



**HAL**  
open science

# La mesure de l'incertitude radicale en économie : un roman du hasard ?

Christian Walter

► **To cite this version:**

Christian Walter. La mesure de l'incertitude radicale en économie : un roman du hasard ?. Revue Française d'Economie, 2024, XXXVIII (3), pp.3-30. 10.3917/rfe.233.0003 . hal-04560259

**HAL Id: hal-04560259**

**<https://hal.science/hal-04560259>**

Submitted on 26 Apr 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

# La mesure de l'incertitude radicale en économie : un roman du hasard ?

Christian Walter<sup>1</sup>

## Résumé

L'incertitude radicale semble omniprésente et pose des problèmes particuliers à la prise de décision. Face à l'incertitude, on peut être tenté par la position sceptique qui rejette toute idée de modélisation et de mesure. On peut répondre que l'usage de narrations exploratoires est utile, mais sans modèles probabilistes. Cependant ces récits, pour utiles qu'ils soient, ne peuvent pas fournir de prévisions en régime d'incertitude radicale. Nous présentons une classe de modèles qui permet de réunir l'usage des narrations pour la prise en compte de l'incertitude radicale et la modélisation probabiliste pour le contrôle des risques, les modèles HPE. Nous décrivons les caractéristiques contrefactuelles et modales de ces modèles et suggérons que les modèles HPE s'apparentent à ce que la littérature appelle les romans du hasard.

## Summary

### **Measuring radical uncertainty in economics: a chance novel?**

Radical uncertainty seems to be everywhere and causes specific difficulties in decision making. In the face of radical uncertainty, one may be somehow seduced by the sceptical position that rejects any idea of modelling and measurement. The alternative is that the use of exploratory narratives is useful, but without probabilistic models. However, it is difficult to win the day of accurate forecasting in a radical uncertainty regime, only with narratives as a credible alternative. Hence, I do present in this paper, a class of models, named HPE models, that bring together the use of narratives for the management of radical uncertainty and probabilistic modelling for risk control. I describe the counterfactual and modal features of these models and suggest that HPE models are like what the literature has termed chance novels.

---

<sup>1</sup> Chercheur associé ISJPS (UMR 8103, université Paris 1 Panthéon-Sorbonne). Membre régulier Institut d'éthique appliquée (IDEA, université Laval à Québec).

## Introduction

L'incertitude radicale semble omniprésente. Qu'il s'agisse du déclenchement de l'épidémie de COVID ou de celui de la guerre en Ukraine, les acteurs politiques ou économiques sont confrontés à des événements qui, s'ils n'étaient pas improbables, partagent cependant la caractéristique d'avoir été totalement imprévus. Une épidémie de grande ampleur était considérée comme possible par l'OMS, mais nul ne savait où ni quand ni comment elle pourrait se déclencher. Une attaque de l'Ukraine par la Russie avait été envisagée par les services de renseignements occidentaux, mais sans pouvoir préciser une date ou une fourchette de dates. Ces deux événements ont eu pour conséquence économique l'augmentation importante de la dette, et la montée de la dette publique est ainsi devenue une trace des effets de l'incertitude radicale en économie. Cette incertitude radicale soulève la question de la prise de décision devant un futur inconnaissable, selon le titre d'un ouvrage récent de Kay et King [2020], et la gestion spécifique des risques financiers associée à cette inconnaissabilité (Diebold, Doherty et Herring [2010]).

Cette prise de décision peut prendre des allures angoissantes. L'incertitude radicale est en effet au centre des problématiques les plus variées comme les plus urgentes, par exemple l'éthique du changement climatique (Bordeyne, Léna et Osborne (dir.) [2009], Gardiner et Weisbach [2016]), l'éthique environnementale ou sur les nouvelles menaces de la « société du risque » (Beck [1986]). Il semble que l'affrontement à l'inconnaissabilité et l'angoisse devant l'impossibilité d'un risque zéro deviennent un *topos* de toute politique économique (Aimar [2009]). Cette angoisse conduit l'homme du probable à mettre en place un principe de précaution qui le rend « précautionneux » (Desprins [2011]) et confère à l'incertitude radicale une connotation systématiquement négative. D'où peut-être la profusion de dispositifs normatifs contraignants, dont on imagine qu'ils pourront venir combler les vides informationnels au moyen de croyances partagées ou de conventions (Lewis [1969]), mais qui peuvent croître démesurément au point de devenir des « Golem » réglementaires (Rodarie [2015]). Le spectre de l'inconnaissabilité dans la prise de décision appelle à un développement nouveau de recherches sur la méconnaissance et ses conséquences pour l'action (Svetlova [2021]). Comment agir et décider face à l'incertitude radicale ?

En économie, la notion d'incertitude radicale a fait l'objet d'un nombre immense de travaux depuis les textes fondateurs de John Maynard Keynes et de Frank Knight. La littérature sur ce thème étant pléthorique, il ne saurait être question ici de n'en tenter ne serait-ce qu'un résumé. Selon la définition de Keynes, l'incertitude radicale représente des situations dans lesquelles « nous ne savons pas ». Les exemples qu'il donne (guerre européenne, niveau du prix du cuivre, taux d'intérêt dans dix ans, obsolescence d'une invention) montrent qu'il s'agit là d'une incertitude d'origine exogène. Mais Keynes ne se limite pas à cela : le « concours de beauté » (les interactions entre agents) est à l'origine d'une incertitude radicale d'origine endogène. Rappelons aussi que, dans la perspective de la gestion à long terme en présence d'incertitude radicale, Keynes avait pris une position forte contre la clé de voûte de la pensée financière néoclassique, l'idée de diversification maximale, une technique de gestion qu'il qualifiait de « parodie de politique d'investissement » (Walter [2013] p. 161). Face à l'incertitude radicale, diversifier selon les mesures usuelles de risque est dangereux et peut produire le contraire de ce qui était espéré, c'est-à-dire une augmentation du risque de perte (Le Courtois et Walter [2012]). Face à l'incertitude radicale, la « main invisible » du marché tremble (Brian [2009]).

Rappelons que pour Knight [1921], l'incertitude est, soit mesurable par le calcul des probabilités ou les statistiques, soit non mesurable. Knight propose de conserver la notion

d'incertitude aux situations d'incertain non mesurable et d'appeler « risque » les cas où l'incertitude est mesurable. Kay et King [2020] remplacent la distinction entre risque et incertitude par la distinction entre une incertitude qui peut se résoudre et l'incertitude radicale. Les cas du risque sont ceux traités par la pensée néoclassique qui ne distingue pas les notions de risque et d'incertitude. En effet, la pensée néoclassique définit le risque comme de l'incertitude mesurable réduite à des modélisations mathématiques utilisant des dynamiques aléatoires continues dont la représentation de base fut pendant près d'un siècle le mouvement brownien (Walter [2019]), et ne peut modéliser les situations d'incertitude dans lesquelles les statistiques et les lois des grands nombres ne fonctionnent pas. Dans la pensée néoclassique, l'incertitude disparaît de l'économie et de ses modélisations pour être remplacée par un « risque » lui-même dépourvu de tout danger (Bouchaud et Potters [1997]). Cette assimilation entre incertitude et risque est l'une des raisons pour lesquelles l'entrepreneur n'a pas de place dans la pensée néoclassique (Walter [2015]), que la robustesse des modèles économiques est prise en défaut (Ibragimov [2005], Kay et King [2020] p. 12) et que les calculs classiques de taux de rentabilité interne (IRR) soulèvent un grand nombre de problèmes (Phalippou [2009]). En particulier, la question de l'échelle de la mesure n'est pas résolue.

En effet, l'incertitude radicale est étroitement associée à la présence de lois d'échelle (Bouchaud [2001a], Gabaix [2009], West [2017]). Les lois d'échelle traduisent la présence d'une criticité auto-organisée (Bak [1997]) qui, en économie, est relative aux interactions entre agents (Bouchaud [2001b]) créant une incertitude d'origine endogène. Cette criticité peut entraîner l'apparition d'événements qualifiés de « rares » ou « d'extrêmes » caractérisés par des queues de distributions ultra-étirées (Anderson [2006]), une « économie des extrêmes » (Zajdenweber [2000] qui nécessite des techniques particulières de mesure (Embrechts, Klüppelberg et Mikosch [1997]). La mesure de l'incertitude radicale se heurte au problème des lois d'échelle.

Plutôt que de s'engager dans une revue générale qui serait nécessairement superficielle voire abstraite, nous choisissons d'aborder la question de la mesure de l'incertitude radicale à partir du point de vue de certains acteurs économiques qui y sont particulièrement confrontés, les entrepreneurs et les investisseurs en capital. Cette limitation du périmètre de la question à un champ professionnel précis nous aidera à saisir plus précisément certains enjeux de la mesure de l'incertitude radicale, ce qui permettra ensuite de mieux percevoir l'intérêt d'une démarche de modélisation d'un type particulier, mettant en œuvre des fictions exploratoires.

Pour ce faire, notre approche est la suivante. La première partie présente la situation des investisseurs en capital devant effectuer des choix d'investissement en présence d'incertitude radicale, et agir sur des futurs contingents, puis la position sceptique dont Nassim Taleb ou Alan Greenspan représentent des actualisations contemporaines financières, selon laquelle vouloir tenter de modéliser l'incertitude radicale est inutile, soit que cette modélisation ne serve à rien dans le meilleur des cas, soit qu'elle contribue à accentuer les dangers dans le pire des cas. La seconde partie répond à cette critique en introduisant une catégorie nouvelle de modèles caractérisés par la création de fictions exploratoires rationalisées, ou « *how possibly explanations* » (HPE). On fait le lien entre ces modèles et la recommandation de John Kay et Mervyn King d'utiliser des narrations risquées pour la prise de décision en incertitude radicale. Les modèles HPE traitent du problème des futurs contingents par des approches contrefactuelles ou modales avec des récits probables. En un sens, ils permettent de contrôler le risque en incertitude radicale. Puis on introduit l'apport des modèles miniatures pour les choix d'investissement, en présentant les résultats d'une enquête de terrain auprès des investisseurs en capital et en montrant comment les investisseurs résolvent l'incertitude. En conclusion, on

suggère que les modèles HPE rejoignent une question connue en littérature sous le nom de « romans du hasard ».

## Incertitude radicale, entrepreneurs et choix d'investissements

À côté de la représentation négative de l'incertitude radicale, il en existe une autre, positive. L'incertitude radicale peut aussi être perçue comme un élément appelant une action nouvelle et innovante, comme précisément celle de la démarche entrepreneuriale, un engagement actif dans le brouillard de la contingence en redécouvrant la vertu de prudence, une vertu conçue précisément par Aristote pour affronter la contingence (Aubenque [1963]). De ce point de vue, l'entrepreneur peut être considéré comme un « homme prudent » (Facchini [2007]) qui cherche à exploiter par son action et ses décisions l'existence de futurs contingents en « imaginant des moyens qui lui permettraient de réaliser ses fins » (*id.*). On peut ainsi faire un « éloge de l'incertitude » (Bourgeault [1999]) ou « se réjouir de l'incertitude » (Kay et King [2020] p. 17) pour les possibilités d'accomplissement que le saut prudent dans l'inconnu permet d'atteindre, pour autant que nous contrôlions la partie dite « risquée » (donc non radicalement incertaine) de la démarche d'engagement. L'homme prudent n'est pas l'homme précautionneux. Cependant, la prudence de l'entrepreneur et donc de l'investisseur en capital doit prendre en compte la morphologie de l'incertitude. C'est la raison pour laquelle nous considérons l'entrepreneur et l'investisseur en capital comme des exemples idéaux pour entrer dans le problème posé par la mesure de l'incertitude radicale.

### L'entrepreneur dans la tradition Cantillon-Knight

La figure de l'entrepreneur parcourt la théorie économique depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle. Sans entrer dans une réflexion de fond sur l'histoire économique de la figure de l'entrepreneur (voir par exemple Vérin [2011], Hébert et Link [2009] ou la *Revue de philosophie économique* [2014]), on rappelle ici quelques éléments qui permettent de mieux comprendre les problèmes que rencontre la conceptualisation et la modélisation des risques en présence d'incertitude radicale.

Il est d'usage de considérer, au moins depuis Schumpeter, que c'est au banquier français Richard Cantillon (1680-1734) que l'on doit la première esquisse de la relation entre l'entrepreneur et l'incertitude radicale, même si cette idée peut être discutée car on trouve des prédécesseurs à Cantillon par exemple chez Vauban (Pradier [2006 p. 30], Vérin [2011]). Dans son *Essai sur la nature du commerce en général* (1755), Cantillon présente l'entrepreneur comme une personne possédant une aptitude à affronter l'incertain, et le distingue en cela des propriétaires et des fermiers qui vivent de rentes, c'est-à-dire de rémunérations sans incertitude. Cette spécificité de fonction (affronter l'incertain) qui caractérise la figure de l'entrepreneur chez Cantillon disparaîtra progressivement dans la pensée économique ultérieure. Adam Smith dépersonnalise l'entrepreneur avec la métaphore de la main invisible qui dissout la spécificité des personnes. David Ricardo réduit l'entrepreneur à un capitaliste, dans le sens de celui qui détient le capital. Jean-Baptiste Say fait de l'entrepreneur un organisateur et répartiteur de risque en avenir certain. La notion d'incertitude est oubliée. John Stuart Mill voit l'entrepreneur comme une sorte d'intermédiaire obligé entre production et consommation, ce qui dissout deux fois l'entrepreneur, comme acteur et comme personne affrontant l'incertain. Alfred Marshall assimile l'entrepreneur à un manager.

La disparition de la figure de l'entrepreneur est confirmée dans la pensée microéconomique classique. Chez Léon Walras, l'entrepreneur est confiné à la fonction de production. Chez

Vilfredo Pareto, l'entrepreneur devient l'agent de liaison entre les produits et les marchés. La pensée économique néoclassique achève de faire disparaître la personne de l'entrepreneur avec deux postulats qui rendent inutile sa présence : la transparence du marché qui présuppose une symétrie dans l'information, et l'homogénéité des produits qui présuppose une substituabilité des biens et une différenciation par les seuls prix. Au XX<sup>e</sup> siècle, John Kenneth Galbraith considère que l'entrepreneur doit être remplacé par des organisations collectives. Enfin, la théorie de l'efficacité d'un marché dans le sens informationnel, forgée par Eugene Fama [1970], ignore l'entrepreneur, dont le principal défaut en tant qu'acteur prudent est d'invalider les hypothèses sur lesquelles se fonde cette théorie. S'il n'y a pas d'incertitude mais seulement du risque aléatoire annulable par les marchés, aucune prudence n'est nécessaire. Seule la précaution est utile pour faire tendre le risque vers zéro.

Pour Knight, la justification du gain des entrepreneurs n'est pas à chercher dans la rémunération de la prise de risque mesurable, mais dans un engagement hardi dans l'incertitude non mesurable en prenant des risques que ne voudraient pas supporter les autres. La rémunération des entrepreneurs payerait donc quelque chose qui n'est pas contenu dans l'apport en capital des actionnaires et le travail des salariés : l'affrontement des entrepreneurs au danger. Cet affrontement serait leur travail propre, leur marque de fabrique propre, ce que suggère Michel Houellebecq dans son roman *La carte et le territoire* avec la tableau imaginaire « la conversation de Palo Alto » entre Steve Jobs et Bill Gates : l'entrepreneur n'intervient pas sur des marchés existants qu'il sature, tel Bill Gates, mais crée de toutes pièces des marchés nouveaux par des intuitions géniales de produits qui n'existent pas encore, comme Steve Jobs. Les entrepreneurs ne sont, de ce point de vue, ni des capitalistes, ni des managers. Le « vrai » entrepreneur travaille dans l'incertain. Dans ce sens, Knight rejoint Cantillon et c'est la raison pour laquelle on parle d'une « tradition Cantillon-Knight » (Steiner [1997], Facchini [2007]).

### L'investissement en capital face à l'incertitude radicale

L'investissement en capital (Demaria [2020], Bédu, Foureault et Palard [2022], Mauboussin et Callaghan [2020]) est une opération financière qui accompagne, et qui est destinée à accompagner, les entrepreneurs. Si l'on veut modéliser mathématiquement cette activité professionnelle pour en gérer le risque, il importe de savoir ce qui est pertinent pour les investisseurs. Pour eux, la question est de savoir sous quelles conditions de possibilités l'opération d'investissement pourrait effectivement produire le futur attendu. Des modèles pertinents pour l'investissement en capital auront bien pour objet une « explication », mais pas une explication du monde tel qu'il est. Ce sera une explication du monde tel qu'il pourrait être, permettant aux investisseurs de se demander par exemple à quel prix ils pourront vendre leur prise de participation (« comment ce prix de sortie serait-il possible ? »), c'est-à-dire sous quelles conditions de possibilités le phénomène imaginé (par exemple le résultat financier ou le multiple d'investissement) serait atteignable, comment le futur de l'entreprise visé par le modèle pourrait *éventuellement* se produire. Dans la plupart des cas, les séquences de flux projetées dans les projets d'investissement ne se réaliseront pas. Voire il existe de nombreuses situations dans lesquelles le projet même de l'investissement n'aboutira pas. L'exploration du futur va être utile mais pas à des fins de prévisions, seulement pour mieux comprendre ce qui fera que tel futur adviendra. Les investisseurs ont une préoccupation pratique, connaître les conditions du « vrai monde » qui permettraient d'obtenir ce que le modèle d'investissement montre qui peut être obtenu. Or ce « vrai monde » est marqué par l'incertitude radicale. Pour trouer l'incertitude de l'investissement, les modèles mathématiques ne pourront être qu'exploratoires.

## L'incertitude radicale ou l'impossibilité d'inférence au-delà des futurs probables

Outre les travaux de Knight et Keynes, des critiques récentes et fortes contre la possibilité de mesure de l'incertitude radicale sont venues de Nassim Taleb qui a imposé mondialement l'image du « cygne noir » (Taleb [2007]) pour désigner notre impuissance devant la contingence et notre vanité à vouloir calculer en économie. La figure du « cygne noir » est venue emblématiser cette impression d'impuissance devant l'incertitude radicale. Kay et King [2020] critiquent simultanément la possibilité de l'approche probabiliste et l'usage des modèles, d'une part, et son interprétation par la notion de cygne noir d'autre part. Pour des raisons différentes, les positions de Taleb [2007] et de Kay et King [2020] semblent rendre vaine toute tentative de décrire la morphologie de l'incertitude et donc d'en imaginer des modélisations pertinentes pour les entrepreneurs et les investisseurs en capital. Cette critique est aussi celle de Ayache [2020], la probabilité ne serait d'aucun secours face à l'incertitude radicale. La charge a été forte et, en raison de l'écho qu'elles ont eu chacune à des titres différents (ces livres ont eu une audience mondiale), nous abordons maintenant cette critique.

Rappelons la métaphore de Taleb [2007]. La notion de cygne noir fait allusion à la découverte faite par les européens de cygnes noirs en Australie alors que toutes leurs observations précédentes les conduisaient à croire que tous les cygnes étaient blancs. On retrouve cette idée dans les *Satires* de Juvénal (vers 100-125) : « un oiseau rare dans le pays, rare comme un cygne noir » (Satire VI). Le cygne noir représente ainsi pour Taleb « la puissance de l'imprévisible », telle une figure de notre ignorance. Précisément les situations auxquelles l'entrepreneur doit faire face en tant qu'agent « confronté aux limites du savoir sur les états futurs du monde » (Steiner [1997] p. 625).

Pour Taleb, le cygne noir symbolise ce qui déjouera toujours toutes les prévisions que l'on peut envisager, même celles élaborées avec les meilleures techniques de prévision. Pour Taleb, « quelque chose » vient perturber le bel ordonnancement de ce que nous cherchons toujours – en vain – à contrôler pour rendre notre environnement aussi prévisible que possible. Une force de la nature fait alors irruption dans les projets humains, comme pour rappeler que toute volonté de maîtrise absolue des phénomènes n'est que le reflet d'une tentation mortifère que l'on imaginerait volontiers comme totalitaire.

Derrière la position de Taleb, une figure plus ancienne apparaît, celle de *Fortuna* dont Nicolas Machiavel (1469-1527) décrit les effets dans *Le Prince* (1513). Tout politique doit composer avec une part d'imprévisibilité, ce qu'exprime la célèbre prosopopée : « je suis l'occasion, je ramène devant moi tous mes cheveux flottants et je voile sous eux ma gorge et mon visage pour que les hommes ne me reconnaissent pas ». L'imprévisible radical de Taleb est, au sens propre, l'imprévu de Machiavel, car nous ne le voyons pas encore et les cygnes noirs seraient pour Taleb les signes noirs de *Fortuna*. Dans la métaphore du cygne noir, on ne sait pas qu'on ne sait pas. Mais comme le rappelle Kay [2020 p. 3-4], même si le terme « cygne noir » a été utilisé pour le déclenchement de l'épidémie de COVID à Wuhan, ce terme n'est pas approprié car, dans ce cas, on savait qu'on ne savait pas. L'apparition d'une épidémie était quelque chose qui pouvait être envisagée ou imaginée, mais pas prévue au sens des probabilités (queues de distribution etc.). On pouvait s'y attendre, mais sans qu'on puisse chiffrer cette attente. Seule une approche narrative permettait d'imaginer des futurs contingents (Kay et King [2020] p. 40). Cette précision est importante pour notre propos car elle permet de justifier l'emploi de modèles HPE (voir paragraphe suivant).

Le danger cognitif de la métaphore de Taleb vient de ce qu'elle fait renaître une position philosophique connue et nocive pour l'action, celle du scepticisme, selon laquelle fondamentalement, comme il est des situations dans lesquelles « on ne peut pas savoir », on ne peut en pratique rien faire d'efficace, on se trouve devoir faire face à « l'indicible des marchés ». C'est la position intellectuelle adoptée par exemple après la crise de 2008 par le président de la FED Alan Greenspan qui déclara au *Financial Times* le 16/3/2008 que « nous ne pourrions jamais anticiper toutes les discontinuités des marchés financiers » et que « la gestion du risque finira toujours par échouer ». Face aux cygnes noirs, on ne pourrait donc rien faire, et toute tentative de mesure de l'incertitude radicale serait soit inutile soit dangereuse car trompeuse. Kay et King [2020] proposent l'usage de récits, d'histoires, car les êtres humains sont ainsi : « Ils pensent en termes de récits plutôt que de probabilités numériques, non pas parce qu'ils seraient irrationnels, mais parce qu'une approche narrative s'est avérée la meilleure façon de faire face aux incertitudes mal identifiées auxquels ils ont été confrontés au cours des millénaires pendant lesquels ils ont affronté des espèces prédatrices, des catastrophes naturelles et d'autres êtres humains aux intentions hostiles » (Kay [2020] p. 3, notre traduction). Des récits (« *reference narrative* », Kay [2020] p. 5) permettent de contrôler le risque pour décider en incertitude. Ces récits constituent le principe des modèles HPE, que nous abordons à présent.

## Prudence et narrations : les modèles « HPE »

Nous conservons la proposition de Kay et King [2020] sur le rôle des narrations mais nous considérons que cette proposition n'exclut pas l'usage de modèles probabilistes. Un usage de modèles est possible, pas des modèles au sens positiviste ou iconique du terme, mais des modèles qui permettront aux entrepreneurs d'imaginer un futur possible qui leur convienne et, pour cela, agir en fonction de leur objectif. Cela conduit à étendre la notion usuelle de modèle vers une catégorie nouvelle d'explication qui inclut les possibilités de futurs contingents parallèles, en fait une perspective exploratoire et non uniquement prédictive. Autrement dit, faut-il suivre Taleb et considérer qu'aucun modèle ne permettra de trouer le brouillard de l'incertitude radicale ? Faut-il suivre Ayache et considérer qu'aucune probabilisation n'est possible pour affronter l'incertitude radicale ? Nous ne le pensons pas.

### Les modèles comme fictions exploratoires

Rappelons que, lorsque l'on décide de modéliser un phénomène, c'est en général à des fins de prévision ou pour en avoir une explication même si « prédire n'est pas expliquer » (Thom [2009]). Les simulations par des modèles sont de plus en plus utilisées pour prédire ou comprendre le monde (Varenne [2013], Weisberg [2013]) dans les sciences de la nature ou les sciences sociales (Armatte [2005]). Bien souvent, les modèles ne parviennent ni à expliquer ni à décrire un phénomène. Ils sont seulement utilisés comme des « fictions exploratoires » (Bokulich [2009]) rapprochant démarche scientifique et démarche fictionnelle, « science » et « fiction ». Dans cet usage, un modèle raconte une « histoire » sur le monde, ou crée un « monde factice », cela même quand le modèle est considéré comme totalement irréaliste (Aydinonat et Köksal [2019]). Dans le cadre de ces fictions exploratoires, une pluralité de modèles permet de mieux cerner un phénomène à examiner (Aydinonat [2018], Ylikoski et Aydinonat [2014]), et les différents « formats de représentation » d'une théorie (Worms [2009]) contribuent à cette pluralité. Derrière cette pluralité se trouve la réfutation d'une explication par un modèle qui présenterait une « idée » unique (Reiss [2012, 2013]). Cet usage des modèles relève d'une nouvelle approche de l'explication en philosophie des sciences, appelée « HPE ». Nous l'introduisons avec les deux usages possibles du mot « comment ».



Toute explication peut se penser comme une réponse à la question « comment ? ». Il existe deux façons d'envisager cette question, relatives aux deux modalités possibles du « comment ». On peut se demander « comment cela [ce phénomène] *est-il* possible ? ». Mais on peut aussi se demander « comment cela [ce phénomène] *serait-il* possible ? », c'est-à-dire : comment ce phénomène *pourrait* advenir ou se produire. En langue anglaise on appelle la première explication « *how-actually explanation* » et la seconde explication « *how-possibly explanation* » (HPE). L'approche HPE renouvelle ainsi la démarche de l'explication avec l'inclusion de démarches exploratoires fictionnelles.

### Les modèles comme gisement de narrations risquées

L'explication dite « HPE » est introduite en toute généralité dans l'ouvrage de William Dray *Laws and Explanations in History* (Dray [1957] p. 157, notre traduction) :

« Le besoin d'explication est, dans certains contextes, satisfait si l'on montre simplement que ce qui s'est passé était possible. Il n'est pas indispensable de montrer aussi que c'était nécessaire. En d'autres termes, nous soutenons que, quoique comme le dit le professeur Toulmin, expliquer une chose soit souvent « montrer qu'on aurait pu s'y attendre », l'approche appropriée pour les (explications de l'éventualité) est plus générale que cela. Expliquer une chose peut parfois simplement revenir à montrer qu'elle n'aurait pas dû causer de surprise, qu'il n'est pas nécessaire de s'étonner qu'elle advienne. »

Cette approche complète le schéma classique dit « déductif-nomologique » (Hempel [1965, 1966]) dans lequel on distingue le phénomène à expliquer (*explanandum*) et ce qui l'explique (*explanans*), aux cas où quelque chose pourrait se passer, mais pourrait aussi ne pas se passer. Le schéma déductif-nomologique ne concerne que les explications de phénomènes qui existent effectivement. Il fallait aussi envisager des explications pour des phénomènes qui ne pouvaient exister que possiblement, éventuellement (Dray [1968], Reiner [1993]).

Une des conséquences de cette approche est l'apparition de la contrefactualité. La modélisation HPE est ce qu'on appelle « contrefactuelle ». Elle fait naître des futurs possibles autres que ceux immédiatement prévisibles, fait émerger une multiplicité de mondes futurs fictionnels. En cela, elle peut ainsi être reliée à l'imaginaire de mondes possibles, une question très ancienne, récurrente en Occident depuis l'antiquité grecque (Fantino [2002]), celle de la « pluralité des mondes possibles » (Fontenelle [1686]) reprise au vingtième siècle dans le contexte de la philosophie analytique (Lewis [1986]) et abondamment présente dans la littérature de science-fiction. Les récits de science-fiction participent de cette compréhension, tenant le rôle de « réservoirs à idées » dans la création de mondes factices (Déléage [2023]). La modélisation HPE peut aider dans l'exploration des possibles (Resnik [1991]).

Il ne s'agit pas d'entreprendre une prévision du futur mais d'imaginer une connaissance sur les modes d'existence des futurs possibles. C'est la raison pour laquelle on dit que l'explication HPE est de type modal (Fischer [2016]) Cette connaissance modale est en fait l'apport propre des modèles mathématiques HPE. Dans l'investissement en capital, les projections des résultats des scénarios à une date future donnée permettent de choisir quelles actions il fallait mettre en place pour s'assurer de tel résultat. Dans la gestion d'une épidémie, cela aide à savoir quel mode du futur adviendra. Par exemple, si on confine, alors tel futur existera, si on ne confine pas, alors ce sera tel autre etc. Comprendre que les modèles d'épidémiologie relèvent d'une

approche HPE permet de réfuter les critiques longuement entendues au moment du COVID sur le thème que « ces modèles se sont tous trompés dans leurs prévisions ».

La modélisation HPE ne cherche donc pas à « représenter les choses » du monde mais à « trouver des choses » sur le monde par les « histoires » que racontent les modèles. Sa fonction est plutôt heuristique (favoriser des découvertes) qu'épistémique (Verreault-Julien [2019]). Le bénéfice que l'on retire de l'usage de cette modélisation provient essentiellement de l'amélioration de la connaissance des conditions de possibilités des futurs contingents que le modèle permet de préciser. Connaissant les conditions des scénarios et les résultats selon ces conditions, on voit mieux comment l'on doit agir si l'on veut atteindre tel scénario en particulier. Au fond, une modélisation HPE peut être vue comme un générateur de scénarios.

Dans le secteur financier, comme la gestion des portefeuilles et la finance de marché, on savait déjà que les modèles utilisés dans les activités pratiques ne décrivent ni n'expliquent des phénomènes. Ils les mettent en forme par des normes de conduite, des règles d'investissement, des techniques de couverture etc., cette mise en forme étant appelée leur fonction performative (MacKenzie [2006], Svetlova [2012]). La conception iconique des modèles était déjà abandonnée avec la compréhension performative des modèles. L'approche HPE représente un deuxième abandon de la conception iconique des modèles. Les usages contemporains des modèles sont donc multiples et tous partagent désormais l'idée que la relation entre un modèle et le phénomène qu'il vise est complexe. L'approche HPE s'inscrit dans cette complexité.

On ne confronte donc pas une modélisation HPE à la « réalité », on n'utilise pas un modèle mathématique HPE pour mettre en forme la réalité, comme les modèles performatifs de la finance, on utilise une modélisation HPE pour mieux savoir comment agir connaissant les conditions d'occurrence des futurs contingents. L'exploration des futurs contingents est l'une des fonctions importantes de la modélisation (Massimi [2018]). La modélisation HPE permet de bien remplir cette fonction.

Si l'objet d'une modélisation HPE est de raconter une histoire, on pourrait argumenter que toute activité non mathématique dans laquelle l'imagination est mise en mouvement et fait naître un récit, ceci d'où qu'elle provienne (marcher dans la rue, aller au cinéma etc.) peut permettre, tout autant que des modèles mathématiques, de trouver quelque chose à dire sur le monde et, dans ce sens, justifier des modélisations HPE par le fait qu'elles permettent de produire des fictions narratives « place l'utilisation de modèles dans la même catégorie que lire le journal » (Grüne-Yanoff [2013] p. 851). Pourtant, même si ces modèles n'ont aucune accroche sur le monde, ils peuvent nous faire évoluer dans les manières que nous avons de voir le monde. Par exemple dans le cas de l'investissement en capital, cela signifierait que les modèles auraient pour fonction de nous apprendre quelque chose sur l'opération d'investissement si elle se fait, nous amener à voir le futur si l'opération a eu lieu. Donc d'apprendre quelque chose sur un monde situé finalement en dehors du champ du modèle.

Mais ce champ semble vaste voire illimité. Les histoires à raconter sur le futur d'une entreprise sont innombrables. Pour Gelfert [2019], si on ne veut pas que les scénarios des modélisateurs soient considérés comme des « histoires à dormir debout » (Kipling [1902]) totalement invraisemblables, par exemple aux yeux des investisseurs dans le cas de l'investissement en capital, il faut élaborer des modélisations qui permettent, telles les représentations 3D en architecture, de visualiser comment les mécanismes envisagés permettent d'arriver à l'histoire racontée. Pour le dire autrement, l'approche HPE vise aussi à délimiter le champ des possibles dans les mondes imaginaires. Ils permettent de modéliser le risque des récits.

Pour « prouver » que ce qui pourrait exister pourrait effectivement exister, il faut établir un mécanisme de causalité, expliquer par quel mécanisme la situation illustrée par l'hypothèse pourrait éventuellement advenir. Un modèle miniature peut aider à comprendre ce mécanisme. Une logique de scénario qui ferait apparaître comment les projections des mondes futurs engendrées par des modèles pourraient être sélectionnées, i.e. sur quels critères, pour que les résultats soient pertinents. Par exemple, dans le cas de l'investissement en capital, s'assurer que les mondes futurs engendrés par les modèles sont factuellement possibles, même s'ils ne sont pas justifiés au moment où l'on lance les projections.

Une voie de solutions serait la prise en compte de données empiriques. Les travaux de philosophie des modèles HPE divergent sur la façon de considérer les données empiriques disponibles. Par certains (Forber [2010]), une explication du genre « comment cela pourrait-il être possible ? » peut se passer de données empiriques, car cette explication aurait au moins une vertu épistémique, celle de faciliter les spéculations sur le système examiné. Pour d'autres (Bokulich [2014]) c'est impossible. En l'absence de toute base empirique, comment peut-on être sûr que ce que l'on modélise est en rapport quelconque avec le phénomène examiné ? Selon ce point de vue, toute explication du genre « comment cela pourrait-il être possible ? », nécessite de disposer de données empiriques pour étayer les simulations ou les projections exploratoires : « mêmes les enquêtes les plus mathématiques sur le tigre de brousse sont toujours étayées par des données empiriques » (Bokulich [2014] p. 234).

La biologie de l'évolution fut le premier terrain où l'approche HPE fut appliquée (Brandon [1990]). Ce qui ouvrit la voie d'un programme de recherche en modèles HPE pour la biologie (Forber [2010], Pearson [2018]). Puis cette façon de faire des modèles mathématiques fut utilisée en informatique quantique (Cuffaro [2015]). La philosophie des sciences s'intéressa alors à ce nouvel usage des modèles mathématiques et de nombreux travaux furent engagés sur la nature de l'explication HPE (Bokulich [2014], Persson [2012]), jusqu'à des synthèses récentes (Verreault-Julien [2019], Brainard [2020]). Nous avons proposé d'appliquer cette approche à l'investissement en capital pour pouvoir utiliser des modèles en présence d'incertitude radicale (Walter [2023]).

### Les modèles miniatures et l'investissement en capital

Une autre voie utile pour examiner la création de mondes possibles en présence d'incertitude radicale est la miniaturisation. En économie et en finance, Benoît Mandelbrot qualifiait ses modèles de « *cartoon model* », voulant désigner ce qu'on appelle en français un « carton » de tapisserie, un terme qui désigne une maquette préparée pour la réalisation de l'ouvrage final, un modèle réduit du dessin qui servira au lissier pour réaliser effectivement la tapisserie. Le peintre-cartonnier devait concevoir le motif de la tapisserie, et il dessinait une miniature du tableau final. Les « *cartoon models* » de Mandelbrot étaient en quelque sorte des « modèles miniatures » de la dynamique boursière, de la même manière que les « trains miniatures » (« *toy train* ») sont des modèles réduits de trains à différentes échelles, qu'on utilise comme « jouet » pour les enfants (d'où le mot « *toy* »). Par exemple les cascades de Mandelbrot sont des « *cartoon model* » pour les modèles de dynamiques des prix financiers à différentes échelles.

Cette notion de « *cartoon model* » a été depuis très développée et popularisée dans la modélisation, sous l'appellation de « *toy model* », précisément un modèle réduit qui, tel un jouet, permet à celui qui l'utilise d'avoir une idée du monde en miniature. C'est la raison pour laquelle nous proposons de traduire « *toy model* », non pas par « modèle jouet » qu'on trouve aujourd'hui dans la littérature en langue française, mais par « modèle réduit » ou « modèle

miniature » (comme train miniature). Un modèle miniature représente une piste intéressante de modélisation pour l'incertitude radicale.

Un exemple de modèle miniature célèbre est donné par le modèle de ségrégation de Thomas Schelling [1969]. Dans ce modèle, un exemple de mécanisme causal fictif mais crédible est fourni par une cascade de contagion dans une ville en damier. Dans cette ville imaginaire extrêmement simplifiée et irréaliste (« *cartoon city* »), on imagine que le mécanisme causal de la cascade produit des ségrégations de plus en plus fortes de la population, jusqu'à une ségrégation radicale alors même que personne, au début, ne souhaite vivre séparé des autres. La ségrégation est estimée selon Schelling par la proportion de contacts entre individus de couleur différente. Le modèle de cascade de contagion montre qu'elle finit toujours au-dessus du seuil de tolérance individuelle. Comme le relève Banos [2010], « le modèle de Schelling n'en finit pas de fasciner. Avec une simplicité extraordinaire, [ce modèle] illustre de manière frappante les conséquences agrégées de comportements non coordonnés mais interdépendants ». Le statut épistémologique du modèle de ségrégation de Schelling est intéressant car les villes imaginaires produites par les cascades de contagion ne sont pas impossibles, ce sont des villes « autres ». Le modèle miniature présente des villes, certes imaginaires, mais surtout très crédibles. Sugden [2000] considère qu'il est raisonnable de supposer que les mêmes mécanismes que ceux du modèle de Schelling opèrent dans les vraies villes, même si les vraies villes sont différentes des villes imaginaires de Schelling. De ce point de vue, le modèle de Schelling nous offre une piste de réflexion féconde pour entrer dans les vraies villes, en examinant « ce qui se passerait si » les individus agissaient comme dans le modèle.

Reutlinger, Hangleiter et Hartmann [2018] distinguent deux sortes de modèles miniatures, les modèles autonomes (« *autonomous toy models* ») et les modèles qui dépendent de théories existantes (« *embedded toy models* »). Les modèles autonomes sont des modélisations de phénomènes existants, qui se sont élaborés tels quels, sans référence à une théorie donnée. Les modèles miniatures qui résultent d'une théorie existante sont pensés à partir de cette théorie et la simplifient de manière extrême, pour permettre d'en comprendre les enjeux. Dans la mesure où les théories existantes sont pour la plupart issues de la pensée néoclassique, il semble qu'un modèle miniature autonome soit le plus apte à entrer dans la problématique de la mesure de l'incertitude radicale.

À titre d'exemple, nous avons proposé (Walter [2023]) un modèle miniature autonome pour l'évaluation en présence d'incertitude radicale dans le secteur de l'investissement en capital, afin de suggérer une façon de mesurer qui ne soit pas dépendante de la théorie financière néoclassique. Pour trouver une mesure appropriée aux attentes des investisseurs, nous avons suivi les méthodes de l'ethnomathématique et sommes partis des conceptions indigènes de la valeur chez les professionnels de l'investissement en capital. L'ethnomathématique consiste à trouver des structures mathématiques dans une activité humaine qui ne se pense pas comme mathématique (Vandendriessche [2018]). Nous avons cherché à mettre en forme mathématique ce que les professionnels de l'investissement en capital (« *private equity* ») font et disent faire.

En effet, une enquête de terrain (Benquet [2019]) reposant sur 48 entretiens avec des professionnels de l'investissement en capital réalisés entre 2012 et 2017 auprès de 21 membres de fonds d'investissement, 9 membres de cabinets d'audit, 3 membres de banques d'affaires et 10 directeurs financiers, a fait apparaître que, face à l'incertitude radicale, les investisseurs ne raisonnent pas selon les critères de risque de l'approche néoclassique, même si, faute d'outillage conceptuel adapté, ils rationalisent ensuite leurs choix d'investissement à travers cette théorie,

d'où le paradoxe. Le résultat de l'enquête met en lumière une tension entre les conceptions réelles des investisseurs sur la valeur et les définitions prescrites de cette valeur par la théorie financière. Un usage politique de la théorie financière est fait par la population des investisseurs en capital, usage déconnecté des pratiques professionnelles réelles (Benquet [2019] p. 61). Confrontés à l'incertitude radicale, les investisseurs ont une conception de la valeur qui n'entre pas dans l'évaluation d'inspiration markowitzienne du risque (Benquet [2019] p. 72). Ils ont de l'évaluation une conception contextuelle et non théorisée, qui évolue au fil du temps. Mais leurs pratiques évaluatives, une sorte d'épistémologie profane, n'a pas produit de registre de légitimation (*id.* p. 76). Même s'ils ne pensent pas comme des économistes néoclassiques, ils justifient leurs décisions d'investissement face à l'incertitude radicale en termes néoclassiques.

C'est dans ce contexte de l'ethnomathématique de l'investissement en capital que nous avons proposé d'utiliser la notion de hasard parétien chez Mandelbrot pour rendre compte des décisions de professionnels en situations d'incertitude radicale et d'une mesure intuitive de leur perception du danger. Dans ce cadre de pensée, un coefficient noté alpha mesure un « degré » d'incertitude radicale. Ce coefficient reste à déterminer. Dans ce contexte, il pourrait être intéressant de mesurer la fluctuation temporelle des évaluations des investisseurs (leurs opinions sur les futurs contingents de la valeur qui évoluent au fil du temps) selon une méthode comme celle présentée dans Fusari [2006] qui tente de chiffrer les variations d'opinions des chefs d'entreprises à partir des enquêtes de conjonctures, pour transformer ces fluctuations d'opinions de valeur future en indicateur d'incertitude, lequel pourrait alors fournir une estimation du coefficient alpha dans la méthodologie d'évaluation proposée dans Walter [2023]. Cette question est laissée pour un travail ultérieur.

## Conclusion : des romans du hasard ?

Les « romans du hasard », selon le titre de l'ouvrage de Sébastien Wit [2019] représentent une catégorie de récits dans lesquels est posée la question de la place du hasard dans les représentations narratives des événements, une place qui incite à abandonner l'idée d'une linéarité du récit, du début à la fin. Dans ces romans, le hasard est non seulement un ingrédient de la structure narrative du récit, mais aussi une manière aléatoire de s'approprier le déroulé des événements. La linéarité de l'explication est abandonnée au profit d'une approche qui fait droit à l'incertitude. Le hasard est à la fois « dedans » et « dehors », à la fois « dans la chose elle-même » et « dans la tête de celui qui lit », qui a la « main » sur le texte (Palud [2020]) comme on dit « avoir la main » dans le sens d'un jeu, celui qui tire la carte. On tire au hasard la succession des séquences des récits ou on utilise des procédés de divination comme le tarot divinatoire ou le jeu chinois Yi-King. L'histoire finale n'apparaît que lorsque la lecture la constitue, elle ne préexiste pas avant. Elle n'existe qu'au fil de l'eau, et l'auteur ne peut contraindre son lecteur à emprunter un chemin particulier, voire unique. Tous les chemins narratifs deviennent également possibles.

De la même manière, l'écriture d'un modèle HPE est aussi un « jeu d'écriture » mathématique pour celui qui le conçoit. L'approche HPE pourrait alors se comprendre comme une rencontre entre deux « joueurs », celui qui imagine le modèle et celui qui l'utilise. Si les utilisateurs de modèles classiques sont habitués à un usage linéaire de la prévision, une forme de séquentialité qui amène à pouvoir tirer des conclusions immédiates du modèle, les modèles HPE obligent à repenser le processus d'usage de la modélisation mathématique, pour le décentrer de sa « fin » à son « écriture ». Dans la mesure où le modèle produit un « récit » du futur (Dahan-Dalmedico [2007]), on pourrait considérer que l'utilisateur du modèle participe à sa conception. L'approche HPE amène à concevoir un modèle, non plus comme une icône du « vrai » monde que le

modélisateur modélise, mais comme un « jeu » entre le modèle et son utilisateur. De ce point de vue, les « romans du hasard » et les modèles HPE semblent en résonance.

On a vu que l'expression « roman du hasard » peut se comprendre de deux manières différentes. D'une part comme un roman qui est le résultat d'un hasard, un « fruit du hasard », d'autre part comme un roman qui raconte une histoire de hasard, l'histoire d'un « personnage » qui serait le hasard. Ces deux modalités de l'expression semblent assez bien rencontrer l'explication HPE. D'une part, les récits produits par les modèles HPE résultent d'un procédé aléatoire mettant en jeu une représentation particulière du hasard, par exemple un hasard gaussien, un hasard parétien. D'autre part, l'explication HPE raconte une histoire sur la manière dont le hasard est mis en scène dans les scénarios du futur. La question soulevée par les « romans du hasard » rejoint celle posée par les modèles HPE. Notre proposition ici est que les « romans du hasard » et plus généralement la créativité ouverte par l'usage du hasard dans la narration littéraire, entrent en résonance avec les modèles HPE puisque ces modèles « racontent des histoires » de mondes possibles. Cette résonance que nous proposons de trouver entre les romans du hasard et les modèles HPE permet de rouvrir le dossier des rapports entre création (de romans, de modèles) et réception (du texte, des scénarios). Passer par la littérature permet d'imaginer une classe de modèles pertinente pour proposer des stratégies face à l'incertitude radicale.

Un modèle HPE est une fabrique à histoires (sur l'incertitude radicale, les investissements dans le non coté, sur les risques de contagion COVID etc.). Ce type de modèle amène à se poser la question de sa réception par ceux qui lisent ces histoires et les prédictions des modèles. Et à se demander ce que font les lecteurs de ces histoires qu'ils lisent (quel rapport à l'incertitude radicale, investissement ou non dans une société non cotée). Ainsi le rapprochement que nous effectuons ici entre les romans du hasard et les modèles HPE peut être considéré comme une contribution au dialogue entre la science et la littérature, entre la modélisation mathématique et la fiction narrative, une correspondance entre des expériences de lectures offertes par la littérature et une théorisation de la pratique des modèles HPE. Cela permet d'envisager des modèles pour l'incertitude radicale, non au sens positiviste de la modélisation mais dans un sens nouveau qui n'exclut pas l'usage du calcul. Une voie qui réfute le scepticisme pour indiquer qu'agir avec des modèles est possible dans un monde incertain.

## Références

- T. Aimar [2009]: **The Economics of Ignorance and Coordination. The Subjectivism and the Austrian School of Economics**, Cheltenham/Northampton, Edward Elgar.
- C. Anderson [2006]: **The Long Tail**, Hyperion.
- P. Aubenque [1963]: **La prudence chez Aristote**, Paris, Puf, coll. « Quadrige ».
- M. Armatte [2005]: *La notion de modèle dans les sciences sociales : anciennes et nouvelles significations*, **Mathématiques et sciences humaines** [en ligne], 172 | Hiver 2005.
- E. Ayache [2010], **The Blank Swan: The End of Probability**, Wiley.
- E. Aydinonat [2018]: *The diversity of models as a means to better explanations in economics*, **Journal of Economic Methodology** 25(3), pp. 237-251.
- E. Aydinonat et E. Köksal [2019]: *Explanatory value in context: the curious case of Hotelling's location model*, **The European Journal of the History of Economic Thought**, 26(5), pp. 879-910.
- A. Banos [2010]: *À la recherche d'effets réseaux dans la dynamique du modèle de ségrégation de Schelling*, **Cybergeo: European Journal of Geography** [Online], Systems, Modelling, Geostatistics, document 492.
- P. Bak [1997], **How nature works. The science of self-organized criticality**, Oxford University Press.
- U. Beck [1986]: **La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité**, Champs, Flammarion.
- N. Bédu, F. Foureault et J.-É. Palard [2022]: **Le Private Equity**, La Découverte.
- M. Benquet [2019]: *Les financiers sont-ils néoclassiques ? Conceptions indigènes de la valeur des acteurs du capital investissement*, **Revue française de Socio-Economie**, 23(2), pp. 59-78.
- A. Bokulich [2009]: *Explanatory fictions*, in M. Suarez (dir.) **Fictions in Science: Philosophical Essays on Modeling and Idealization**, Routledge.
- A. Bokulich [2014]: *How the Tiger Bush Got its Stripes: How Possibly? vs. How Actually? Model Explanations*, **The Monist**, 97(3), pp. 321-338.
- P. Bordeyne, P. Léna et M. Osborne (dir.) [2009]: **Ethique du changement climatique**, Le Pommier.
- G. Bourgeault [1999]: **Éloge de l'incertitude**, Montréal, Bellarmin.
- J.-P. Bouchaud et M. Potters [1997]: *Un prix Nobel de l'économie sans risque*, **La Tribune**, 4 novembre.
- J.-P. Bouchaud [2001a]: *Power-Laws in Economy and Finance: Some Ideas from Physics*, AFA 2001 New Orleans Meetings, SSRN: <https://ssrn.com/abs\-tract=240608>
- J.-P. Bouchaud [2021b]: *De la physique statistique aux sciences sociales*, Leçon inaugurale, Collège de France.

- L. Brainard [2020]: *How to Explain How-Possibly*, **Philosophers' Imprint**, 20 (13), pp.1-23.
- R. Brandon [1990]: **Adaptation and Environment**, Princeton, NJ: Princeton University Press.
- E. Brian [2009]: **Comment tremble la main invisible. Incertitude et marchés**, Springer.
- E. Brian et C. Walter [2008]: *Crise de la prévision ou crise de la prévisibilité ?*, **La Tribune**, 21 octobre 2008.
- A. Charpentier [2017]: *L'éthique de la modélisation dans un monde où la normalité n'existe plus*, **Risques**, 112, pp. 117-121.
- M. Cuffaro [2015]: *How-Possibly Explanations in [Quantum] Computer Science*, **Philosophy of Science**, 82(5), pp. 737-748
- A. Dahan-Dalmedico [2007]: **Les modèles du futur. Changement climatique et scénarios économiques : enjeux scientifiques et politiques**, Paris, La découverte.
- P. Déléage [2023]: **Traité des mondes factices**, Paris, Puf.
- C. Demaria [2020], **Introduction to private equity**, John Wiley & Sons, 3ed.
- D. Desprins [2011], *La fermeture au probable de l'homme de la précaution*, **Psychiatrie** « Le principe de précaution : Diktat prédictif ou prévention ? », 155, pp. 61-88.
- F. Diebold, N. Doherty et R. Herring [2010]: **The Known, the Unknown, and the Unknowable in Financial Risk Management**, Princeton, Princeton University Press.
- W. Dray [1957]: **Laws and Explanation in History**, Westport, Conn.: Greenwood Press.
- W. Dray [1968]: *On explaining how-possibly*, **The Monist**, 52 (3), pp. 390-407.
- P. Embrechts, C. Klüppelberg et T. Mikosch [1997]: **Modelling Extremal Events for Insurance and Finance**, Berlin, Springer.
- F. Facchini [2007]: L'entrepreneur comme un homme prudent, **La Revue des Sciences de Gestion**, 226-227, pp. 29-38.
- E. Fama [1970]: *Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work*, **The Journal of Finance**, 25 (2), pp. 383-417.
- J. Fantino [2002]: *La pluralité des mondes. Entre science et théologie*, **Revue des Sciences Religieuses**, 76 (3), pp. 271-295.
- B. Fischer [2016]: *A Theory-based Epistemology of Modality*, **Canadian Journal of Philosophy**, 46 (2), pp. 228-247.
- Fontenelle [1686]: **Entretiens sur la pluralité des mondes**, édition critique et commentée par Christophe Martin, Flammarion, 1998.
- P. Forber [2010]: *Confirmation and Explaining How Possible*, **Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences**, 41(1), pp. 32-40.
- A. Fusari [2006]: The measure of 'non measurable': radical uncertainty indicators; quantitative specifications and applications, 28th CIRET Conference, Rome.



- S. Gardiner et D. Weisbach [2016]: **Debating Climate Ethics, Debating Ethics**, New York, Oxford Academic.
- X. Gabaix [2009]: *Power Laws in Economics and Finance*, **Annual Review of Economics**, 1, pp. 255-294.
- A. Gelfert [2019]: *Probing Possibilities: Toy Models, Minimal Models, and Exploratory Models*, in **Model-Based Reasoning in Science and Technology** [MBR18], F. Salguero-Lamillar, C. Bares-Gomez, M. Fontaine, Cham (dir.), Springer, pp. 3-19
- T. Grüne-Yanoff, [2013]: *Appraising Models Nonrepresentationally*, **Philosophy of Science**, 80 (5), pp. 850-861.
- R. Hébert et A. Link [2009]: **A History of Entrepreneurship**, Routledge.
- C. Hempel [1965]: **Aspects of Scientific Explanation, and Other Essays in the Philosophy of Science**, New York: Free Press.
- C. Hempel [1966]: **Philosophy of Natural Science**, Princeton university, Prentice Hall. Tr. fr. Bertrand Saint-Sernin, *Éléments d'épistémologie*, Armand Colin 1966, 2012.
- R. Ibragimov [2005]: *On the robustness of economic models to heavy-tailedness assumptions*, Document de travail, Yale University.
- J. Kay [2020]: Radical Uncertainty, The European Money and Finance Forum, SUERF Policy Briefs n°22, août, p. 4.
- J. Kay et M. King [2020]: **Radical Uncertainty: Decision Making For an Unknowable Future**, Bridge Street Press: London.
- R Kipling [1902]: **Juts so stories for little children**, New York: Double Day, Page and Co.
- F. Knight [1921]: **Risk, Uncertainty and Profit**, Boston and New York, Houghton Mifflin Company.
- O. Le Courtois et C. Walter [2012]: **Risques financiers extrêmes et allocation d'actifs**, Paris, Economica, coll. « AAA ».
- D. Lewis [1969]: **Convention. A Philosophical Study**, Harvard University Press, Cambridge, MA.
- D. Lewis [1986]: **De la pluralité des mondes**, traduit par Marjorie Caveribère et Jean-Pierre Cometti, Éditions de l'Éclat, 2007.
- D. MacKenzie [2006]: **An Engine, Not a Camera. How Financial Models Shape Markets**, The MIT Press.
- M. Massimi [2018]: *Perspectival Modeling*, **Philosophy of Science**, 85 (3), pp. 335-359.
- M. Mauboussin et D. Callaghan [2020], *Public to Private Equity in the United States: A Long-Term Look*, Morgan Stanley Investment Management.
- A. Palud [2020]: *Fictions du hasard : du jeu littéraire au jeu vidéo*, **Acta fabula**, 21 (8), Essais critiques.

- C. Pearson [2018]: *How-Possibly Explanation in Biology: Lessons from Wilhelm His's 'Simple Experiments' Models*, **Philosophy, Theory, and Practice in Biology**, 10 (4).
- J. Persson [2012]: *Three Conceptions of Explaining How Possibly? and One Reductive Account*, in W. Henk de Regt, S. Hartmann et S. Okasha [dir.], **EPSA Philosophy of Science: Amsterdam 2009**. The European Philosophy of Science Association Proceedings. Springer. 275-286.
- L. Phalippou [2009]: *The Hazards of Using IRR to Measure Performance: The Case of Private Equity*, SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1111796>
- E. Picavet [2013]: *Réflexions sur la normativité collective et l'héritage de l'approche parétienne*, **Revue européenne des sciences sociales**, 51 (2), pp. 149-171.
- P.-C. Pradier [2006]: **La notion de risque en économie**, La Découverte
- Revue de philosophie économique** [2014]: *Figures de l'entrepreneur*, 15 (1).
- R. Reiner [1993]: *Necessary Conditions and Explaining How-Possibly*, **Philosophical Quarterly**, 44 (170), pp. 58-69.
- J. Reiss [2012]: *The explanation paradox*, **Journal of Economic Methodology**, 19 (1), pp. 43-62.
- J. Reiss [2013]: *The explanation paradox redux*, **Journal of Economic Methodology**, 20 (3), pp. 280-329.
- D. Resnik [1991]: *How-Possibly Explanations in Biology*, **Acta Biotheoretica**, 39 (2), pp. 141-149.
- A. Reutlinger, D. Hangleiter et S. Hartmann [2018]: *Understanding [with] Toy Models*, **The British Journal for the Philosophy of Science**, 69 (4), pp. 1069-1099.
- H. Rodarie [2015]: **La pente despotique de l'économie mondiale**, Salvator.
- T. Schelling [1969]: *Models of Segregation*, **The American Economic Review**, 59 (2), pp. 488-493
- P. Steiner [1997]: *La théorie de l'entrepreneur chez Jean-Baptiste Say et la tradition Cantillon-Knight*, **L'Actualité économique**, 73 (4), pp. 611-627.
- E. Svetlova [2012]: *On the Performative Power of Financial Models*, **Economy and Society**, 41 (3), pp. 418-434.
- E. Svetlova [2021], *On the relevance of Knight, Keynes and Shackle for unawareness research*, **Cambridge Journal of Economics**, 45, pp. 989-1007.
- N. Taleb [2007]: **The Black Swan: The Impact of the Highly Improbable**, Random House.
- R. Thom [2009]: **Prédire n'est pas expliquer**, Flammarion.
- E. Vandendriessche [2018]: *Anthropologie des nombres et ethnomathématique*, **L'Homme**, 225, pp. 185-198

- F. Varenne [2013]: **Théorie, réalité, modèle. Épistémologie des théories et des modèles face au réalisme dans les sciences**, Éditions Matériologiques.
- H. Vérin [2011]: **Entrepreneurs, entreprise. Histoire d'une idée**, Paris, Classiques Garnier, coll. « Histoire des techniques ». Compte-rendu par Guillaume Arnould, site **Lectures**, 10 janvier 2012.
- M. Vorms [2009]: *Formats of Representation in Scientific Theorizing*, In Paul Humphreys et Cyrille Imbert [dir.], **Models, Simulations, and Representations**, Routledge.
- P. Verreault-Julien [2019]: *How Could Models Possibly Provide How-Possibly Explanations?*, **Studies in History and Philosophy of Science Part A**, 73(1), pp. 1-12.
- C. Walter [2013]: **Le modèle de marche au hasard en finance**, *Economica*, coll. « AAA »
- C. Walter [2015]: « *Si on faisait confiance aux entrepreneurs : l'entreprise française et la mondialisation*, Xavier Fontanet. Manitoba/Les Belles Lettres, 2010 », **Revue de philosophie économique**, 16 (1), pp. 135-145.
- C. Walter [2019]: *The Brownian motion in finance: an epistemological puzzle*, **Topoi**, 40, pp. 1-17.
- C. Walter [2023]: *L'introduction de la loi de Pareto dans la modélisation financière*, **L'année sociologique**, 73(1), pp. 113-150.
- M. Weisberg [2013]: **Simulation and Similarity: Using Models to Understand the World**, New York: Oxford University Press.
- G. West [2017]: **Scale. The Universal Laws of Growth, Innovation, Sustainability, and the Pace of Life in Organisms, Cities, Economies, and Companies**, New York, Penguin Press.
- S. Wit [2019]: **Les romans du hasard**, Presses universitaires de Rennes
- P. Ylikoski et E. Aydinonat [2014]: *Understanding with Theoretical Models*, **Journal of Economic Methodology**, 21(1), pp. 19-36.
- D. Zajdenweber [2000]: **L'économie des extrêmes**, Flammarion.