une quelconque proposition  $p_i$  fausse, si bien que, partant de la relation d'implication classique (ou « matérielle ») entre  $p(E)$  et  $v(p_i)$ , celle-ci se ramène finalement à une implication stricte de Lewis<sup>2</sup> (qui transcrit bien ici le conditionnel généralisé de Quine) :

$$\forall i : \Box [p(E) \Rightarrow v(p_i)] \quad (8)$$

Donc, d'après (6) et (8), on voit que  $p(E)$  est un élément permettant de définir l'ensemble dont il fait partie. Par conséquent, la proposition (8) est à la fois fondationnelle et imprédicative, ce qui implique que le formalisme conceptuel de la théorie est purement auto-référentiel.<sup>3</sup> Au bout du compte, le locuteur d'un tel système ne fait que naviguer à l'intérieur de son propre langage, dont la structure sémantique se doit de couvrir le champ des possibles.<sup>4</sup> C'est précisément ce qui permet à la théorie de ne pas se *confronter* à la réalité, mais d'y *projeter* ses présupposés (en les accompagnant si besoin d'interprétations particulières *ad hoc*) sans qu'ils puissent être remis en cause.

<sup>1</sup> Willard van Orman Quine, *Méthodes de logique*, 1950, trad. Maurice Clavelin, Paris, Armand Colin, 1972, p. 30.

<sup>2</sup> Cf. Jean-Blaise Grize, *Historique. Logique des classes et loi des propositions. Logique des prédicats. Logiques modales*, in *LCS*, p. 249.

<sup>3</sup> On retrouve encore ici une propriété fondamentale des systèmes dialectiques (v. *ER*, Ch. 4).

<sup>4</sup> *Ibid.*

## 6.2. L'épistémologie comme science formelle

Supposons maintenant qu'il existe une épistémologie applicable à toutes les théories empiriques, et admettons également qu'elle soit elle-même une science empirique, comme dans le projet quinéen de naturalisation de l'épistémologie, où Quine affirme que l'épistémologie n'est qu'« un chapitre de la psychologie et donc [une] science naturelle ».<sup>1</sup> On pourrait citer d'autres auteurs aboutissant à des conclusions similaires avec des approches différentes : par exemple Feyerabend, pour qui les analyses épistémologiques doivent relever de l'enquête anthropologique<sup>2</sup> ; ou évidemment Jean Piaget, qui a développé la thèse la plus complète en ce sens, et qui considère que « la logique et l'épistémologie scientifique constituent des sciences de l'homme »<sup>3</sup>.

Si l'on admet l'une quelconque de ces thèses, l'épistémologie serait internalisée dans une théorie empirique, dont elle déterminerait aussi les conditions d'accessibilité au réel, puisqu'on a admis qu'elle s'appliquait à tous les domaines. On se retrouverait alors ramené au problème précédent. En conséquence l'épistémologie des sciences empiriques ne peut pas être elle-même empirique : elle est donc nécessairement une science formelle.<sup>4</sup> Autrement dit, il existe des conditions logiques universelles, donc ne dépendant pas de tel ou tel domaine, déterminant la possibilité d'un rapport objectif entre théorie et expérience, conditions dont le critère de falsifiabilité n'est qu'une conséquence méthodologique. S'il peut toujours exister, non seulement d'une science à une autre, mais aussi à l'intérieur d'une même science, ainsi que l'a montré Bachelard pour différents domaines de la physique (en l'occurrence la mécanique et l'électricité), des *rationalismes régionaux* qui acquièrent (parfois seulement provisoirement) une relative autonomie conceptuelle<sup>5</sup>, cela ne signifie donc pas qu'il puisse exister des *épistémologies régionales*, dont la seule vocation serait de rendre impossible la réfutation des postulats fondamentaux des théories auxquelles elles se rapportent. Le caractère *formel* de l'épistémologie implique que celle-ci relève de règles générales, au même titre par exemple que les règles mathématiques, qui ne changent pas lorsqu'on passe d'un domaine à un autre.

Toutefois, on utilise souvent des expressions comme « épistémologie de la physique », « épistémologie des sciences sociales », etc. Doit-on affirmer que ces expressions sont illégitimes ? En toute rigueur, on devrait dire : « épistémologie *appliquée à* » tel ou tel domaine, mais il est inutile d'être aussi pointilleux dans l'usage d'une terminologie. De la même façon, quand on parle de « mathématiques pour la physique », ou de « mathématiques pour l'économie », etc., il ne s'agit pas de mathématiques qui obéiraient à chaque fois à des règles différentes, mais de mathématiques que l'on présente (en principe) de façon adaptée à leur usage dans un contexte empirique donné.

Il faut aussi mentionner le cas où, tout en qualifiant l'épistémologie de *formelle*, certains auteurs souhaitent y intégrer ce qu'ils décrivent comme des conditions *empiriques* d'acquisition et de développement des connaissances.<sup>6</sup> Mais par définition 1) ces conditions relèvent à chaque fois de contingences liées à un contexte donné, et 2) si ces conditions font l'objet d'une description selon une théorie elle-même empirique (comme une théorie psychologique), celle-ci doit pouvoir faire l'objet d'une analyse critique. S'il s'avère que ces conditions sont en accord avec des critères purement épistémologiques de scientificité, pour

<sup>1</sup> Cf. Willard van Orman Quine, *Relativité de l'ontologie et autres essais*, 1977, trad. Jean Largeault, Paris, Aubier, 2008, p. 96.

<sup>2</sup> Cf. Paul Feyerabend, *op. cit.*, p. 291.

<sup>3</sup> Jean Piaget, *Les deux problèmes principaux de l'épistémologie des sciences de l'homme*, in *LCS*, p. 1129.

<sup>4</sup> v. *ER*, Ch. 2, *Le statut épistémologique du critère de falsification*.

<sup>5</sup> Cf. Gaston Bachelard, *Le rationalisme appliqué*, 1949, Paris, PUF, 1986, Ch. VII à X.

<sup>6</sup> Cf. par ex. Daniel Andler, *Intelligence artificielle, intelligence naturelle, la double énigme*, Paris, Gallimard, 2023, p. 50-51.

autant, puisqu'il s'agit de données empiriques, elles ne peuvent au sens strict faire l'objet d'une *intégration* dans l'épistémologie ; on doit seulement reconnaître qu'elles constituent effectivement une *transposition* au sens de Popper (v. *supra*, section 4.1), de l'épistémologie vers la psychologie.

## 7. Relations entre contenu empirique, contenu logique et quantité d'information

### 7.1. Déduction de la quantité d'information à partir du contenu logique

Popper définit le *contenu empirique* d'un énoncé comme la classe de ses falsificateurs virtuels<sup>1</sup>, qui sont des énoncés de base interdits ou *occurrences*, de façon que « la théorie exclut certaines occurrences possibles et (...) sera falsifiée si ces occurrences possibles se produisent en fait. »<sup>2</sup>

Plus la probabilité  $p(e|b)$  est faible, plus l'hypothèse  $h$  exclut de possibilités, ce que Popper traduit en disant que « plus un énoncé est porteur d'information, plus la probabilité logique qu'il soit vrai (accidentellement, pourrait-on dire) sera petite. »<sup>3</sup> ; et réciproquement, on peut dire avec Alain Boyer que « plus une théorie exclut des événements logiquement possibles, plus elle est informative »<sup>4</sup>. Popper définit le *contenu logique* de  $x$  sachant  $y$  comme le complémentaire de la probabilité  $p(x|y)$ <sup>5</sup> :

$$Ct(x,y) = 1 - p(x|y) \quad (9)$$

qui est une grandeur d'autant plus élevée que la probabilité logique  $p(x|y)$  est faible (ici, on a évidemment  $x = e$  et  $y = b$ ), ce qui permet d'établir une correspondance entre contenu empirique et contenu logique : « deux énoncés de contenu logique égal doivent avoir le même contenu empirique »<sup>6</sup>.

La *certitude* de la vérité étant, selon Popper, « inatteignable » :

(...) alors que nous ne *pouvons* jamais disposer, dans les sciences empiriques, d'arguments suffisamment bons pour prétendre avoir effectivement atteint la vérité, nous *pouvons* disposer d'arguments forts et raisonnablement bons pour prétendre qu'il est possible que nous ayons fait des progrès en direction de la vérité.<sup>7</sup> (souligné par l'auteur).

En excluant la possibilité d'atteindre, non pas la vérité, mais la *certitude* de la vérité<sup>8</sup> (dans la lignée de Xénophane<sup>9</sup>), l'approche poppérienne implique que, si le contenu logique peut s'accroître indéfiniment lorsque la probabilité logique diminue, cet accroissement doit

---

<sup>1</sup> Cf. Karl Popper, *LDS*, p. 120-122.

<sup>2</sup> *Ibid.*, p. 86.

<sup>3</sup> Karl Popper, *La connaissance objective*, op. cit., p. 108.

<sup>4</sup> Alain Boyer, *Deux épistémologies non cartésiennes : Popper et Bachelard. Avec quelques remarques sur Descartes et le rationalisme critique*, in Karl Raimund Popper, *Une épistémologie sans visage et sans rivage*, Volume 2, Analyses perspectivistes, Cahiers épistémo-logiques, collectif sous la direction de Marcel Nguimbi, Paris, L'Harmattan, 2017, p. 75.

<sup>5</sup> Cf. Karl Popper, *La connaissance objective*, op. cit., p. 108 ; *Le réalisme et la science*, op. cit., p. 222 note 9.

<sup>6</sup> Karl Popper, *LDS*, p. 120.

<sup>7</sup> Karl Popper, *La connaissance objective*, p. 116.

<sup>8</sup> Même si l'on dispose d'une théorie nomologique empiriquement vraie, on ne peut jamais couvrir toutes les possibilités de vérification (dans tous les mondes possibles subsumés par la théorie – v. *infra*, sections 8.1 et 8.2) qui permettraient de *prouver* cette vérité, ni effectuer des mesures avec une précision infinie.

<sup>9</sup> Cf. Xénophane, *Doxographie, Fragments*, Œuvre numérisée par Marc Szwajcer, fragment 14, <https://remacle.org/bloodwolf/philosophes/xenophane/fragments.htm>.

être limité asymptotiquement. Donc, pour des raisons *épistémologiques*, on admet que dans (9)  $p(e|b)$  ne peut pas atteindre zéro. Mais la relation (9) ne comprend pas explicitement la traduction *mathématique* de cette impossibilité, puisque elle ne nous dit pas *comment*  $p(e|b)$  ne peut que tendre asymptotiquement vers zéro. Il faudrait donc substituer à  $p(e|b)$  une grandeur équivalente, fonction du « poids » de l'information, et dont on pourrait vérifier qu'elle devrait avoir cette propriété.

Le problème est immédiatement résolu si l'on admet que le contenu logique est une fonction de la quantité d'information et, conformément à ce que l'on a vu précédemment (section 3.1), que la probabilité logique  $p(e|b)$  est bien celle qui entre en jeu dans sa définition, car alors on peut écrire le contenu logique sous la forme :  $Ct(I) = 1 - e^{-I}$ , et, du fait que la quantité d'information ne peut pas être infinie (v. *infra*, section 7.2), on obtient le résultat qui convient. Mais si on fait « comme si » on ne connaissait pas la quantité d'information, on peut vérifier que ce concept est impliqué par la définition du contenu logique.

Disons que le contenu logique  $Ct$  est fonction d'une variable  $I$  (on va voir que c'est bien la quantité d'information) donnant la valeur de l'information associée à  $p(e|b)$ . La grandeur  $Ct$  doit varier de façon à être toujours croissante, selon la valeur de  $p > 0$ , mais cette croissance doit elle-même diminuer avec la décroissance de  $p$ . Cela suggère que l'on pourrait définir la variable  $I$  de manière que la pente de la courbe de  $Ct(I)$  soit égale à  $p$  :

$$\frac{dCt}{dI} := p \quad (10)$$

$$\frac{dCt}{dI} = \frac{d(1-p)}{dI} = -\frac{dp}{dI} = p > 0 \Rightarrow \frac{dp}{dI} = -p < 0 \quad (11-a)$$

$$\frac{d^2Ct}{dI^2} = \frac{d}{dI} \left( -\frac{dp}{dI} \right) = -\frac{d^2p}{dI^2} = -\frac{d}{dI} (-p) = \frac{dp}{dI} = -p < 0 ; \frac{d^2p}{dI^2} = p > 0 \quad (11-b)$$

En résumé :

| Dérivée/Fonction | Contenu logique | Probabilité logique |
|------------------|-----------------|---------------------|
| Dérivée première | <i>positive</i> | <i>négative</i>     |
| Dérivée seconde  | <i>négative</i> | <i>positive</i>     |

Donc, lorsque  $I$  croît : 1°) le contenu logique croît ; 2°) la probabilité logique décroît ; 3°) la *croissance* du contenu logique et la *décroissance* de la probabilité logique diminuent. Donc le contenu logique est une fonction strictement croissante et concave, et la probabilité logique une fonction strictement décroissante et convexe. La définition (10) satisfait donc à ce que le contenu logique doit signifier en termes de variations.

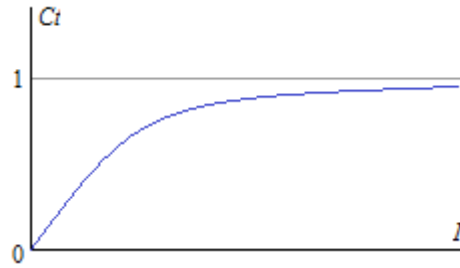
Puisque  $I$  est censé exprimer le « poids » de l'information, on doit avoir  $I = 0$  si l'apport d'information est nul, donc si  $p = 1$ . D'après (11-a) :

$$dI = -\frac{dp}{p} \Rightarrow I = -\int_1^p \frac{dp}{p} = -[\ln p]_1^p = -\ln p \quad (12)$$

On retrouve la définition de la quantité d'information (en base  $e$ ). Toutefois cette démonstration n'est pas une introduction du concept de quantité d'information en général : sa portée est limitée aux conditions purement épistémologiques qui imposent d'utiliser le concept poppérien de contenu logique.

D'après (12), on a  $p = e^{-I}$ , donc on peut exprimer le contenu logique comme fonction de la quantité d'information selon la forme attendue :

$$Ct(I) = 1 - e^{-I} \quad (13),$$



l'asymptote d'équation  $Ct(I) = 1$  correspondant à une quantité d'information infinie.

D'un point de vue méthodologique, le fait que l'on obtienne une expression du contenu où la probabilité  $p(e|b)$  n'apparaît plus explicitement n'est pas gênant, puisque la recherche d'une improbabilité n'est qu'un moyen et non une fin en soi, le but effectif restant la recherche du meilleur contenu informatif.<sup>1</sup>

## 7.2. Théorie de l'information et probabilités logiques

D'après ce qui précède, on voit que l'approche poppérienne basée sur les probabilités logiques telles que  $p(e|b)$  et la notion de contenu logique  $Ct(e|b)$  est objectivement liée à la théorie de l'information. Cela n'avait certainement pas échappé à Popper, mais à l'époque il existait une interprétation de la théorie de l'information qui ne visait pas juste à rapprocher de façon formelle les notions d'entropie physique et d'entropie informationnelle, mais à considérer qu'il existait un *lien causal* entre les deux, et finalement à les réunir dans une même théorie physique. On admettrait alors un « principe de Carnot généralisé », reliant « l'information  $I$  qu'on peut tirer d'une mesure » et « l'augmentation concomitante  $S$  de l'entropie de l'Univers ». <sup>2</sup>

Popper rejetait résolument cette utilisation des notions d'information et d'entropie, qui selon lui relevait d'une « théorie subjective de la connaissance »<sup>3</sup>, et il semble bien que c'est l'opposition à cette interprétation, et le souci ne pas voir sa propre approche y être mêlée, qui a poussé Popper à préférer développer une théorie autonome incluant la notion de contenu logique, sans dépendance explicite à la théorie de l'information. Il reste que, d'une part, des mêmes connaissances peuvent être acquises selon des modalités différentes chez de multiples êtres pensants et, d'autre part, il n'y a généralement pas de commune mesure entre les échanges énergétiques relatifs à l'acquisition et la transmission d'informations et les conséquences, y compris énergétiques, qui peuvent en résulter.<sup>4</sup> On ne peut donc pas, du moins en général, *convertir* entre elles entropie (ou néguentropie) physique et informationnelle<sup>5</sup>, ce qui implique que la croyance en une transmission causale *univoque* entre les deux domaines est une *sur-interprétation*. On n'a donc pas à en tenir compte en théorie de l'information.

On peut toutefois reconnaître l'existence d'un cas limite (en fait un cas d'*exclusion*), où les deux interprétations se recoupent : c'est celui d'une quantité d'information *infinie*, qui exigerait pour être acquise, ainsi que l'a montré Brillouin, « une dépense infinie en

<sup>1</sup> Sur ce point, cf. Marcel Nguimbi, *Penser l'épistémologie de Karl Popper*, Paris, L'Harmattan, 2012, § III-6, *Du critère de la croissance du savoir scientifique*, p. 92-94.

<sup>2</sup> Cf. Olivier Costa de Beauregard, *La grandeur physique « Temps »*, in *LCS*, p. 748-749.

<sup>3</sup> Karl Popper, *La connaissance objective*, op. cit., § 7.3, *La science physique*, p. 227-228.

<sup>4</sup> Cf. Gilles-Gaston Granger, *La raison*, op. cit., p. 120-121.

<sup>5</sup> Cf. Karl Popper, *La quête inachevée*, 1974, trad. Renée Bouveresse et Michelle Bouin-Naudin, Paris, Calmann-Lévy, 1991, Ch. XXXVI, *La théorie subjectiviste de l'entropie*, p. 230-235.

néguentropie »<sup>1</sup> - l'expression du contenu en fonction de la quantité d'information dans la relation (13) rend compte de cette impossibilité.

Considérons une théorie de type  $T_1$ , c'est-à-dire ne satisfaisant pas au critère de falsifiabilité, et supposons qu'on ne retienne pas le fait que, dans ce cas (v. *supra*, section 3.2), on devrait obtenir une indétermination 0/0 pour une probabilité  $p(e|b)$  : on ne décompose pas  $p(e|b)$ , et on se contente d'affirmer que cette probabilité ne peut être que nulle puisque seule la théorie  $T_1$  (qui sous-tend  $h$ ) est *a priori* acceptable. Dans ce cas, on aurait pour  $T_1$  une quantité d'information infinie afférente à l'événement  $e$ , quels que soient cet événement et la théorie concurrente sous-tendant le contexte  $b$ . Si pour une théorie réellement empirique la quantité d'information associée à une prédiction donnée est comprise dans l'intervalle  $[0, +\infty[$ , ainsi que l'avait bien vu Popper dès un de ses premiers écrits, « la pensée dogmatique ne connaît pas de *degrés* dans la certitude »<sup>2</sup> (souligné par l'auteur).

On voit que le biais cognitif caractérisant le locuteur de  $T_1$  est qu'il croit implicitement disposer ici d'une quantité d'information *infinie*, ce qui est impossible, alors qu'il dispose d'une quantité d'information *indéterminée*. Cette illusion est renforcée par le fait qu'une telle indétermination autorise une variabilité réellement infinie des interprétations de tel ou tel aspect particulier du réel, ce qui permet de soustraire la théorie à la critique rationnelle.

## 8. Probabilités épistémiques et mondes possibles

### 8.1. Interprétations épistémique et fréquentiste

L'utilisation d'une probabilité dans la définition de la quantité d'information traduit une « mesure du degré de connaissance », et donne lieu à une « interprétation épistémique », que l'on oppose à l'« interprétation fréquentiste ».<sup>3</sup> Dans le cas d'une probabilité logique de type  $p(e|b)$ , pour reprendre un des exemples cités plus haut (section 2.1), cela n'aurait en effet pas de sens de poser une question du genre « avec quelle *fréquence* peut-on observer dans le contexte  $b$  seul une planète ayant telles et telles caractéristiques, à tel endroit et tel moment précis ? »

Il est toutefois possible de concilier ces deux interprétations, si l'on admet avec Kripke qu'il est équivalent de parler d'« états possibles du monde » ou de « mondes possibles »<sup>4</sup>. Il s'agit ici de mondes possibles relevant d'une même ontologie, où par hypothèse il est légitime de comparer des situations contrefactuelles<sup>5</sup>, c'est-à-dire où, selon les termes d'Umberto Eco, « [chaque] monde possible est une fiction logique qui retraduit en termes extensionnels des rapports intensionnels »<sup>6</sup>, ceux-ci devant être compatibles avec la connaissance que l'on a d'un cadre contextuel donné sous-tendu par l'ontologie considérée. La probabilité de l'événement  $e$  ne donne pas ici la fréquence de son apparition dans le monde, mais la proportion des mondes possibles compatibles avec  $b$  où cet événement devrait survenir. On peut ainsi réintroduire une interprétation fréquentiste, celle-ci ayant alors une signification

---

<sup>1</sup> Cf. Léon Brillouin, *La science et la théorie de l'information*, 1959, Paris, Éditions Jacques Gabay, 1988, p. 285.

<sup>2</sup> Karl Popper, « *Habitude* » et « *expérience vécue de la règle* » dans *l'éducation*, 1927, in *Apprentissage et découverte*, *Écrits de jeunesse*, trad. Gilles Campagnolo, Paris, Éditions rue d'Ulm/Presses de l'École Normale Supérieure, 2019, p. 137.

<sup>3</sup> Cf. Mathieu Triclot, *Information et entropie. Un double jeu avec les probabilités*, Journ@l Electronique des Probabilités et de la Statistique, Vol. 3, n° 2, Décembre 2007, [www.jehps.net](http://www.jehps.net), p. 21.

<sup>4</sup> Cf. Saul Kripke, *La logique des noms propres*, 1972, trad. Pierre Jacob et François Recanati, Paris, Éditions de Minuit, 1982, p. 167.

<sup>5</sup> *Ibid.*

<sup>6</sup> Umberto Eco, *Sémiotique et philosophie du langage*, 1984, trad. Myriem Bouzaher, Paris, PUF, 2011, p. 54.

modale, en disant qu'une probabilité  $p(e|b)$  est égale à la fréquence de survenue de l'événement  $e$  dans l'ensemble de ces mondes possibles.

Un point toutefois doit être précisé : que se passerait-il dans le cas idéal où la situation factuelle caractérisant le contexte  $b$  serait parfaitement connue ? Ainsi que l'écrit Matthieu Fontaine :

S'il est nécessaire de tenir compte d'une pluralité de mondes, c'est parce que l'ensemble des connaissances d'un agent est au mieux une description partielle du monde. Ces descriptions peuvent être complétées de multiples façons et correspondre ainsi à des mondes complets, où toute proposition a une valeur de vérité déterminée. Les alternatives épistémiques sont tous les mondes possibles cohérents relativement à ce qu'il sait.<sup>1</sup>

Dans le cas d'un « monde complet », on serait privé d'« alternatives épistémiques » et donc de probabilités (sauf la certitude), en vertu de la définition classique selon laquelle « l'ignorance est un *élément nécessaire* à l'existence même de la probabilité »<sup>2</sup> (souligné par l'auteur).

Les probabilités logiques, en tant que probabilités épistémiques, sont définies dans un cadre observationnel ou expérimental où l'on s'intéresse à la réalisation d'événements qui ne sont conséquence d'une causalité *spécifique* que selon la théorie que l'on veut tester, *que l'on sache déjà ou non s'ils se sont produits*. C'est la raison pour laquelle une rétrodiction est un test valide. Même pour des événements prévus par  $h$  dont la réalisation est connue, on peut dire qu'ils étaient seulement *possibles* dans le contexte  $b$  s'ils *auraient pu* être aussi la conséquence d'autres enchaînements causaux que ceux qui découlent de l'hypothèse  $h$ . Donc même si notre connaissance instantanée des faits nous permettait de décrire un « monde complet », cela n'affecterait pas la définition précédente de  $p(e|b)$  comme fréquence de la survenue de  $e$  dans un ensemble de mondes possibles. Cela revient à « objectiver »<sup>3</sup> ce que sinon on aurait dû continuer à considérer comme une « probabilité subjective » (v. *supra*, section 2.1).

## 8.2. Surdétermination de la dénomination « mondes possibles »

On notera à cette occasion que l'expression « mondes possibles » peut être utilisée selon trois acceptions différentes (la première étant condition de la deuxième, et la deuxième de la troisième). Pour les deux premières : les mondes possibles d'un point de vue nomologique (MPN) ; puis pour chacun d'eux les mondes possibles du point de vue de l'ontologie subsumée par leur structure nomologique (MPO).<sup>4</sup> Si l'on veut parler de la vérité (comme principe régulateur), ou d'approximation de la vérité des théories<sup>5</sup> décrivant ces

---

<sup>1</sup> Matthieu Fontaine. *Argumentation et engagement ontologique de l'acte intentionnel : Pour une réflexion critique sur l'identité dans les logiques intentionnelles explicites*. Philosophie. Université Charles de Gaulle - Lille III, 2013. Français. NNT : 2013LIL30025. tel-01137248.

<sup>2</sup> Marcel Boll, *Les certitudes du hasard*, 1941, Paris, PUF, 1962, p. 17.

<sup>3</sup> Par exemple, Popper parle de « probabilités objectives » en requalifiant les « relations d'incertitude de Heisenberg » qui, sous cette dénomination, semblent désigner des probabilités subjectives, « relations de dispersion statistique » (cf. Karl Popper, *La théorie quantique et le schisme en physique*, 1982, trad. Emmanuel Malolo Dissaké, Paris, Hermann, 1996, p. 7). Ici c'est la représentation modale des événements qui permet d'objectiver les probabilités épistémiques associées.

<sup>4</sup> Sur ce point, v. *Dialectique et modalité*, <https://www.dblogos.net/er/txt6.pdf>, p. 14.

<sup>5</sup> Rappelons que, sur ces questions, Popper se réfère préférentiellement à la définition tarskienne de la vérité comme « correspondance avec les faits » (v. par ex. *LDS*, p. 279 note \*1, *Conjectures et réfutations*, p. 177-178) et, pour l'approximation de la vérité, a développé la notion de « vérisimilitude » (v. par ex. *La connaissance objective*, p. 108-119).

mondes possibles, on peut dire avec David Lewis qu'« une théorie est proche de la vérité dans la mesure où notre monde ressemble à un monde où cette théorie est exactement vraie »<sup>1</sup>.

On sait que, quel que soit le domaine abordé, il existe nécessairement une infinité de MPN permettant de rendre compte de faits observés. Selon Pierre Duhem :

*À un même fait pratique peuvent correspondre une infinité de faits théoriques logiquement incompatibles ; à un même ensemble de faits concrets, on peut faire correspondre, en général, non pas un seul jugement symbolique, mais une infinité de jugements différents les uns des autres, et qui, logiquement, se contredisent l'un l'autre.*<sup>2</sup> (souligné par l'auteur).

Ou encore, ainsi que l'écrit Popper :

(...) le nombre de théories *susceptibles* d'être vraies demeure infini, à tout instant et après un nombre de tests cruciaux aussi grand qu'on voudra.<sup>3</sup> (souligné par l'auteur).

Comme il existe une infinité de MPO pour chaque MPN (on peut par exemple imaginer une infinité de systèmes planétaires différents compatibles avec une même loi de la gravitation), on ne peut pas attribuer une probabilité à de tels mondes possibles, MPN et MPO (on aurait une probabilité  $1/\infty = 0$  pour l'existence du monde). Réciproquement, puisque le concept de probabilité a été défini pour des événements, chaque MPO (et *a fortiori* chaque MPN) étant la *condition préalable* à la possibilité de l'existence d'événements, il ne doit pas être possible de leur attribuer une probabilité.

Dans la pratique, afin de pouvoir évaluer la probabilité épistémique  $p(e|b)$  d'un événement prévu par l'hypothèse  $h$  dans le contexte  $b$ , on ne prend en compte qu'un nombre *fini* de contextes *délimités*, donc de mondes possibles d'un point de vue contextuel (MPC). De cette façon, la proportion de MPC où l'événement  $e$  se produit donne la probabilité  $p(e|b)$ . À l'opposé d'un MPN ou d'un MPO, on peut donc dire qu'un MPC a une probabilité, ou plus précisément qu'il est équivalent de parler de la probabilité d'un événement ou de la proportion de MPC où cet événement se produit.

### 8.3. Entropie associée au contexte des connaissances

On ne parle de la probabilité d'un événement que parce que celui-ci nous intéresse : « il n'y a de hasard que parce qu'un intérêt humain est en jeu »<sup>4</sup> selon Bergson. Ici l'événement considéré nous intéresse parce qu'il permet de tester l'hypothèse  $h$ . Mais s'il y a une probabilité c'est que cet événement fait partie d'un ensemble d'événements  $\{e_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, m$ ) possibles dans le contexte  $b$ .

Notons que si différentes théories prévoient le *même* événement  $e$  que celui prévu par  $h$ , on se retrouve dans le cas classique (que l'on peut qualifier de « duhemien ») « de théories qui se présentent comme des solutions à un même problème »<sup>5</sup>. On doit alors soit montrer qu'en fait ces théories sont empiriquement équivalentes, soit imaginer d'autres expériences ou observations qui permettent de les départager, de manière à se retrouver dans la situation précédente.

D'après la définition informationnelle de l'entropie donnée par Jean Largeault :

---

<sup>1</sup> David Lewis, *De la pluralité des mondes*, 1986, trad. Marjorie Caveribère et Jean-Pierre Cometti, Paris Tel-Aviv, Éditions de l'éclat, 2007, p. 48.

<sup>2</sup> Pierre Duhem, *La théorie physique*, 2<sup>ème</sup> édition, 1914, Paris, Vrin, 1981, p. 229.

<sup>3</sup> Karl Popper, *La connaissance objective*, op. cit., p. 57.

<sup>4</sup> Henri Bergson, *Les deux sources de la morale et de la religion*, Paris, Librairie Félix Alcan, 1932, p. 155.

<sup>5</sup> Karl Popper, *La connaissance objective*, op. cit., p. 56.

(...) l'entropie [est] une mesure informationnelle de l'incertitude – ou inversement de l'information, puisque l'incertitude de l'événement  $E$  avant l'épreuve ou l'expérience est égale à l'information gagnée si le résultat est  $E$ . L'entropie se définit alors comme l'espérance de la fonction d'incertitude.<sup>1</sup>

Vue de  $h$  l'entropie de Shannon associée à  $b$  est :

$$H_b = - \sum_{i=1}^m p(e_i|b) \ln p(e_i|b) \quad (14)$$

Cette relation exprime à quel niveau, dans le contexte  $b$  (sans nouvelle hypothèse telle que  $h$ ), on laisse sans explication *spécifique* les événements appartenant à  $\{e_i\}$ , événements qui donc soit relèvent du hasard, soit pourraient éventuellement être expliqués par un enchaînement causal relevant d'hypothèses inconnues dépassant le contexte  $b$ .

Prenons pour simplifier deux cas extrêmes, où toutefois la probabilité de l'événement prédit par  $h$  serait la même : celui où il y aurait un grand nombre d'événements possibles, tous très peu probables, et celui où il y aurait un nombre beaucoup plus faible d'événements possibles, avec très peu d'événements très peu probables (dont celui prévu par  $h$ ), et quelques événements beaucoup plus probables. D'après (14), le niveau d'entropie associé au contexte  $b$  seul sera beaucoup plus élevé dans le premier cas de figure que dans le second. Supposons que l'événement  $e$  se réalise. Si dans les deux cas le « point d'arrivée » est le même, dans le premier cas on « vient de plus loin » en quelque sorte que dans le second, et on élimine par conséquent plus de possibilités distinctes.

#### 8.4. MPC, attitudes propositionnelles, relations d'alternativité

La borne supérieure  $m$  dans la somme (14) donne le nombre d'ensembles de MPC (ensembles notés  $E_i$ ) définis par la survenue soit de  $e = e_j \in \{e_i\}$  ( $n = n_j = \text{Card } E_j$  est le nombre de MPC où se produit  $e_j$ ), soit de tout autre événement possible  $e_i$  (si  $i \neq j$ ) en lieu et place de  $e_j$ . Soit  $I = \{i\}$  l'ensemble des indices  $(1, 2, \dots, m)$ , et  $k$  un second indice repérant les mondes possibles distincts où se produit un même événement  $e_i$  (donc, pour chaque valeur de  $i$ ,  $k = 1, 2, \dots, n_i$ ). On note ces MPC  $\mu_{ik}$ . Puisque par définition les ensembles  $E_i$  sont disjoints :

$$N = \text{Card} \left( \bigcup_{i \in I} E_i \right) = \sum_{i=1}^m \text{Card}(E_i) \quad (15)$$

$$\left\{ e_i \rightarrow E_i \begin{cases} \mu_{i1} \\ \mu_{i2} \\ \dots \end{cases} \right. \quad \left\{ e_i \right\} \left\{ \begin{array}{l} e_2 \rightarrow E_2 \begin{cases} \mu_{21} \\ \mu_{22} \\ \dots \end{cases} \\ \dots \dots \dots \\ e_m \rightarrow E_m \begin{cases} \mu_{m1} \\ \mu_{m2} \\ \dots \end{cases} \end{array} \right.$$

#### Remarque : détermination univoque des mondes possibles

Le but étant ici de déterminer une probabilité logique, on s'est focalisé sur la réalisation d'un événement donné, pouvant en général se produire dans *plusieurs* mondes possibles. Si l'on voulait distinguer les mondes possibles où se produit un même événement, on devrait prendre en compte un autre événement compatible avec le précédent, et vérifier si cela est suffisant. Si ce n'est pas le cas, on recommence avec encore un autre événement, jusqu'à obtenir une *conjonction* unique d'événements.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jean Largeault, *Systèmes de la nature*, Paris, Vrin, 1985, p. 97.

<sup>2</sup> On peut faire une analogie avec la procédure ayant pour objet la détermination d'un *ensemble complet d'observables qui commutent*, dans le cas de la mesure de grandeurs physiques en mécanique quantique. Cf. par ex. Claude Cohen-Tannoudji, Bernard Diu, Franck Laloë, *Mécanique quantique*, Tome I, Paris, Hermann, 1977, p. 143-144.

Au contexte théorique où l'hypothèse  $h$  permet de prévoir de façon *déterministe* (non simplement fortuite) la survenue d'un événement  $e_j$ , doit correspondre ce que Hintikka appelle une *attitude propositionnelle*, celle-ci permettant de délimiter des mondes possibles, de façon que :

[chaque attitude propositionnelle] implique une partition de tous les mondes possibles en deux classes, contenant, l'une, des mondes possibles qui concordent avec l'attitude en question, et l'autre, ceux qui sont incompatibles avec elle.<sup>1</sup>

Les mondes possibles où l'hypothèse  $h$  est valide composent l'ensemble  $\{\mu_{jk}\} = E_j$ , et les autres forment la réunion des ensembles définis pour les valeurs de  $i \neq j$ , soit, si on pose  $M = \{E_i\}$  pour le référentiel :

$$\mathbf{C}_M E_j = \left( \bigcup_{i \in I} E_i \right) \setminus E_j \quad (16)$$

Hintikka définit la *relation d'alternativité* comme « fonction qui, à un individu donné et à un monde possible donné  $\mu$ , associe un certain nombre de mondes possibles que nous appellerons les alternes à  $\mu$  »<sup>2</sup>, sachant que, puisque par définition c'est cette relation « qui détermine les possibilités de variation de l'univers d'interprétation par rapport au système de connaissances »<sup>3</sup>, on doit assigner une relation d'alternativité distincte à chaque attitude propositionnelle<sup>4</sup>. Pour préciser la relation  $R$  d'alternativité dans les deux cas de nécessité (*Nec*) et de possibilité (*Pos*) d'une proposition  $p$ , on peut prendre les deux définitions suivantes :

(i) *Nec*  $p$  est vrai dans un monde  $W$  ssi, dans tout monde  $W'$  tel que  $WRW'$ ,  $p$  est vrai ; (ii) *Pos*  $p$  est vrai dans un monde  $W$  ssi, il existe un monde  $W'$  tel que  $WRW'$ , et  $p$  est vrai.<sup>5</sup>

Pour une proposition  $p$  prévoyant un événement  $e_j$  donné,  $j \in I$ , (i) se limite à un ensemble  $E_j \subset \{E_i\}$ , et (ii) est étendu à  $\{E_i\}$ . Si seule la réalisation de  $e_j$  impliquée par  $h$  est prise en compte par le prédicteur, pour celui-ci tout se passe *comme si* les mondes possibles  $\mu_{jk}$  étaient indiscernables. Si, dans le cas général, le prédicteur décide de cerner *un* des mondes possibles  $\mu_{jl}$  ( $j$  et  $l$  fixés) où  $e_j$  est impliqué par  $h$ , donc tenant compte de la présence de  $e_j$  dans une conjonction unique, l'ensemble  $A(\mu_{jl})$  des alternes à  $\mu_{jl}$  est défini en intension par :

$$A(\mu_{jl}) = \{\mu_{jk} | k \neq l\} \cup \{\mu_{im} | i \neq j\} \quad (17)$$

avec, si on se restreint au cas (i) :  $\{\mu_{im} | i \neq j\} \equiv \emptyset$ .

Le critère d'appartenance d'un MPC à  $E_j$  est l'expression d'une modalité *impliquée* par  $h$ , se traduisant par la réalisation dans ce MPC de l'événement  $e_j$ , seulement *possible* avec une probabilité  $p(e_j|b)$  dans le contexte  $b$ . Donc (16) ou (17), en tant qu'elles permettent d'identifier « ceux des mondes possibles dont l'examen est pertinent pour tout test de validité

<sup>1</sup> Jaakko Hintikka, *L'intentionnalité et les mondes possibles*, trad. Nadine Lavand, Villeneuve d'Asq, Presses Universitaires du Septentrion, 2011, p. 41.

<sup>2</sup> *Ibid.*, p. 44.

<sup>3</sup> Jaakko Hintikka, *Questions de logique et de phénoménologie*, Éd. Elisabeth Rigal, Paris, Vrin, 1998, p. 12.

<sup>4</sup> *Ibid.*

<sup>5</sup> Jean-Pierre Barthélemy, Michel de Glas, Jean-Pierre Descles, Jean Petitot, *Logique et dynamique de la cognition*, *Intellectica*, 1996/2, 23, p. 219-301, [https://intellectica.org/SiteArchives/archives/n23/23\\_11\\_Barth.pdf](https://intellectica.org/SiteArchives/archives/n23/23_11_Barth.pdf), p. 29

des formules contenant cette modalité »<sup>1</sup>, expriment, dans le cadre d'une interprétation modale des probabilités logiques, la relation d'alternativité associée à l'attitude propositionnelle postulant la validité de l'hypothèse  $h$  impliquant l'événement  $e_j$  - ce qui permet de décrire les conditions générales de testabilité, et donc de corroboration comme fonction de  $p(e_j|b)$ , de la théorie qui sous-tend  $h$ .

Si l'on se réfère à la description fréguénne de la relation entre sens et dénotation<sup>2</sup>, on doit admettre que la définition extensionnelle impliquée par (17) ou (18) peut être compatible avec d'autres définitions intensionnelles. Ainsi que l'a écrit Putnam :

Il existe des différences de sens qui ne peuvent être restituées par l'intension ; donc, la compréhension d'un terme ne peut pas simplement consister en son association avec une intension.<sup>3</sup>

Ou encore, si l'on reconnaît qu'un « état de choses », défini comme « liaison d'objets (entités, choses) » selon Wittgenstein<sup>4</sup> est un monde possible, cela signifie que l'on pourrait effectuer des prédictions se traduisant par une coïncidence extensionnelle pour différentes visées intentionnelles relatives à ces entités. Certaines mêmes propositions portant sur ces entités pourraient être vraies ou fausses selon la visée intentionnelle qui leur est associée, et l'on en conclurait avec Quine que ce sur quoi porte les attitudes propositionnelles peut dériver de « clauses de contenu » distinctes, c'est-à-dire à chaque fois relatives à « l'état d'esprit du sujet plutôt [qu'à] l'état de choses », ce qui mènerait au bout donc compte à « l'opacité référentielle des attitudes propositionnelles ».<sup>5</sup>

Mais, dans un contexte de testabilité des systèmes empiriques, à la formulation d'une attitude propositionnelle (et donc de la relation d'alternativité qui en découle) doit correspondre une probabilité logique, celle-ci permettant à son tour de déterminer une quantité d'information. Or les conditions *objectives* de mise à l'épreuve d'une théorie impliquant un événement auquel on peut associer une quantité d'information déterminée, par définition, ne dépendent pas des « états d'esprit du sujet ». Donc, si la question se pose, ceux-ci ne peuvent effectivement refléter que des « occurrences singulières de la même situation »<sup>6</sup>. Et si la probabilité  $p(e|b)$  est suffisamment faible pour que l'hypothèse  $h$  puisse être dite fortement corroborée, opposer à la reconnaissance de cette corroboration la possibilité d'une opacité référentielle reviendrait à *inverser la charge de la preuve*. Le recours à la *réduction phénoménologique*<sup>7</sup>, évoqué également par Putnam dans un contexte où l'on est en droit de « mettre entre parenthèses » certaines croyances ou états mentaux<sup>8</sup>, est de ce fait, et par application du rasoir d'Ockham, inhérent à toute démarche empirique .

À l'opposé, dans le cas de théories comprenant les conditions de leur propre vérité, on ne peut déterminer la quantité d'information associée à un énoncé d'observation. Les faits pouvant toujours être réinterprétés de manière à préserver les fondamentaux de la théorie, celle-ci sera compatible avec n'importe quel MPC, tel qu'on peut le décrire *avant* d'y projeter

---

<sup>1</sup> Jaakko Hintikka, *L'intentionnalité et les mondes possibles*, p. 209, *Glossaire*, définition du terme « Alterne ».

<sup>2</sup> Cf. Gottlob Frege, *Sens et dénotation*, 1892, in *Écrits logiques et philosophiques*, 1971, trad. Claude Imbert, Paris, Éditions du Seuil, p. 104.

<sup>3</sup> Hilary Putnam, *Raison, vérité et histoire*, op. cit., p. 38.

<sup>4</sup> Cf. Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*, 1961, trad. Pierre Klossowski, Paris, Gallimard, 1990, § 2.01, p. 30.

<sup>5</sup> Cf. Willard van Orman Quine, *La poursuite de la vérité*, 1990, trad. Maurice Clavelin, Paris, Éditions du Seuil, 1993, p. 97-103.

<sup>6</sup> Cf. Hilary Putnam, *Le réalisme à visage humain*, 1990, trad. Claudine Tiercelin, Paris, Éditions du Seuil, 1994, p. 468.

<sup>7</sup> Cf. Edmond Husserl, *L'idée de la phénoménologie*, 1907, trad. Alexandre Lowit, Paris, PUF, 2000, p. 64-65.

<sup>8</sup> *Raison, vérité et histoire*, p. 39.

ces fondamentaux. Donc à chaque contexte *observable* peut correspondre un nombre potentiellement illimité de contextes *interprétés*, si bien que parmi toutes les situations distinctes imaginables, on pourra toujours en choisir une, comprenant si besoin des éléments sous-jacents à ce qui est observable, permettant de confirmer la théorie. Si l'opacité référentielle comme pratique relevant d'un langage privé permet ainsi de préserver la théorie de la possibilité d'être réfutée, il devient impossible de déterminer de façon univoque et indépendante une quelconque attitude propositionnelle.

Version 1.8.31

Copyright © Frédéric Fabre, 2019 – m.a.j. novembre 2025

<https://www.dblogos.net/er/>

## Bibliographie

Ambartsoumian, Viktor (1971), *Problèmes de cosmogonie contemporaine*, trad. A. Sokova et V. Polonski, Moscou, Mir.

Andler, Daniel (2023), *Intelligence artificielle, intelligence naturelle, la double énigme*, Paris, Gallimard.

Aron, Raymond (1967), *Les étapes de la pensée sociologique*, Paris, Gallimard, 2013.

Assoun, Paul-Laurent (1981), *Introduction à l'épistémologie freudienne*, Paris, Payot.

Assoun, Paul-Laurent (2001), *Le freudisme*, Paris, Presses Universitaires de France.

Augé, Marc (1994), *Erró, peintre mythique*, Paris, Le Lit du Vent.

Bachelard, Gaston (1949), *Le rationalisme appliqué*, Paris, Presses Universitaires de France, 1986.

Barthélemy, Jean-Pierre ; De Glas, Michel ; Descles, Jean-Pierre ; Petitot, Jean (1996), *Logique et dynamique de la cognition*, *Intellectica*, 1996/2, 23, [https://intellectica.org/SiteArchives/archives/n23/23\\_11\\_Barth.pdf](https://intellectica.org/SiteArchives/archives/n23/23_11_Barth.pdf).

Basdevant, Jean-Louis & Dalibard, Jean (2006), *Mécanique quantique*, Palaiseau, Éditions de l'École Polytechnique.

Bergson, Henri (1932), *Les deux sources de la morale et de la religion*, Paris, Librairie Félix Alcan.

Blanché, Robert (1972), *L'épistémologie*, Paris, Presses Universitaires de France.

- Boll, Marcel (1941), *Les certitudes du hasard*, Paris, Presses Universitaires de France, 1962.
- Borel, Émile (1958), *Principes et formules classiques du calcul des probabilités*, leçons rédigées par René Lagrange, Paris, Gauthier-Villars.
- Borel, Émile (1969), *Probabilités et certitude*, Paris, Presses Universitaires de France.
- Bourgin, Georges & Rimbart, Pierre (1949), *Le socialisme*, Paris, Presses Universitaires de France, 1973.
- Bouveresse, Renée (1986), *Karl Popper ou le rationalisme critique*, Paris, Vrin.
- Boyer, Alain (2017), *Deux épistémologies non cartésiennes : Popper et Bachelard. Avec quelques remarques sur Descartes et le rationalisme critique*, in Karl Raimund Popper, *Une épistémologie sans visage et sans rivage*, Volume 2, Analyses perspectivistes, Cahiers épistémologiques, collectif sous la direction de Marcel Nguimbi, Paris, L'Harmattan.
- Brillouin, Léon (1959), *La science et la théorie de l'information*, Paris, Éditions Jacques Gabay, 1988.
- Brunschvicg, Léon (1912), *Les étapes de la philosophie mathématique*, Paris, Librairie scientifique et technique A. Blanchard, 1993.
- Cohen-Tannoudji, Claude ; Diu, Bernard ; Laloë, Franck (1977), *Mécanique quantique*, Tome I, Paris, Hermann.
- Costa de Beauregard, Olivier (1967), *La grandeur physique « Temps »*, in *Logique et connaissance scientifique (LCS)*, ouvrage collectif sous la direction de Jean Piaget, Paris, Gallimard, Encyclopédie de la Pléiade.
- Couderc, Paul (1945), *Histoire de l'astronomie*, Paris, Presses Universitaires de France, 1966.
- Ducret, Jean-Jacques (1998), *Jean Piaget 1970-1980. Dix années de recherches sur le constructivisme au Centre international d'épistémologie génétique*, in *Bulletin de psychologie*, tome 51 n° 435, *Présence de Jean Piaget (1)*, pp. 343-375.
- Duhem, Pierre (1914), *La théorie physique*, 2<sup>ème</sup> édition, Paris, Vrin, 1981.
- Eco, Umberto (1984), *Sémiotique et philosophie du langage*, trad. Myriem Bouzaher, Paris, Presses Universitaires de France, 2011.
- Erlich, Valérie (1995), *Jean-Claude Passeron, Le raisonnement sociologique, L'espace non-poppérien du raisonnement naturel*, Cahiers de l'Urmis 1/1995, <https://journals.openedition.org/urmis/pdf/432>.
- Espagnat, Bernard d' (1985), *Une incertaine réalité*, Paris, Gauthier-Villars.

Ferenczi, Sandor (1908), *Les névroses à la lumière de l'enseignement de Freud et la psychanalyse*, in *Psychanalyse I, Œuvres complètes tome I, 1908-1912*, trad. J. Dupont et Ph. Garnier, Paris, Payot, 1969.

Feyerabend, Paul (1975), *Contre la méthode*, trad. Baudouin Jurdant et Agnès Schlumberger, Paris, Éditions du Seuil, 1979.

Feynman, Richard ; Leighton, Robert Benjamin ; Sands, Matthew Linzee (1965), *Le cours de physique de Feynman*, vol. 3, *Mécanique quantique*, version française E. Bequer, P. Fleury et F. Muller, Paris, InterEditions, 1979.

Firode, Alain (2012), *Théorie de l'esprit et pédagogie chez Karl Popper*, Paris, L'Harmattan.

Fontaine, Matthieu (2013), *Argumentation et engagement ontologique de l'acte intentionnel : Pour une réflexion critique sur l'identité dans les logiques intentionnelles explicites*, Philosophie. Université Charles de Gaulle - Lille III, 2013. Français. NNT : 2013LIL30025. tel-01137248.

Foucault, Michel (1969), *L'archéologie du savoir*, Paris, Gallimard, 2017.

Freud, Sigmund (1915), *Métapsychologie*, trad. J. Laplanche et J.-B. Pontalis, Paris, Gallimard, 1976.

Granger, Gilles-Gaston (1979), *Langages et épistémologie*, Paris, Klincksieck.

Granger, Gilles-Gaston (1993), *La raison*, Paris, Presses Universitaires de France.

Grize, Jean-Blaise (1967), *Remarques sur l'épistémologie mathématique des nombres naturels*, in *LCS*.

Grize, Jean-Blaise (1967), *Historique. Logique des classes et loi des propositions. Logique des prédicats. Logiques modales*, in *LCS*.

Guitart, René (2007), *Représentation de la représentation*, Conférence le 10/11/2007 au Colloque de l'AECF Lille, *Les a-tours de la représentation*, 10-11/11/2007, <http://rene.guitart.pagesperso-orange.fr/textespreprints/guitartrep08.pdf>.

Harwitt, Martin (1984), *Progrès et découvertes en astronomie*, trad. France et Jean-Louis Heudier, Paris, Masson.

Hintikka, Jaakko (1998), *Questions de logique et de phénoménologie*, Éd. Élisabeth Rigal, Paris, Vrin.

Hintikka, Jaakko (2011), *L'intentionnalité et les mondes possibles*, trad. Nadine Lavand, Villeneuve d'Asq, Presses Universitaires du Septentrion.

Hume, David (1748), *Enquête sur l'entendement humain*, trad. André Leroy et Michelle Beyssade, Paris, Flammarion, 1983.

Husserl, Edmond (1906-1907), *Introduction à la logique et à la théorie de la connaissance*, trad. Laurent Joumier, Paris, Vrin, 1998.

Husserl, Edmond (1907), *L'idée de la phénoménologie*, trad. Alexandre Lowit, Paris, Presses Universitaires de France, 2000.

Jung, Carl Gustav (1958), *Types psychologiques*, 2<sup>ème</sup> édition, trad. Yves Le Lay, Genève, Librairie de l'Université Georg et Cie S.A.

Kœstler, Arthur (1960), *Les somnambules*, Paris, Calmann-Lévy.

Kripke, Saul (1972), *La logique des noms propres*, trad. Pierre Jacob et François Recanati, Paris, Éditions de Minuit, 1982.

Kripke, Saul (1982), *Règles et langage privé, Introduction au paradoxe de Wittgenstein*, trad. Thierry Marchaisse, Paris, Le Seuil, 1996.

Kuhn, Thomas (1962), *La structure des révolutions scientifiques*, trad. Laure Meyer, Paris, Flammarion, 1970.

Ladrière, Jean (1967), *Les limites de la formalisation*, in *LCS*.

Lakatos, Imre (1994), *La falsification et la méthodologie des programmes de recherche scientifique*, in *Histoire et méthodologie des sciences*, Paris, Presses Universitaires de France.

Lagache, Daniel (1956), *La psychanalyse*, Paris, Presses Universitaires de France, 1973.

Largeault, Jean (1985), *Systèmes de la nature*, Paris, Vrin.

Laugier-Rabaté, Sandra (1992), *L'anthropologie logique de Quine, L'apprentissage de l'obvie*, Paris, Vrin.

Leclercq, René (1960), *Histoire et avenir de la méthode expérimentale*, Paris, Masson.

Le Moigne, Jean-Louis (1995), *Les épistémologies constructivistes*, Paris, Presses Universitaires de France.

Lewis, David (1986), *De la pluralité des mondes*, trad. Marjorie Caveribère et Jean-Pierre Cometti, Paris Tel-Aviv, Éditions de l'éclat, 2007.

Malolo Dissakè, Emmanuel (2004), *Karl Popper : Langage, falsificationnisme et science objective*, Paris, Presses Universitaires de France.

Malolo Dissakè, Emmanuel (2012), *Grammaire de l'objectivité scientifique, Au cœur de l'épistémologie de Karl Popper*, Chennevières-sur-Marne, Dianoïa.

Marx, Karl & Engels, Friedrich (1848), *Manifeste du Parti Communiste*, trad. Laura Lafargue, 1893, édition numérique réalisée par Jean-Marie Tremblay, 2002, [https://socialpolicy.ucc.ie/Literature\\_collection/Manifest\\_French.pdf](https://socialpolicy.ucc.ie/Literature_collection/Manifest_French.pdf).

- Meyerson, Emile (1925), *La déduction relativiste*, Paris, Payot, Éditions Jacques Gabay, 1992.
- Meyerson, Emile (1931), *Du cheminement de la pensée*, Paris, Librairie Félix Alcan.
- Monod, Jacques (1970), *Le hasard et la nécessité*, Paris, Éditions du Seuil.
- Neurath, Otto (1935), *Pseudo-rationalisme de la falsification*, trad. Christian Bonnet, in *L'âge d'or de l'empirisme logique*, collectif sous la direction de Christian Bonnet et Pierre Wagner, Paris, Gallimard, 2006.
- Nguimbi, Marcel (2012), *Penser l'épistémologie de Karl Popper*, Paris, L'Harmattan.
- Piaget, Jean (1967), *Les courants de l'épistémologie scientifique contemporaine*, in *LCS*.
- Piaget, Jean (1967), *Nature et méthodes de l'épistémologie*, in *LCS*.
- Piaget, Jean (1967), *L'épistémologie et ses variétés*, in *LCS*.
- Piaget, Jean (1967), *Les données génétiques*, in *LCS*.
- Piaget, Jean (1967), *Les deux problèmes principaux de l'épistémologie des sciences de l'homme*, in *LCS*.
- Pimbé, Daniel (2009), *L'explication interdite, Essai sur la théorie de la connaissance de Karl Popper*, Paris, L'Harmattan.
- Poinat, Sébastien (2014), *Mécanique quantique, Du formalisme mathématique au concept philosophique*, Paris, Hermann.
- Popper, Karl (1927), « *Habitude* » et « *expérience vécue de la règle* » dans *l'éducation*, in *Apprentissage et découverte, Écrits de jeunesse*, trad. Gilles Campagnolo, Paris, Éditions rue d'Ulm/Presses de l'École Normale Supérieure, 2019.
- Popper, Karl (1956), *Misère de l'historicisme*, trad. Hervé Rousseau et Renée Bouveresse, Paris, Plon, 1988.
- Popper, Karl (1959), *La logique de la découverte scientifique*, 1968, trad. Nicole Thyssen-Rutten et Philippe Devaux, Paris, Payot, 1973.
- Popper, Karl (1972), *Le mythe du cadre de référence*, trad. Renée Bouveresse, in *Karl Popper et la science d'aujourd'hui*, Actes du colloque de Cerizy de 1981, Paris, Aubier, 1989.
- Popper, Karl (1972), *La connaissance objective*, trad. Jean-Jacques Rosat, Paris, Aubier, 1991.
- Popper, Karl (1974), *La quête inachevée*, trad. Renée Bouveresse et Michelle Bouin-Naudin, Paris, Calmann-Lévy, 1991.
- Popper, Karl (1982), *L'univers irrésolu*, trad. Renée Bouveresse, Paris, Hermann, 1984.

Popper, Karl (1982), *La théorie quantique et le schisme en physique*, trad. Emmanuel Malolo Dissakè, Paris, Hermann, 1996.

Popper, Karl (1983), *Le réalisme et la science*, trad. Alain Boyer et Daniel Andler, Paris, Hermann, 1990.

Popper, Karl (1985), *Conjectures et réfutations*, trad. Michèle-Irène et Marc B. de Launay, Paris, Payot.

Putnam, Hilary (1981), *Raison, vérité et histoire*, trad. Abel Gerschenfeld, Paris, Éditions de Minuit, 1984.

Putnam, Hilary (1990), *Le réalisme à visage humain*, trad. Claudine Tiercelin, Paris, Éditions du Seuil, 1994.

Quine, W. V.O. (1950), *Méthodes de logique*, trad. Maurice Clavelin, Paris, Armand Colin, 1972.

Quine, W. V.O. (1977), *Relativité de l'ontologie et autres essais*, trad. Jean Largeault, Paris, Aubier, 2008.

Ricœur, Paul (1965), *De l'interprétation, Essai sur Freud*, Paris, Éditions du Seuil, 1995.

Sendrier, Nicolas (2007), *Introduction à la théorie de l'information*, École Polytechnique, <https://www.rocq.inria.fr/secret/Nicolas.sendrier/thinfo.pdf>.

Triclot, Mathieu (2007), *Information et entropie. Un double jeu avec les probabilités*, Journ@l Electronique des Probabilités et de la Statistique, Vol. 3, n° 2, Décembre 2007, [www.jehps.net](http://www.jehps.net).

Van Fraassen, Bas C. (1989), *Lois et symétrie*, trad. Catherine Chevalley, Paris, Vrin, 1994.

Wittgenstein, Ludwig (1945), *Investigation philosophiques*, in *Tractatus logico-philosophicus*, 1961, trad. Pierre Klossowski, Paris, Gallimard, 1990.

Xénophane, *Doxographie, Fragments*, Œuvre numérisée par Marc Szwajcer, fragment 14, <https://remacle.org/bloodwolf/philosophes/xenophane/fragments.htm>.