



HAL
open science

Pourquoi utilisons-nous des modèles faux ?

Pierre Francois, Sylvestre Frezal

► **To cite this version:**

Pierre Francois, Sylvestre Frezal. Pourquoi utilisons-nous des modèles faux ? : (Working Paper : PARI. Programme de recherche sur l'appréhension des risques et des incertitudes). 2016. hal-01521680

HAL Id: hal-01521680

<https://sciencespo.hal.science/hal-01521680>

Submitted on 5 Dec 2023

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.

Working paper



08

Pourquoi utilisons-nous des modèles « faux » ?

Pierre François, Sylvestre Frezal

Septembre 2016

PARI

PROGRAMME DE RECHERCHE
SUR L'APPRÉHENSION DES RISQUES
ET DES INCERTITUDES

Pourquoi utilisons-nous des modèles « faux » ?

Pierre François¹, Sylvestre Frezal²

Abstract :

Comment comprendre qu'au cœur des outils mathématiques utilisés quotidiennement par des acteurs financiers pour guider leurs décisions se trouve l'assimilation de deux situations – les situations d'aléa et d'hétérogénéité – que les outils statistiques permettent très inégalement de saisir ? Nous retraçons ici la façon dont l'amalgame aléa-hétérogénéité devient *a priori*, partagé et normatif, fonctionnant comme une institution déterminante, bien qu'implicite, des raisonnements financiers contemporains.

Pour rendre compte de la présence de cet amalgame, nous retraçons sa discussion et sa disqualification lors de l'émergence du concept de probabilité aux 17^{ème} et 18^{ème} siècles, sa réapparition via le rapprochement effectué par Quételet entre la mesure des erreurs et celle de la dispersion d'une variable, puis sa congélation à l'occasion de l'axiomatisation des propositions probabilistes durant les premières décennies du 20^{ème} siècle. Dans un second temps, nous expliquons comment, à partir de la seconde moitié du 20^{ème} siècle, il percole dans les pratiques et colonise le secteur de l'assurance au début du 21^{ème} siècle.

¹ pierre.francois@sciencespo.fr, Centre de sociologie des organisations, 84 rue de Grenelle, 75007 Paris, Directeur de recherche au CNRS (Sciences Po/CSO), Professeur à l'École Polytechnique, co-porteur de la chaire PARI.

² sylvestre.frezal@datastorm.fr, DataStorm, 60 rue Etienne Dolet, 92240 Malakoff, France; chercheur associé au LFA (Laboratoire de Finance Assurance, CREST-Excess), co-porteur de la chaire PARI. www.chaire-pari.fr.

1. Généalogie d'une assimilation

Aléa et hétérogénéité, l'amalgame tyrannique

Dans l'histoire – répétitive (Reinhart et Rogoff, 2010) – des crises financières, celle de 2008 se singularise en ce qu'elle a été quasi instantanément constituée en objet d'investigation par les sciences sociales et la science économique (Lounsbury et Hirsch, 2010). Si les explications qui en sont proposées sont encore à cette heure provisoires, une proposition – à bien des égards triviale – sur laquelle pourrait s'accorder la plupart de ses analystes soulignerait que cette crise traduit une forme d'incapacité des acteurs financiers à correctement gérer les risques auxquels ils sont confrontés. En mars 2008, alors le marché immobilier américain et le système financier mondial sont gravement affectés, mais que Lehmann Brothers n'a pas encore fait faillite – Alan Greenspan, ancien président de la Fed, déplorait dans un article du *Financial Times* cette incapacité à gérer correctement les risques. Après avoir proclamé dans le titre de son article que « *we will never have a perfect model of risk* », il tentait d'en proposer une explication : l'échec de nos modèles serait lié au fait que les calibrages qu'ils utilisent sont des calibrages *moyens*, alors qu'ils devraient être adaptés à la période du cycle dans laquelle on se situe. Pour résoudre cette difficulté, il faudrait donc pouvoir, d'une part, découpler les calibrages des modèles pour les adapter aux situations qu'ils tentent d'appréhender et, d'autre part, être en mesure de prévoir les passages des phases « d'euphorie » aux phases de « peur » : « *if we could adequately model each phase of the cycle separately and divine the signals that tell us when the shift in regimes is about to occur, risk management systems would be improved significantly* ». Ce diagnostic de Greenspan est-il pertinent ?

Ce qu'il appelle « *risk management* » n'est pas la mise en œuvre d'une capacité de résilience face à un aléa, mais la *prévision* de l'avenir. A ses yeux, nous saurons gérer correctement le risque lorsque nous serons capables de « deviner » l'arrivée d'un krach. Sa gestion du risque repose donc une négation de l'essence du risque, de son caractère aléatoire : Greenspan nous dit que si nous supprimons le risque, alors nous saurons le gérer. Cette position résulte d'une confusion entre la fonction sociale des institutions financières, qui est de « gérer les risques d'autrui » et l'une de leurs fonctions internes - la gestion de leurs propres risques. Ces deux fonctions sont de natures fondamentalement différentes. De fait, gérer les risques d'autrui consiste à les mutualiser : grâce à la loi des grands nombres, celui qui gère les risques d'autrui est confronté à un phénomène déterministe. A l'inverse, gérer ses propres risques consiste à faire face à un phénomène aléatoire.

Les institutions financières utilisent historiquement des statistiques pour caractériser l'hétérogénéité déterministe de leur portefeuille et lorsque Greenspan évoque des « modèles de risque » devant être adaptés à tel ou régime, il fait référence à des outils d'optimisation de la rentabilité : les améliorer permettra aux institutions financières d'être plus rentables au quotidien, mais ne leur permettra pas de mieux résister à un krach, tout comme améliorer le rendement d'une éolienne ne lui permettra de mieux résister à un ouragan. Greenspan, prenant finalement acte de l'impossibilité de prévoir l'ouragan, conclue son article sur l'importance de ne pas trop réguler : la confusion qu'il entretient entre gestion des risques *de* l'institution financière (aléa) et gestion des risques *d'autrui par* l'institution financière (vision agrégée, hétérogénéité déterministe du portefeuille d'affaires) conduit à plaquer, par mimétisme, les outils statistiques qui ont fait leurs preuves pour la gestion de la rentabilité sur les problématiques de gestion des risques et contribue d'une part à créer l'illusion

que les risques des institutions financières sont (plus ou moins bien) gérés et d'autre part à porter au fatalisme. Elle conduit ainsi, de fait, à une démission.

Dans l'argumentaire de Greenspan se joue une confusion très largement diffusée au sein de l'industrie financière, confusion où l'on peut voir l'une des racines cognitives de la crise qu'il entend analyser : celle qui assimile les situations d'*hétérogénéité*, source de rentabilité pour l'industrie financière et que les modèles « de risque » doivent optimiser, et les situations d'*aléa* auxquelles sont confrontées ces mêmes institutions, situations d'aléa dont la gestion devrait être le cœur du *risk management*. Témoin par exemple le désarroi de cet analyste quantitatif qui explique, en 2014 : « *Suite à 2008, il a fallu expliquer 2 milliards de pertes, c'est à dire trouver des modèles qui auraient permis de les éviter. On a testé plusieurs modèles plus complexes, de la vol sto... et en fait, ça ne marchait pas. On se rendait compte qu'on se serait fait exploser à chaque fois* ». Cet échec répété n'a rien de fortuit : il correspond à une situation où les organismes financiers cherchent à anticiper (rétrospectivement) un aléa (la bascule entre deux états) avec des outils dont l'enjeu est d'appréhender l'hétérogénéité (la rentabilité au sein d'un état). Ils prennent acte de leur échec, sans en comprendre l'inévitabilité et, dès lors, sans tenter de faire évoluer leurs schémas de pensée.

Nous avons expliqué ailleurs pourquoi cette tentative d'approcher les situations d'aléa avec des outils qui permettent d'appréhender les situations d'hétérogénéité conduit *nécessairement* à une impasse et en quoi cette impasse peut avoir des conséquences dramatiques (Frezal, 2015 a et b). L'objet de cet article est de tenter de comprendre pourquoi, en dépit de l'échec inéluctable auquel ces tentatives sont promises, les acteurs du monde financier persistent dans cette voie : pourquoi, en d'autres termes, appuient-ils leurs calculs et leurs décisions en traitant avec les mêmes outils (des indicateurs statistiques) les situations d'aléa et les situations d'hétérogénéité ? Avec la mise en œuvre de Solvency II, cet amalgame est désormais cristallisé juridiquement. Comment en est-on arrivé ainsi à faire graviter la gestion et la régulation prudentielle du secteur des assurances européen autour de cet amalgame et de ses différentes incarnations ?

Cette confusion peut en effet prendre différentes formes que nous allons préciser :

- 1) l'assimilation de situations aléa à des situations hétérogénéité (et l'utilisation subséquente de statistiques pour appréhender un phénomène aléatoire), qui est la condition de possibilité, l'assise théorique nécessaire mais souvent inconsciente, des deux autres,
- 2) la considération de l'espérance comme un estimateur du résultat, qui en est une conséquence directe et un symptôme,
- 3) l'indistinction entre probabilité-fréquence et probabilité-propension, autre manifestation de la première confusion.

Approcher les situations d'aléa à partir d'indicateurs statistiques revient, nous l'avons dit, à ne pas établir de distinction entre une situation d'aléa et une situation d'hétérogénéité, autrement dit à ne pas tenir compte de la position du décideur (un assuré qui signe *son* contrat d'assurance est en situation d'aléa, et l'assureur qui va en vendre des centaines de milliers est en situation d'hétérogénéité, déterministe). Une autre forme peut se comprendre à la fois comme une conséquence et une reformulation de cette absence de distinction, lorsque l'on interprète l'espérance d'un phénomène comme un estimateur de son résultat : si l'on s'apprête à lancer une fois (et une seule – on est donc en situation d'aléa) une pièce nous permettant de recevoir 1 si l'on obtient pile et -1 si l'on obtient face, nous ne pouvons pas considérer que 0 est un estimateur du

résultat que nous allons obtenir. Toutefois, si ce phénomène est amené à se répéter un grand nombre de fois, c'est-à-dire lorsqu'il est de nature hétérogénéité, l'espérance s'incarnera en une moyenne et cet indicateur correspondra au résultat qui sera effectivement obtenu. Ainsi interpréter l'espérance comme un estimateur de résultat semble fondé en situation hétérogénéité mais non en situation aléa. Cette indistinction entre aléa et hétérogénéité est enfin au principe de l'intuition fréquentiste d'une probabilité, qui la rend susceptible d'être objectivement mesurée : elle conduit à établir une équivalence entre probabilité mentale ou subjective (propension) et probabilité physique ou objective (fréquence).

L'objet de cet article consiste donc à comprendre ce qui fonde ces trois amalgames.

Généalogie d'une institution financière

Nous le rappelons plus haut : le rôle des modèles mathématiques dans le développement des activités financières contemporaines a été abondamment étudié, en particulier dans le cadre des *Social studies of finance* et, plus précisément, des travaux qui mobilisent l'hypothèse d'une *performativité* de ces modèles (McKenzie, 2006). Selon cette hypothèse, les activités financières tendent à se conformer aux hypothèses de la théorie économique car elles s'appuient sur des modèles mathématiques qui incorporent ces hypothèses. Comme le soulignent notamment McKenzie et Spears (2014a), les travaux qui s'inspirent de cette hypothèse s'intéressent davantage aux conséquences de la mise en œuvre des modèles qu'à leur processus de mise au point.

Comme MacKenzie et Spears (2014a), notre ambition est de rendre compte de l'adoption de certaines formes de raisonnement – en l'occurrence, l'assimilation des situations d'aléa et d'hétérogénéité – inscrites dans des modèles mathématiques et, partant, mises en œuvre dans les processus de décision. Nous pensons cependant que rendre compte de la genèse des modèles impose d'être attentif à leurs propriétés épistémologiques. Les modèles et les hypothèses implicites qui les fondent jouent en effet, dans la sphère financière, le rôle d'une *institution* : ils constituent des cadres *a priori*, normatifs et partagés (pour une mise en évidence du caractère institutionnel des modèles utilisés par les *traders* qu'étudie Stark (2009), voir François (2010)). Ils sont partagés, car l'ensemble des modèles mobilisés en mathématiques financières par l'ensemble des acteurs qui s'y réfèrent mettent en jeu ces assimilations. Ils sont *a priori*, car ils ne sont pas discutés : en dépit des critiques qui peuvent leur être adressées, personne ne les remet en cause – comme n'est pas remise en cause la croyance selon laquelle la danse du sorcier provoquera la pluie, même si après que le sorcier a dansé le soleil continue de briller, pour reprendre l'exemple célèbre d'Hubert et Mauss (1985). Ces principes, enfin, sont normatifs, au sens où les mesures qui en découlent orientent les décisions à prendre : ils précisent s'il faut, par exemple, investir ici plutôt que là. La question qui nous importe n'est donc pas seulement, comme le font McKenzie et Stearns (2014), de retracer l'histoire de certaines formes de raisonnement – en l'occurrence, l'assimilation de prime abord fort technique entre aléa et hétérogénéité, elle est surtout de comprendre comment ces formes de raisonnement en sont venues à acquérir ce caractère *institutionnel* : comment comprendre que certains cadres de pensée en viennent à s'imposer aux acteurs, qu'ils cadrent leurs décisions et leurs calculs et, en dépit parfois de leur fragilité conceptuelle ou des conséquences qu'ils peuvent entraîner, ne sont pas remis en cause ?

Pour soulever cette question, nous proposons de nous appuyer sur le cadre conceptuel présenté dans François (2011) (pour une mise en œuvre de ces propositions, voir notamment Dubois et François (2013), Chauvin (2011) ou Ollivier (2011)) : en nous inspirant de la seconde philosophie de Wittgenstein et de la compréhension qu'il y avance de ce que c'est que suivre une règle, nous suggérons qu'aucune proposition, aucune catégorie de pensée, aucun enchaînement causal ne peut par nature se prévaloir des propriétés d'une institution. Ainsi, avant d'être un nom qui impose sa puissance à tous les acteurs du monde viticole bordelais, Parker est le patronyme bien banal d'un avocat de Baltimore (Chauvin, 2011). Ce n'est donc pas en vertu de propriétés intrinsèques qu'une proposition ou une catégorie de pensée en viennent à s'affirmer comme des institutions – ce n'est pas en elles qu'il faut aller chercher ce qui fonde leur caractère institutionnel, mais dans les pratiques qui les mobilisent. Une institution, autrement dit, n'existe que pour autant – dès lors, et aussi longtemps – que des acteurs en usent comme telle : comprendre comment Parker s'impose comme une institution du vin bordelais, c'est comprendre comment l'ensemble des acteurs du monde du vin (producteurs, négociants, œnologues, consommateurs) en viennent *tous* (ou en tout cas nombreux : c'est le caractère *partagé* de l'institution) à utiliser ses notes pour guider leur choix (en matière d'achat, de culture de la vigne, d'élevage du vin, de fixation des prix : c'est le caractère *normatif* de l'institution), même et y compris si l'expérience vient démentir le bien-fondé de cette décision (si par exemple l'on goûte le vin et qu'on le trouve trop pâteux : c'est le caractère *a priori* de l'institution). Retracer la genèse d'une institution impose de reconstituer la généalogie de ses usages : pour comprendre comment naît une institution (il est légitime d'assimiler aléa et hétérogénéité pour modéliser des décisions dans l'incertain), il faut saisir comment des acteurs – nombreux et hétérogènes : mathématiciens, économistes, assureurs, régulateurs, etc. – en viennent à faire jouer un rôle normatif qui ne sera pas remis en cause à des propositions qui longtemps ne peuvent circuler qu'à titre d'hypothèse.

Adopter une telle perspective pour rendre compte de l'adoption de l'institution que constitue l'assimilation de l'aléa et de l'hétérogénéité impose d'élargir considérablement l'espace social et chronologique de l'investigation. L'assimilation des deux situations passe par l'exploration dynamique de deux scènes sociales où elle est susceptible d'être engagée : celle de ses usages théoriques, dans l'espace social où s'écrit et se développe la théorie des probabilités et les usages qui en sont faits en mathématiques financières et en économie (partie 2) ; celle de ses usages pratiques, dans les organisations et les marchés où sont utilisés les modèles qu'elle contribue à fonder (partie 3).

2. L'histoire longue d'une naturalisation

Les assimilations des différentes situations que nous listions plus haut (aléa et hétérogénéité ; estimateur de résultat et espérance ; probabilité objective et subjective) se sont d'abord jouées, chronologiquement, dans le temps de la production de la théorie des probabilités. Il faut donc, pour en rendre compte, reconstituer l'histoire de cette production en repérant les débats où ces distinctions ont commencé de se faire jour, et les moments où elles ont été réduites – et parfois finalement escamotées – pour que l'assimilation de ces situations soit routinisée dans les raisonnements. Cette histoire est rien moins que linéaire – elle peut au contraire se décrire comme une exploration tâtonnante d'impasses que l'on clôt avant, plus tard, de les rouvrir. Ce chaos est au

moins partiellement imputable à l'hétérogénéité des arènes où ce savoir est produit et mobilisé. La genèse de ces assimilations impose ainsi d'explorer trois scènes, à trois époques différentes qui se superposent partiellement. La première se construit autour de la modélisation du *jugement individuel*, entre le milieu du XVIIe et la fin du XVIIIe siècle. Elle va conduire à récuser explicitement l'assimilation des situations d'aléa et d'hétérogénéité. La seconde se structure autour de l'explication de *régularités collectives*, entre la fin du XVIIIe et le début du XXe siècle. Elle va réintroduire implicitement, et de manière centrale, cette assimilation. La troisième scène met en jeu la *mathématisation de la théorie des probabilités*, autour des entreprises de Borel et de Kolmogorov, dans la première moitié du XXe siècle. En axiomatisant l'état des savoirs lentement produits au cours des siècles précédents, elle va en institutionnaliser les principes, *i.e.* les rendre indiscutables.

Modéliser le jugement individuel

Comme le montre Coumet (1970), une partie des catégories de la théorie moderne des probabilités sont issues de débats juridiques : c'est en tentant de clarifier les termes de discussions juridiques fondamentales du XVIe et du XVIIe siècles que des philosophes et des mathématiciens vont progressivement mettre au point les notions fondatrices des probabilités modernes. L'un de ces débats porte sur les contrats aléatoires, étroitement liés à la question du jeu (par exemple chez Huygens, de Montmort, ou J. Bernouilli) et de l'usure. Les contrats aléatoires associent à un prix donné une perspective de paiement futur, contingente à la réalisation d'événements encore inconnus, comme dans le cas d'une rente viagère contingente à la durée de vie de la personne). L'enjeu, pour les juristes, est d'éviter que ces contrats ne donnent lieu à des tarifications usuraires : il faut pour cela pouvoir identifier un prix qui corresponde à une transaction équitable. La notion d'espérance émerge comme une notion juridique, pour caractériser le montant correspondant à une transaction équitable en retenant le principe d'un équilibre, en l'occurrence, « *entre le danger et ce qui est reçu* » (Noonancité par Daston 1988, p. 20). Profits et risques sont mis en regard en ce sens qu'ils doivent être proportionnés, sans que cela signifie proportionnel.

La notion de « prix raisonnable » va être progressivement précisée par des philosophes et des mathématiciens qui vont pour cela abandonner la sphère exclusive du droit pour investir un espace de référence plus large et plus flou, celui de la décision d'affaires (par exemple chez de Witt, Halley ou N. Bernouilli pour les rentes ou chez Wilkins, qui construit un parallèle entre le pari de Pascal et l'assurance maritime). L'enjeu est désormais de déterminer comment pense un homme considéré comme raisonnable, *i.e.* dégagé de la pollution de ses émotions, et de formaliser sa prise de décision. Une fois modélisé, son comportement permettra d'éclairer la masse de tous les autres hommes qui n'auront plus qu'à appliquer cette méthode pour prendre des décisions éclairées. Caractériser l'espérance consiste à formaliser les réflexions implicites des gens raisonnables, et le calcul du hasard devient ainsi, selon les termes qu'utilisera ensuite Laplace, du « bon sens réduit à un calcul ». Les jeux de hasard constituent des allégories de la prise de décision en incertain : ils offrent en effet des situations quasi-expérimentales permettant de modéliser aisément le comportement des individus qui y sont confrontés. Les modes de décision qui y sont modélisés sont ensuite transposés pour formaliser les décisions prises dans des situations pratiques.

Dans le cadre mathématique que l'on met ainsi au point, la proportionnalité entre le risque et le rendement visée par l'honnête homme glisse d'un caractère « proportionné » à un caractère « proportionnel », tout comme l'ambition d'être « raisonnable » se transforme en celle d'être « rationnel ». Mais en dépit des vertus qu'on lui prête, l'espérance reste très largement indéfinie. Sa caractérisation a quelque chose de circulaire : l'individu rationnel maximise l'espérance et l'espérance est ce qui est maximisé par un individu considéré comme raisonnable. De fait, la définition mathématique de l'espérance n'est alors pas totalement cristallisée. Ainsi, lors du débat entre Halley, Nicholas et Daniel Bernouilli, Buffon et d'Alembert sur le bien-fondé d'une vaccination de la population contre la variole, deux métriques sont nommées espérance et s'opposent : celle qui correspondrait à une moyenne, et celle qui correspondrait à une médiane. C'est après un jeu de tâtonnements progressifs – qui passe notamment par la définition d'une probabilité que Bayes, dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, définit encore comme le ratio de l'espérance sur l'*outcome* – que l'espérance mathématique telle que nous la connaissons actuellement et qui assimile l'espérance à une moyenne virtuelle s'impose finalement. Si c'est cette acception qui s'impose, c'est d'abord parce qu'en permettant d'équilibrer les deux facteurs que sont le risque et le gain, cette mise en balance accroît la force de conviction de ceux qui y ont recours par rapport à la seule prise en compte du risque ou du gain. Cette acception de l'espérance s'impose par ailleurs en raison de sa simplicité : Condorcet souligne ainsi dans un Mémoire à l'Académie des Sciences que, des différents candidats à l'espérance, celle qui correspond à la moyenne était la seule qui pût être exprimée « *par une formule simple, convenant à l'usage ordinaire* » (cité in Daston, 1988, p. 98).

A mesure toutefois que s'édifie cette construction théorique, des doutes de plus en plus sérieux en fragilisent les présupposés. Il apparaît en effet de plus en plus évident aux penseurs des Lumières que les individus raisonnables ne se comportent pas en maximisant l'espérance. La découverte du paradoxe de Saint-Pétersbourg suscite ainsi de profondes interrogations (Jorland, 1986). Dans ce paradoxe, un joueur achète un ticket de loterie puis tire autant de fois que nécessaire à pile ou face. S'il obtient pile, il gagne 1 et le jeu s'arrête ; s'il obtient face, il relance la pièce. S'il obtient pile, il gagne 2 et s'arrête ; s'il obtient face, il relance la pièce. S'il obtient pile, il gagne 4 et s'arrête ; s'il obtient face, il relance la pièce... Dans ce jeu, l'espérance de gain est infinie, et pourtant tous s'accordent à reconnaître que personne n'accepterait de miser une somme infinie (ou très élevée) pour avoir le droit d'y jouer. Les syllogismes qui fondaient la démarche consistant à utiliser les probabilités pour modéliser le comportement de l'homme raisonnable face au risque en sont ébranlés : s'il est prouvé que l'homme raisonnable ne se comporte pas conformément au modèle appuyé sur l'espérance mathématique, alors les résultats mathématiques doivent être adaptés pour correspondre au comportement de l'homme éclairé. Des solutions sont avancées, qui conduisent à amender le calcul initial, par exemple lorsque Bernouilli et Condorcet proposent de distordre les gains en introduisant dans l'espérance une fonction d'utilité ou lorsque d'Alembert et Buffon suggèrent de la fonder sur des probabilités subjectives. Mais à la fin du XVIII^e siècle, et en dépit de ces tentatives de sauver l'espérance, de plus en plus d'acteurs doutent qu'il soit possible de formaliser mathématiquement le comportement de l'homme raisonnable en incertain. Condorcet considère par exemple que *la notion d'espérance n'a pas de sens si l'on ne joue qu'une fois*, tandis que d'Alembert se montre plus radical, en disqualifiant la pertinence du recours à un critère mathématique : « Comment comparer [l]e risque présent à [un] avantage inconnu & éloigné ? C'est sur quoi l'Analyse des probabilités ne peut rien nous apprendre » (*Opuscules, Tomme II, pp33-34*).

Plus généralement, la Révolution et la période napoléonienne remettent en cause l'idée d'une rationalité universelle, et avec elle l'idée qu'il serait possible de modéliser des décisions de bon sens de telle sorte que des hommes éclairés puissent aider leurs contemporains à effectuer des choix raisonnables. Dès lors, les deux étapes qui permettaient d'associer la prise de décision en incertain à un calcul de probabilité sont remises en cause. La prise de décision en incertain, d'abord, n'est plus assimilable à un jeu de hasard : Bertrand, Secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, fait sien la formule de Stuart Mill pour dénoncer le « scandale des Mathématiques » (1889, *Calcul des probabilités*, p 327) et refuse d'assimiler une décision pratique à un tirage dans une urne. Le calcul d'une espérance, ensuite, n'est d'aucun secours pour décider de participer ou non à un jeu de hasard. Stuart Mill explique ainsi que « *The use of averages [...] is of extremely small value as ground of expectation in any one individual instance, unless the case be one of those in which the great majority of individual instances do not differ much from the average* » (cité par Daston, 1988, p. 373). Au milieu du XIXe siècle, le calcul du hasard qui, selon les termes de Laplace, avait pu être considéré comme du « bon sens réduit à un calcul » se voit disqualifié par les mathématiciens et les philosophes comme « une aberration de l'intellect » (Daston, 1988, p. 376). Dans notre vocabulaire, cette première séquence conduit à une conclusion claire : la notion d'espérance ne permet pas d'éclairer les décisions à prendre en situation d'aléa.

Rendre compte des régularités collectives

Parallèlement à ces développements sur les *décisions solipsistes*, d'autres arènes se saisissent de ces outils *pour rendre compte de régularités collectives* : les données qui, au XVIIIe siècle, commencent d'être rassemblées, permettent de mettre en évidence des régularités collectives, qu'il faut dès lors tenter d'expliquer. Pour clarifier la présentation, on distinguera sommairement deux sphères qui, de manière relativement indépendantes, se saisissent de ces questions : la sphère privée, autour en particulier des entreprises d'assurance, et la sphère publique, avec la mise en place des premières ressources de statistiques publiques.

Au XVIII^{ème} siècle, à Londres, l'assurance était considéré comme un jeu et les entreprises d'assurance disqualifiées comme des entreprises de pari (Daston, 1988, p. 164-165), tant du point de vue des souscripteurs – qui achetaient moins une protection qu'ils ne jouaient à la loterie lorsqu'ils souscrivaient une assurance vie par exemple (ou bien lorsqu'ils s'assuraient contre l'adultère ou le mensonge) – que du point de vue des compagnies elles-mêmes, qui ne s'appuyaient pas sur des statistiques pour tarifer leurs contrats. Au mieux, les compagnies les plus sérieuses s'appuyaient, à l'instar des compagnies italiennes d'assurance maritime du XV^{ème} siècle, sur des souscripteurs dont l'expérience et la connaissance du contexte permettaient de porter une appréciation qualitative sur la qualité du risque (l'expérience du capitaine, le niveau de piraterie en cours, la dangerosité du trajet, etc.), ou bien, comme les fournisseurs de rente hollandais du XVI^{ème} siècle, sur une visite médicale (individuelle) plutôt que sur une table de mortalité (collective). A l'opposé de cette dimension aléatoire, la théorie mathématique en cours de développement offre, avec la loi des grands nombres formulée par Bernouilli, un monde « simple, stable *et prévisible* » (Daston, 1988, p. 113). L'adoption progressive de ces outils renverse la conception du risque : on considérait auparavant que plus il y avait d'assurés ou plus l'horizon temporel était éloigné, plus il y avait d'incertitudes ; la conviction s'impose désormais que plus les assurés sont nombreux ou plus l'horizon temporel est profond, mieux s'applique la loi des grands

nombres, et plus les compensations permettent de réduire l'incertitude. Après un important travail normatif mené, notamment, par des pasteurs, l'assurance cesse d'être considérée comme un pari et les compagnies d'assurance, contraintes par le Parlement britannique de montrer qu'elles ont suffisamment de provisions pour éviter la faillite, commencent à utiliser des tables de mortalité pour en faire la démonstration.

Selon que l'on regarde des situations individuelles ou des régularités collectives, le destin des probabilités est comme inversé : au moment où elles sont disqualifiées pour rendre compte de la décision solipsiste en situation d'aléa, les praticiens s'en saisissent pour caractériser le caractère stable de l'hétérogénéité. Tout en arrivant à ce partage clair, la séquence que nous venons de décrire a aussi permis de définir certaines notions fondatrices de la théorie des probabilités – notamment en clarifiant la compréhension que l'on pouvait avoir de l'espérance, notion qui va alimenter une nouvelle étape conduisant à rendre poreuse la frontière entre les situations d'aléa et d'hétérogénéité.

Entre la fin du XVIIIe siècle et le début du XIXe siècle, parallèlement à ce qui se joue chez les compagnies d'assurance, des dispositifs de collectes de données publiques commencent d'être mis en place (Porter, 1986 ; Labbé, 2008 ; Patriarca, 1996 ; Desrosières, 2010 ; Anderson, 1988). Dans cet espace très largement en construction, Adolphe Quételet va jouer un rôle déterminant, en connectant les espaces où les données statistiques se rassemblent (il sera un infatigable apôtre de la généralisation de ces dispositifs et s'attachera à organiser leur dialogue - cf. Stigler, 1997) et ceux où la théorie des probabilités se définit. Au cours de cette mise en dialogue, Quételet va opérer un déplacement fondamental pour comprendre les assimilations dont nous retraçons la généalogie.

Après avoir convaincu l'administration du Royaume des Pays-Bas de la nécessité de construire un observatoire astronomique à Bruxelles, Quételet se rend à Paris au début des années 1820 afin de rencontrer des astronomes et mathématiciens français : Bouvard, Arago, Fourier, Laplace, Poisson. Il découvre à cette occasion l'usage du calcul des probabilités pour contrôler les erreurs de mesure en astronomie, et il développe alors l'analogie suivante (Armatte, 2010 ; Desrosières, 2008) :

(1) on sait qu'un astronome, lorsqu'il effectue une mesure, fait une erreur aléatoire. Si on répète l'opération, on peut appréhender la qualité de la mesure en observant la dispersion des résultats et dès lors se rapprocher de la « vraie valeur » en calculant une moyenne.

(2) de même, si on effectue de nombreuses mesures du tour de poitrine d'une statue, alors on observera une dispersion de même forme mathématique ; ces erreurs, statistiquement, se compensent et, en calculant la moyenne, on s'approchera de la « vraie valeur » du tour de poitrine de la statue : la moyenne des mesures est ici un estimateur de la grandeur qui l'intéresse.

(3) or, Quételet constate que si l'on mesure le tour de poitrine des soldats d'un régiment (il avait à sa disposition le journal médical d'un médecin d'Edimbourg), on observe la même forme de dispersion que pour les erreurs de mesures de la statue : le formalisme mathématique est identique pour décrire l'erreur d'estimation d'une grandeur donnée, et pour décrire la dispersion d'une caractéristique au sein d'une population d'individus. Selon l'expression consacrée, « tout se passe comme si » les caractéristiques physiques des individus réels se distribuaient autour de celle d'un « homme moyen », dont la moyenne des mesures serait un estimateur du tour de poitrine.

Dans cette opération, Quételet effectue un glissement conceptuel fondamental. L'enjeu, pour Quételet, est un enjeu de *prévision* : pour l'intendant, quelle quantité de tissus commander pour habiller l'ensemble du régiment ou, pour le soldat qui ne connaît pas sa taille, que répondre au tailleur qui lui demande de choisir celle de son uniforme.

En créant le concept d'« homme moyen », Quételet confère un nouveau sens à l'espérance : elle devient l'*estimateur* d'une grandeur tangible, le tour de poitrine de « l'homme moyen », tout comme le « vrai tour de poitrine de la statue » était l'espérance de la série de mesures. Quételet impose ainsi l'idée que, puisque l'espérance est utile à qui fait face à l'hétérogénéité d'une distribution (l'intendance qui souhaite savoir quelle longueur totale de drap commander pour équiper l'ensemble du régiment), alors elle a aussi un sens pour un individu placé en situation d'aléa (par exemple un soldat qui, sans connaître les tailles des uniformes, est désormais fondé à répondre aveuglément qu'il taille M).

La moyenne, conçue comme estimateur, ne doit pas seulement permettre de calculer la longueur totale du tissu à commander pour produire l'ensemble des uniformes (les petits compensant les grands), elle doit aussi donner les mensurations précises de l'uniforme qu'il faut tailler pour ce soldat, et non pour son voisin : subrepticement, s'impose donc le point de vue de l'hétérogénéité, du tailleur extérieur au soldat, pour caractériser l'unicité de chaque soldat, qui est lui placé en situation aléa.

La postérité de Quételet fut immense, bien que parfois implicite (Desrosières, 2008). Elle n'est certes pas allée sans une très importante discussion critique, qui a pu porter sur les implications métaphysiques de ses propositions (l'« homme moyen » n'est-il qu'une fiction rhétorique, ou faut-il lui reconnaître une forme de réalité – et en ce cas, laquelle ?), sur ses attendus épistémologiques (faut-il voir dans les régularités statistiques un jeu de causalités macro-sociales à l'œuvre, ou l'effet de micro-décisions individuelles ?), sur ses fondements mathématiques (qu'arrive-t-il lorsque l'on complexifie le modèle probabiliste qui sous-tend le raisonnement de Quételet, celui d'une urne de composition constante dans laquelle une boule est tirée puis remise en place un grand nombre de fois ?) ou sur ses implications morales et politiques (si le monde social est le résultat d'une « cause constante », alors quelle est la place du libre arbitre ?). Ces discussions, souvent très vives, laissent cependant intacte ce qui n'en est qu'une conséquence implicite : l'assimilation des situations d'aléa et d'hétérogénéité.

Congeler dans l'abstraction

A la fin du XIXe siècle l'assimilation des situations d'aléa et d'hétérogénéité est encore loin d'être une institution : les propositions de Quételet ne sont pas *partagées* par l'ensemble des acteurs (à cette époque encore bien peu nombreux) qui recourent aux probabilités, ses implications *normatives* sont encore très faibles, pour ne pas dire inexistantes et, surtout, ces propositions demeurent extrêmement fragiles – au même titre que la plupart des propositions avancées à cette époque en matière de théorie des probabilités. Ces propositions se sont en effet développées de manière éparpillées et instrumentales, pour aborder des questions touchant des champs de connaissance très largement disjoints : la théorie cinétique des gaz (Maxwell et Boltzmann), puis la « mécanique statistique » (Gibbs), les questions relatives à l'hérédité (Galton, Pearson, Fisher ou Student), ou

encore l'étude des phénomènes économiques et sociaux (Edgeworth, Bowley, Yule, Pareto ou Gini). « La » théorie des probabilités, au tournant du XIXe et du XXe siècle, n'existe pas – ou du moins elle n'existe pas comme une théorie *mathématique* intégrée : comme l'explique Doob (2003), « *mathematical probability was governed by nonmathematical ideas described in a special vocabulary, with words like "random variable" and "expectation," that were foreign to mathematics.* » (p. 554). La troisième scène où va se jouer la naturalisation des assimilations dont Quételet a implicitement posé le principe se joue précisément dans cette mathématisation des probabilités, *i.e.* dans ce processus qui s'étale sur plusieurs décennies, entre la fin du XIXe siècle et les années 1950, et qui voit l'ensemble des propositions probabilistes, avancées ici et là, être rassemblées dans un corpus axiomatisé.

Longtemps tenu dans un souverain mépris par les mathématiciens, les probabilités s'imposent à eux à la fin du XIXe siècle. Ce nouvel intérêt porté aux probabilités peut être vu comme la conséquence d'une prise de conscience : celle, qui se fait lentement jour, que les sciences ne relèvent plus uniquement de l'énoncé de relations certaines, mais de relations probables (Bustamante et *al.*, 2015). L'appel le plus solennel à la clarification est le fait de Hilbert qui fait de l'axiomatisation des branches de la physique où prévalent les mathématiques le sixième des vingt-trois problèmes qu'il place au cœur des mathématiques – et dans ce sixième problème, « *au premier rang figurent la théorie des probabilités et la mécanique* » (Hilbert, 1902). Les tentatives de formalisation des probabilités sont nombreuses au cours de trois ou quatre premières décennies du XXe siècle (pour une présentation de ces différentes tentatives, voir Shafer et Vovk, 2003, p. 29-39). Beaucoup s'appuient sur les concepts développés par la théorie de la mesure développée, notamment, par Emile Borel qui jette ainsi les bases d'une formalisation des probabilités rendant possible, aux yeux des mathématiciens eux-mêmes, leur inclusion au sein d'un corpus mathématique (Mazliak et Sage, 2014 ; Durand et Mazliak, 2011). La publication du *Traité des probabilités* se déroule parallèlement à l'énoncé de propositions qui vont fondamentalement renouveler la théorie des probabilités, en particulier en France (avec les travaux de René Fréchet ou de Paul Lévy) ou en Union Soviétique (avec ceux de Slutsky, de Kolmogorov et de Kichin). C'est à l'issue de cet investissement collectif que Kolmogorov propose en 1933 une axiomatisation, synthèse des travaux précédents, qui, progressivement, s'imposera comme celle qui fera référence (Shafer et Vovk, 2003).

Cette axiomatisation va avoir des conséquences décisives pour notre propos. L'abstraction du langage qui la formule, tout d'abord, soustrait à la discussion certains des principes qui y sont implicitement inclus : désormais formulée dans une langue abstraite qui en assure la rigueur formelle et la transposabilité, la théorie des probabilités s'appuie sur des fondements qui n'ont plus vocation à être discutés. Non que ceux qui la formulent, Borel et Kolmogorov notamment, excluent toute discussion sur la philosophie des probabilités – même s'ils y sont l'un et l'autre fort peu enclins *a priori*. Le fascicule conclusif du *Traité* de Borel s'affronte ainsi à certaines des questions que soulèvent les assimilations dont nous avons retracé la genèse. Mais c'est soit pour signaler que l'entreprise d'axiomatisation les laisse intacte (l'axiomatisation, avance-t-il, n'est satisfaisante que d'un point de vue logique, elle « effac[e] et repouss[e] le problème de l'interprétation des résultats » (Bustamante et *al.*, 2015, p. 116)), soit pour évoquer la notion de probabilité d'un cas isolé en suggérant d'objectiver la probabilité subjective qui l'appréhende. Par ailleurs, cette philosophie peut, chez l'un ou chez l'autre, renvoyer à des principes assez différents : la notion de probabilité subjective fait sens chez Borel (Bustamante et *al.*, 2015, p. 116) alors que Kolmogorov défend une définition objectiviste et fréquentiste des probabilités – qui le porte à énoncer explicitement qu'à tous les événements ne peuvent être associées des probabilités.

Ces *caveats* d'importance seront cependant escamotés par ceux qui s'appuieront sur cette axiomatisation pour développer leur propre raisonnement : le potentiel mathématique en germe dans cette nouvelle formalisation fait aisément oublier aux mathématiciens les limites éventuelles que son application pourrait rencontrer. Alors que Borel ou Kolmogorov n'étaient déjà pas très portés à expliciter les attendus philosophiques de leurs propositions, leurs collègues ou leurs successeurs vont se détourner de ces questions plus délibérément encore : dans un débat avec Von Mises, en 1941, Doob explique son rejet de toute explicitation philosophique, en soutenant que le sens d'une proposition engageant des probabilités doit être laissé à ceux qui en font usage dans le monde réel, et non à ceux qui en précisent la langue mathématique. La division du travail, au sein du monde intellectuel, est telle que la vigilance que les mathématiciens abandonnent à d'autres n'est en fait prise en charge par personne. La philosophie des probabilités, qui a connu un dynamisme très puissant en Autriche et en Allemagne dans la première moitié du XXe siècle, s'est en effet très largement autonomisée des développements mathématiques les plus pointus : les propositions avancées par Kolmogorov ne reçurent par exemple qu'une attention très limitée dans le séminaire de Menger, le satellite mathématique du Cercle de Vienne (Hacohen, 2000). Dans ces conditions, ignorées ou assumées, les assimilations que la théorie des probabilités antérieure à l'entreprise de formalisation a progressivement mises en place ne sont plus remises en cause, et elles deviennent des propositions *a priori* : elles sont au contraire inscrites au cœur d'une entreprise de formalisation qui contribue à les rendre impensables.

Désormais protégées de toute remise en cause, ces assimilations vont être également *partagées* beaucoup plus largement. La formalisation proposée par Kolmogorov fut en effet au principe d'un usage démultiplié des probabilités, car elle fut très rapidement transmise et vulgarisée et routinisée dans les manuels de langue anglaise (Cramer en 1937 et 1946, Loève en 1955, et les traductions de Kolmogorov en 1950 et Gnedenko en 1962 – voir Van Plato, 1994). Cette vulgarisation des axiomes de Kolmogorov va jouer un rôle décisif dans le développement des mathématiques financières (Jovanovic, 2012). C'est en effet à cette époque que des économistes, pour certains (comme Markowitz) engagés dans l'étude des marchés financiers en mobilisant les outils de l'économétrie (Dimand, 2009) s'appuyèrent sur ce corpus désormais accessible pour donner à leur approche un tour beaucoup plus théorique. Ils mobilisèrent alors des outils mathématiques permettant d'approcher les propriétés des variables aléatoires et des raisonnements en incertitude pour élaborer les premières propositions de la théorie financière, comme par exemple dans la théorie des choix de portefeuille de Markowitz ou de Roy. En s'appuyant sur le travail de formalisation proposé par les mathématiciens de la première moitié du XXe siècle, les théoriciens des mathématiques financières importaient également les assimilations qui s'y étaient glissées et qui y avaient été consolidées dans une abstraction inédite.

La théorie des probabilités est à ce point décisive dans la construction de la théorie financière que, si l'on suit McKenzie (2006, p. 140-141), la théorie financière a pu sembler dans le premier temps de son histoire échapper entièrement à l'économie pour n'être qu'une application à la sphère financière de la théorie des probabilités. D'abord très autonome de l'économie, les mathématiques financières vont en devenir une branche importante à partir de la fin des années 1960. Toutefois, en s'intégrant à la science économique, les mathématiques financières vont conserver les cadres de pensée qui les fondent depuis les années 1950. Ainsi, même si la mise en critique normative (Allais, 1953 ; Gilboa, 2009) ou descriptive (Kahneman et Tversky, 1979) de l'axiomatique de von Neumann – Morgenstern et Savage remet explicitement en cause certaines des assimilations dont

nous venons de retracer la genèse, cette critique laisse intacte les mathématiques financières – comme d’ailleurs toutes les autres branches de la science économique, qui continuent de raisonner sous l’hypothèse que l’agent économique décide en incertain conformément aux hypothèses de l’*expected utility theory*. ces critiques sont restées confinées au champ de la théorie de la décision et de l’économie comportementale, sans alimenter les autres pans de l’économie et la finance - comme l’expliquent Gollier et al (2013), « *expected Utility Theory [...] remains the most widely used theory under risk and uncertainty. This is especially true outside the field of pure decision theory, for instance in public economics, macroeconomics, game theory and information economics.* ».

3. La colonisation de l’assurance

Avec la vulgarisation de l’axiomatique de Kolmogorov, les usagers des probabilités disposent d’un outillage clé en main au sein duquel se trouve, retiré dans l’espace de l’*a priori*, l’amalgame de l’aléa et de l’hétérogénéité. Entre les années 1950 et le début des années 1970, les propositions séminales des mathématiques financières commencent ainsi d’être avancées – et certaines d’entre elles, comme la théorie du portefeuille ou, plus tard, la formule de Black et Scholes, font jouer à cet amalgame un rôle déterminant. Il y a loin, cependant, de la formulation d’une théorie à sa déclinaison dans la pratique des acteurs financiers. Plus précisément, l’usage des mathématiques financières est très inégalement répandu selon les segments de l’industrie financière : lente à pénétrer les activités de marchés (McKenzie et Millo, 2003), elles s’y imposent cependant plus précocement que dans la banque (Baud et Chiapello, 2015) avant d’être incorporées, plus tardivement encore, au sein du secteur assurantiel. Pour l’institutionnalisation d’un raisonnement, cette pénétration au cœur des pratiques est une étape décisive : c’est ainsi que l’amalgame aléa/hétérogénéité acquiert son caractère véritablement *partagé*, et surtout une dimension *normative*. C’est à cette pénétration des mathématiques financières au sein du secteur assurantiel, et plus précisément de l’amalgame qui se trouvent en leur cœur, que nous allons maintenant retracer.

L’ère des fusions

Les grands groupes d’assurance européens que nous connaissons aujourd’hui ont été constitués au cours de la seconde moitié des années 1990 par agrégation de nombreuses structures plus petites et jusqu’alors éparses, parfois issues, en France, de sociétés nationales récemment privatisées. Pour ne citer que les opérations les plus importantes, on verra notamment se succéder en 1995 le rachat de La France puis sa fusion en 1996 avec La Concorde, constituant un ensemble qui servira de socle au futur groupe Generali France ; en 1996, le rachat de l’UAP par Axa ; en 1997, un an après la privatisation des AGF, sa fusion avec Athéna puis leur acquisition majoritaire par Allianz en 1998 ; en 1998 également, le rachat du Gan par Groupama, etc. Ces opérations de fusion-acquisition nécessitent d’apprécier la valeur des cibles dont le rachat est envisagé et s’accompagnent donc de l’appropriation des outils de finance d’entreprise par les directions financières des groupes d’assurance.

Parallèlement, les holdings de ces groupes d’assurance doivent dialoguer avec les analystes financiers. Dans ce cadre, les directeurs financiers des principaux groupes européens, réunis au sein

du CFO Forum, élaborent des principes communs de communication financière afin de normaliser les méthodes d'évaluation des portefeuilles d'assurance (et donc de valorisation des entreprises), principes dont l'objectif est d'offrir aux analystes financiers un outil de comparaison d'entreprises implantées sur des marchés différents et dont les contrats sont hétérogènes. Ils vont donc pour cela utiliser les outils de valorisation de portefeuilles qu'ils se sont appropriés. Ainsi est publiée l'*European Embedded Value* (EEV, CFO Forum, 2004), jeu de conventions permettant de standardiser l'actualisation des *cashflows* futurs et, dès lors, d'estimer la valeur d'un portefeuille d'assurance vie (épargne, retraite ou prévoyance). Ces outils, qui rendent possible l'évaluation des entreprises par des analystes extérieurs, sont placés au cœur de la communication des entreprises et sont progressivement intégrés dans les outils de pilotage des entreprises elles-mêmes (par exemple lorsque les décisions de lancement d'un produit reposent largement sur la *New Business Value*, c'est-à-dire l'*embedded value* créée par les affaires nouvelles, et la *New Business Margin*, son montant rapporté au volume d'affaires nouvelles, associée plutôt que sur les anciens concepts de profit et de rendement).

Rapidement, toutefois, ces outils semblent trop frustes à leurs promoteurs, en ce qu'ils prennent mal en compte les spécificités de l'industrie assurantielle. Ils se contentent ainsi de projeter les perspectives de *cash flows* futurs dans un scénario d'évolution des marchés financiers central. Or les contrats d'assurance vie offrent un profil de *cash flows* dissymétrique (lorsque les marchés financiers sont favorables, les profits sont partagés entre assureur et assurés mais lorsqu'ils évoluent de façon défavorable, les pertes sont à la charge des assureurs, cf. Frezal, 2016) qui les apparentent, sous ce jour, à des options financières. Ils recèlent par ailleurs des options implicites, par exemple en offrant la capacité à l'assuré de récupérer son épargne ou de la laisser chez l'assureur, ce dernier ne pouvant que subir le choix de l'assuré. La simple valorisation des contrats en scénario central réalisée dans le calcul de l'EEV ne capte pas ces non-linéarités et peut conduire à valoriser deux contrats à un niveau comparable alors que leurs comportements, en cas de scénario financier adverse, seraient très différents – par exemple parce que les seuils de déclenchement des options ne sont pas identiques. Il est donc apparu nécessaire de valoriser le coût de ces options pour l'assureur. Or les actuaires alors en charge des calculs d'EEV ont été au contact, en particulier durant leur formation, des outils de *pricing* des options financières (*puts*, *calls*, etc.) développés par la finance de marché et ils ont déjà commencé à tenter de les appliquer à l'assurance (voir par exemple le mémoire d'actuariat de Merlus et Pecqueux, 2000). Ils vont donc très facilement importer ces outils et développer des modèles de valorisation stochastique des garanties, options explicites ou implicites incorporées dans les contrats d'assurance vie.

Ceci conduit à complexifier l'EEV pour lui substituer la *Market Consistent Embedded Value* (MCEV, CFO Forum, 2008), qui entérine pour le secteur des assurances cette fusion des outils de finance d'entreprise avec les technologies de finance de marché. Désormais, les coûts d'option sont valorisés et les valeurs des portefeuilles d'assurance reposent sur une espérance. Les statistiques comme outil d'appréhension, de synthèse et de gestion des aléas financiers sont désormais placées au cœur du pilotage des compagnies d'assurance vie, alimentant les décisions de mesure de la rentabilité, de lancement de produit ou de choix d'allocation stratégique d'actifs.

La cristallisation réglementaire

L'un des principaux véhicules de la généralisation des modèles financiers dans le secteur assurantiel est sans nul doute le changement spectaculaire de réglementation prudentielle intervenu à la fin des années 1990. Le cadre prudentiel qui prévaut jusque-là est le fruit d'une lente élaboration qui court de la fin des années 1940 à la fin des années 1990, et durant ces cinq décennies la conception qui sous-tend les dispositifs de gestion prudentielle varie assez peu : il s'agit à chaque fois de dégager un ou plusieurs ratios appelés à fonctionner comme un signal d'alarme. Ces ratios doivent être aisément compréhensibles par l'ensemble des acteurs du marché – y compris par les consommateurs des services d'assurance – et ils doivent aussi être adaptables aux diverses situations nationales.

Or, la bascule entre *Solvency I* et *Solvency II*, marque le passage d'un monde où la réglementation distinguait *de facto* les situations d'aléa des situations d'hétérogénéité à un système où les deux types de situations sont assimilés. D'un point de vue quantitatif, l'appréciation de la solvabilité et des capacités de résistance d'une entreprise d'assurance reposent sur deux piliers : d'abord, l'évaluation du bilan, qui permet d'apprécier le montant de ses passifs (ses engagements), de ses actifs (ses investissements), et de les mettre en regard pour s'assurer que ses fonds propres (sa richesse nette) sont positifs ; ensuite, la fixation des exigences de capital, c'est-à-dire d'un matelas de sécurité suffisamment épais pour absorber les chocs imprévus, seuil en dessous duquel ses fonds propres ne doivent normalement pas descendre. Ces deux piliers ont été profondément refondus par Solvabilité 2, et le nouveau système place en son cœur les différentes déclinaisons de l'amalgame aléa/hétérogénéité.

Au niveau de l'évaluation des actifs, des passifs et des fonds propres tout d'abord. Dans l'ancien système, les fonds propres correspondaient au niveau de richesse accumulée jusqu'à la date d'inventaire, ils prennent désormais en compte, dans Solvabilité 2, les perspectives de profits futurs sur plusieurs décennies, profits futurs qui sont contingents à l'évolution des marchés financiers. La façon de les valoriser consiste à retenir leur espérance, en simulant par exemple mille scénarii financiers aléatoires et en estimant pour chacun d'entre eux les profits futurs actualisés, puis en calculant la moyenne. Ainsi, contrairement à l'ancien système qui gérait la contingence avec prudence (voir Frezal 2016 pour une description de la façon dont cette prudence est mise en œuvre en retenant « le pire » cas possible pour chaque maille d'estimation), on se fonde ici sur une statistique synthétique pour évaluer les fonds propres disponibles. *L'espérance est devenue l'estimateur de ce qu'on va encaisser/décaisser et s'assimile désormais à la richesse actuelle de l'entreprise (avatar 2)*. Cette démarche assimile deux positions : celle de l'actionnaire qui diversifie ses placements dans un grand nombre d'entreprises et qui est placé, dès lors, en situation d'hétérogénéité ; et celle du dirigeant qui tente d'évaluer la capacité de résistance de l'entreprise qu'il dirige, et qui est en situation d'aléa puisque son entreprise sera confrontée à un unique scénario financier.

Les amalgames que nous décrivons se retrouvent également dans l'évaluation de l'exigence de capital. Dans l'ancien système, le montant minimal des fonds propres était un montant forfaitaire qui traduisait grossièrement la hiérarchie qualitative des risques. Avec Solvabilité 2, il correspond à une mesure de risque précise, telle que les fonds propres doivent rester positifs à horizon un an avec probabilité 99,5% (VaR à 1 an à 99,5%). Une telle règle correspond initialement au point de vue du régulateur, qui fait face aux centaines d'entreprises de son marché et qui est donc en situation d'hétérogénéité. Pour lui, cette mesure de risque signifie que « *cette année, statistiquement, une entreprise sur 200 va faire faillite* ». Cette interprétation fait sens opérationnellement, puisqu'elle permet, face à

un cas de faillite par construction isolé, de transférer le portefeuille d'assurés vers un autre acteur du marché et de préserver ainsi leurs intérêts. *Mais avec Solvabilité 2, cette vision hétérogénéité s'impose à chaque entreprise qui, elle, est individuellement en situation aléa* : il est donné l'opportunité à chaque entreprise de développer sa propre estimation de sa mesure de risque (en développant un *modèle interne* plutôt qu'en appliquant la *formule standard*). Or celle-ci, placée en en situation d'aléa, est contrainte pour calibrer son modèle de se ramener à une population de référence où on pourrait observer une hétérogénéité. Elle doit donc interpréter la mesure de risque de la façon suivante : « *statistiquement, je vais faire faillite une année sur 200* ». Ainsi, la population de référence n'est plus celle de 200 entreprises parmi lesquelles on observerait une faillite cette année, mais celle de 200 années parmi lesquelles on observerait une fois la faillite de cette entreprise. Et, comme le notent Planchet et Leroy (2010), ces deux définitions appellent des calibrages différents, l'un captant le risque systémique et l'autre le risque idiosyncratique. Ainsi, la mesure de risque réglementaire qui semblait mathématiquement définie ne l'est pas : *en assimilant implicitement aléa et hétérogénéité, la réglementation fixe en son cœur une grandeur qui n'est ni interprétable ni calibrable de façon univoque (avatar 1)*.

Les calibrages, enfin, sont réputés objectiver la mesure du risque par une quantification statistique « scientifique » et « objective », mais ils reposent *in fine* largement sur la perception des modélisateurs. Ainsi, un modélisateur explique son questionnement sur le calibrage qu'il a retenu dans son modèle interne pour le quantile à 1/200 : « *l'épisode de 2008 a été très violent mais est-ce le pire qu'on puisse imaginer [dans l'absolu] ?* ». Le modélisateur ne vit pas plusieurs siècles, il ne s'appuie que sur une quinzaine d'années d'histoire d'expérience et peut donc difficilement mesurer le pire cas sur 200. Dans une telle situation aléa, la quantification du quantile se transforme inévitablement en opinion. *Ce qui est présenté comme une probabilité-fréquence (un calibrage quantitatif, fondé objectivement) tant par les régulateurs pour la formule standard, que par les modélisateurs des entreprises pour les modèles internes ne peut être en réalité qu'une probabilité-propension (« est-ce que je crois, qualitativement, au caractère rarissime de l'événement ? ») (avatar 3)*.

Nous explorons en détail, ailleurs, l'enchaînement de causes qui fonde l'abandon de l'ancien système et l'adoption du nouveau (François, 2015). Depuis la fin des années 1950 se font jour, lentement et progressivement, des mutations majeures dans l'appréhension des catégories financières et comptables : le développement de la théorie financière dont nous parlons plus haut, la remise à plat des normes comptables avec l'adoption des normes IFRS et, plus fondamentalement, de la comptabilité dite en *fair value* (Chiapello, 2005), la redéfinition des normes prudentielles bancaires dans le cadre de Bâle II et III (Underhill et Zhang, 2008) introduisent des déplacements majeurs dans leurs champs respectifs. Dans un premier temps, ces mutations sont assez indépendantes les unes des autres : elles se déploient dans des arènes essentiellement disjointes, les acteurs qui y interviennent sont eux aussi très différents, les enjeux qu'elles recouvrent n'ont que très peu à voir entre eux (enjeux avant tout académiques dans le développement de la théorie financière, enjeux notamment corporatistes pour la définition des normes comptables, enjeux enfin industriels pour la régulation bancaire). Au cours des années 1990, cependant, ces trois mutations convergent et font système : les hypothèses et les modèles de la théorie financière occupent ainsi une position centrale dans les nouvelles normes comptables et bancaires.

De tout ce processus, le secteur assurantiel est assez largement absent. La théorie financière se définit avant tout en référence aux activités de marché, de même que c'est en s'appuyant sur les régulateurs des grandes bourses mondiales que l'IASC parvient à imposer ses normes comme les

nouvelles références. Progressivement, cependant, ces cadres cognitifs vont étendre leur emprise aux questions assurantielles, de manière cependant très inégale. Ainsi, par exemple, de l'usage des modèles internes qui se rencontre ponctuellement à la fin des années 1990, avant tout dans certains pays (en Finlande notamment) et pour quelques très gros acteurs, en particulier ceux qui sont engagés dans les processus de fusion acquisition, comme nous l'avons vu plus haut. De la même manière, certains régulateurs ont, à la fin des années 1990, commencé de mobiliser certains de ces nouveaux cadres cognitifs et normatifs. L'adoption précoce de ces nouveaux principes se rencontre en particulier chez des pays qui ont eu à connaître des faillites spectaculaires, et ont dès lors entrepris de longue date une réflexion continue sur leur cadre prudentiel.

A la fin des années 1990, l'entité assurance de la Commission se voit ainsi progressivement entourée par des industriels ou des régulateurs qui adoptent des principes qu'elle a jusqu'ici choisis de laisser prudemment sur ses marges. Or, cette entité, de taille très restreinte (elle rassemble une dizaine de personnes), jouit d'une relative autonomie. Entre 1997 et 1999, sa composition est partiellement renouvelée, avec en particulier l'arrivée d'un nouveau chef d'unité étranger à un secteur traditionnellement très autonome, tandis que certains dossiers particulièrement épineux, comme la directive sur les conglomérats financiers, viennent de trouver une forme de conclusion, laissant la place à de nouveaux enjeux. S'impose alors à l'entité assurance la nécessité d'une mise en cohérence : les règles comptables étant profondément redéfinies et obéissant désormais aux principes de la *fair value*, les membres de l'entité assurance voient comme une forme de logique à ce que les règles prudentielles soient elles aussi davantage « économiques ». C'est aussi le cas des règles bancaires : si l'on veut pouvoir contrôler des conglomérats financiers, *i.e.* des organisations qui proposent simultanément des services bancaires et des services d'assurance, il devient nécessaire de construire une régulation point trop éloignée, ou au moins compatible, avec celle retenue pour les banques.

Le revirement de la Commission, à la fin des années 1990, constitue une étape déterminante dans le transfert des outils issus des mathématiques financières au secteur assurantiel. Les principes qui seront finalement retenus par Solvency II vont en effet s'imposer à l'ensemble des acteurs du secteur assurantiel. Les plus gros acteurs du secteur avaient, indépendamment de la réforme, commencé d'adopter certains des principes qui la fondent, et tout particulièrement l'usage de modèles pour piloter leurs risques. Mais dans un secteur où les tous petits acteurs sont légions (fin 2007, après une décennie de consolidation du secteur, on dénombrait encore plus de 1 500 organismes d'assurance en France (ACPR, 2008, p. 6)), la généralisation de ces outils passe avant tout par la mise en place de nouvelles règles que les entreprises ne peuvent refuser d'appliquer. Sans doute ces nouvelles règles ont-elles fait l'objet de discussions, très longues et souvent très vives, mais *in fine* les principes fondamentaux de cette réforme demeurent, et notamment l'imposition qu'elle fait à tous les acteurs, même les plus modestes, de s'appuyer sur des modèles financiers.

Les vertus pratiques

Les impératifs de la communication financière dans un contexte de fusions-acquisitions et, surtout, les nouvelles contraintes prudentielles, sont largement au principe de la pénétration des mathématiques financières et, partant, des amalgames qui y sont logés, au sein des compagnies

d'assurance. Une fois placés au cœur de cette activité, ces modèles offrent à ceux qui peuvent s'y référer des avantages fonctionnels qui contribuent eux aussi à expliquer leur emprise. Dans le cadre des activités bancaires, si l'on suit McKenzie et Spears (2014b), ce n'est pas parce que les acteurs qui les utilisent sont dupes de leurs limites intrinsèques qu'ils s'y réfèrent, mais parce que le rôle des modèles dans la coordination inter- et intra-organisationnelle est à ce point décisive que s'en passer serait excessivement coûteux : les modèles qu'étudient McKenzie et Spears jouent un rôle déterminant dans la politique de communication des entreprises, la gestion de leurs risques et, surtout, la fixation des bonus de ceux qui sont, par ailleurs, prompts à souligner leurs limites. Le même type de mécanisme se retrouve dans le secteur assurantiel : en dépit des limites intrinsèques des modèles ou des risques dont leur usage est porteur, ils rendent des services que les acteurs jugent supérieurs aux difficultés qu'ils soulèvent.

Nous souhaiterions ici nous concentrer sur les vertus qu'offrent ces modèles pour *justifier* les pratiques de ceux qui s'y réfèrent. Les espaces organisationnels sont en effet des espaces hautement conflictuels où s'affrontent des rationalités contrastées (Friedland et Alford, 1991 ; Thornton et Ocasio, 2008). Si certaines s'imposent c'est, certes, que les acteurs qui en sont les porteurs parviennent à s'appuyer sur un portefeuille de ressources qui leur permettent de triompher, temporairement au moins, de leurs opposants – mais parmi ces ressources, les formes d'argumentation et de justification peuvent constituer des atouts déterminants (Boltanski et Thévenot, 1991 ; Chateaufreynaud, 1991). De ce point de vue, les modèles de mathématiques financières, en particulier en ce qu'ils disent approcher statistiquement des situations aléatoires, constituent des ressources d'une importance déterminante au sein des compagnies d'assurance contemporaines.

L'amalgame entre aléa et hétérogénéité subsume l'appréhension d'une alternative en un chiffre. L'indicateur statistique substitue ainsi à la contingence un résultat : l'immense vertu de ces outils est de rendre les situations commensurables et, en autorisant le calcul, de permettre de conclure. Cette supériorité rhétorique du chiffre est une vertu associée de longue date à la comensuration statistique lorsqu'on l'engage dans des disputes (voir les exemples cités par Espeland et Stevens, 2008, p. 416-422). Leibniz expliquait ainsi « *If someone would doubt my results, I should say to him « Let us calculate Sir » : and thus by taking to pen and ink, we should soon settle the question* » (Leibniz, 1677). On retrouve le même argument, matiné d'un *caveat* d'importance, au cœur des raisons qui conduisent les économistes à fonder leur raisonnement en incertain sur la maximisation d'une espérance. Ainsi, comme le souligne Mc Goun (1995), Arrow (1951, p 417) expliquait que « *Knight appears to be worried about the seemingly mechanical nature of the probability calculus and its consequent failure to reflect the tentative, creative nature of the human mind in the face of the unknown. In a fundamental sense, this is probably correct, though it seems to lead only to the conclusion that no theory can be formulated for this case, at least not to the type of theory of choice discussed here* ». De Leibniz à Arrow, on passe de la foi en la possibilité d'un calcul (« *Let us calculate sir* ») à la *realpolitik* du résultat : l'important n'est plus la pertinence du raisonnement, mais la capacité à obtenir une conclusion. L'utilité l'emporte sur la pertinence : les chiffres, même faux, sont nécessaires, car on ne saurait quoi utiliser pour mener l'analyse si l'on ne s'appuyait sur eux.

Les acteurs financiers justifient dans les mêmes termes l'usage des outils statistiques pour décider en aléa : ne pas disposer de chiffres les laisserait profondément démunis, et l'utilisation des modèles statistiques pour appréhender des situations d'aléa leur en propose. Confronté à l'argument selon lequel les situations d'aléa ne se laissent pas saisir à l'aide des outils statistique, le CEO d'un

organisme d'assurance ayant auparavant travaillé dans la banque, réagit : « *certes, mais sans outils de type Black-Scholes par exemple, on ne saurait pas tarifer une option. Or, même si c'est faux, on a besoin d'une estimation pour décider* ». De même, lorsque le directeur de l'actuariat d'un petit groupe d'assurance explique que le recours à des outils stochastiques (donc à des grandeurs statistiques) pour déterminer l'allocation d'actifs a l'avantage de permettre de comparer des coûts d'option, il précise : « *[Certes,] le résultat dépend totalement du jeu de scénarii utilisés, mais ça permet d'avoir un critère objectif : même si ça ne veut rien dire, c'est cohérent* ».

Est-ce à dire, cependant, que n'importe quel chiffre avancé pour appréhender les situations d'aléa pourrait faire l'affaire ? Comme le rappelle par exemple Daston (1988, p. 67), l'espérance n'est pas *n'importe quel chiffre* : elle fait intervenir dans le raisonnement une population d'issues possibles et les probabilités qui leur sont attachées, plutôt qu'une seule de ces dimensions. L'espérance est vue comme une synthèse des possibles, elle offre à ce titre une appréhension que les acteurs jugent satisfaisante du futur. Le *principal* d'un cabinet de conseil en actuariat explique ainsi que s'intéresser à la moyenne de mille scénarii projetés aléatoirement « *permet de tout capter : si on change un seul scénario, la moyenne bouge, donc on capte tout* ».

Plus encore, comme outil de justification, les grandeurs utilisées pour caractériser l'aléa sont d'autant plus efficaces qu'elles ne pourront jamais, rétrospectivement, être démenties. En situation aléa, une grandeur statistique n'est pas falsifiable (Frezal, 2015a) : la modélisation d'une situation aléa, par définition, n'est pas prédictive : en contexte d'incertitude, on ne peut entièrement exclure que certains scénarios défavorables se réalisent – et leur avènement n'est pas susceptible de remettre en cause la qualité de la décision prise *ex ante*. Au-delà, celui qui utilise les modèles s'appuie sur un outil qui a formalisé l'événement adverse et ses conséquences éventuelles comme la conséquence d'une « faute à pas de chance ». A l'inverse, si l'on explicite, qualitativement, un ensemble de scénarios adverses afin de mener un raisonnement sur cette base, par exemple dans un rapport de Solvabilité (ou rapport ORSA) établi par une entreprise à destination de l'autorité de contrôle, ou lors d'un processus de choix d'investissement, on s'expose au risque de la critique *ex post*, lorsque se produira un jeu de circonstances ne correspondant à aucun des scénarios de travail. Les statistiques font disparaître cette explicitation et la subsument en un seul chiffre. Elles permettent, dès lors, d'éviter la mise en critique et de la nécessité de se justifier *ex post*. L'ancien CIO d'un grand groupe d'assurance européen expliquait ainsi préférer fonder sa décision sur l'optimisation de statistiques car « *on a déjà essayé de raisonner sur des scénarios [trois au quatre scénarii déterministes, donc sans sans projeter 1000 scénarii stochastiques [aléatoires] pour en déduire par exemple une moyenne] et on s'est toujours planté [ce qui s'est produit ne correspondait à aucun des trois ou quatre scénarii envisagé]* ». Comme le suggère Power (2009), l'une des dimensions du recours aux techniques quantitatives revient ainsi à se protéger de la critique (voir également Mikes (2009, 2011), qui souligne le sentiment de non-responsabilité des CRO de culture « *quantitative enthusiasm* »).

Conclusion

Comment comprendre qu'au cœur des outils mathématiques utilisés quotidiennement par des acteurs financiers pour guider leurs décisions se trouve l'assimilation de deux situations – les situations d'aléa et d'hétérogénéité – que les outils statistiques permettent très inégalement de saisir ? Pour rendre compte de la présence de cet amalgame, il faut d'abord comprendre comment

il est devenu indiscuté, plus qu'indiscutable, au cœur de la théorie des probabilités. Deux étapes sont ici déterminantes : le rapprochement effectué par Quételet entre la mesure des erreurs et celle de la dispersion d'une variable, d'abord, l'axiomatisation des propositions probabilistes durant les premières décennies du XXe siècle, ensuite. Ces deux étapes contribuent à protéger cet amalgame de toute remise en cause et à l'éloigner dans le territoire des propositions *a priori*. Pour que cet amalgame devienne l'institution qu'il est aujourd'hui, il faut cependant qu'il sorte du seul univers de référence des mathématiciens soit adopté et placé au cœur de la pratique des acteurs financiers. La première étape de cette adoption est constituée par la vulgarisation de la reformulation axiomatisée des probabilités dans l'enseignement et les manuels sur lesquels vont désormais se former les économistes qui produisent les propositions séminales des mathématiques financières. Les voies de pénétration de ces modèles au sein des différents secteurs financiers sont ensuite différentes, quoiqu'interdépendantes. Dans le cas du secteur assurantiel, qui a retenu notre attention ici, deux canaux jouent un rôle déterminant : les opérations de fusions-acquisition dans lesquelles de très grands acteurs du secteur sont engagés, qui imposent des enjeux de valorisation des entreprises et de communication financière ; la refonte du système prudentiel, qui impose ces formes de raisonnement à l'ensemble des acteurs du secteur – même les plus modestes. Indiscuté, l'amalgame aléa-hétérogénéité est désormais au cœur des pratiques de très nombreux acteurs, qu'ils contribuent à orienter normativement. A la question « Que faire ? », la réponse apportée par les modèles occupe une place éminente dans le portefeuille d'options des acteurs financiers. *A priori*, partagé et normatif, l'amalgame aléa-hétérogénéité en vient ainsi à fonctionner comme une institution déterminante, bien qu'implicite, des raisonnements financiers contemporains.

Bibliographie

- ACPR, 2008, *Rapport 2007. Les chiffres du marché français de l'assurance*.
- Allais, M. (1953): "Le comportement de l'homme rationnel devant le risque : critique des postulats et axiomes de l'école américaine", *Econometrica*, 21 (4), pp. 503-546.
- Anderson, M. J., 1988, *The American census*, New Haven, Yale university press.
- Armatte, M., 2010, "Statut de la dispersion : de l'erreur à la variabilité", *Journal électronique d'histoire des probabilités et de la statistique*, vol. 6 (1).
- Arrow, J., 1951, "Alternative approaches to the Theory of Choice in Risk-Taking Situations", *Econometrica*, Vol. 19, p. 404-437
- Baud, C. et Chiappello, E., 2015, "Comment les firmes se financiarisent. Sous le marché, les règles ? Le cas de la financiarisation du crédit bancaire", *Revue française de sociologie*, vol. 56 (3), p. 439-468.
- Boltanski, L. et Thévenot, L., 1991, *De la justification*, Paris, Gallimard.
- Bustamante, M.-C., Cléry, M. et Mazliak, L., 2015, "Le *Traité du calcul des probabilités et de ses applications*. Etendue et limites d'un projet borélien de grande envergure (1921-1939)", *North-Western European journal of mathematics*, vol. 1 p. 85-123.
- CFO Forum, 2004, *European Embedded Value Principles*.
http://www.cfoforum.nl/letters/eev_principles.pdf
- CFO Forum, 2008, *European Embedded Value Principles*.
http://www.cfoforum.nl/downloads/MCEV_Principles_and_Guidance_October_2009.pdf
- Chan, C., 2009, "Invigorating the content in social embeddedness. An ethnography of life insurance transactions in China ", *American journal of sociology*, vol. 115 (3), p. 712-754.
- Chateauraynaud, F., 1991, *La faute professionnelle*, Paris, Métailié.

- Chauvin, P.-M., 2011, "Extension du domaine de la note. Robert Parker comme saillance du marché des grands vins de Bordeaux", in François, P., (dir.), *Vie et mort des institutions marchandes*, Paris, Presses de sciences po, p. 79-107.
- Chiappello, E., 2005, "Les normes comptables comme institutions du capitalisme. Une analyse du passage aux IFRS en Europe à partir de 2005", *Sociologie du travail*, vol. 47 (3), p. 362-382.
- Coumet, E., 1970, "La théorie du hasard est-elle née par hasard ?", *Annales ESC*, vol. (3), p. 574-598.
- Daston, L. J., 1986, "The domestication of risk. Mathematical probability and insurance, 1650-1830", in Krüger, L., Daston, L. J. et Heidelberger, M., (dir.), *The probabilistic revolution, Vol. 1: Ideas in history*, Cambridge, MIT Press, p. 237-261.
- Daston, L. J., 1988, *Classical probability in the enlightenment*, Princeton, Princeton university press.
- Desrosières, A., 2008, "Quêtelet et la sociologie quantitative. Du piédestal à l'oubli", in Desrosières, A., (dir.), *Pour une sociologie historique de la quantification. L'argument statistique 1*, Paris, Presses de l'école des Mines, p. 239-257.
- Desrosières, A., 2010, *La politique des grands nombres*, Paris, La découverte.
- Dimand, R. W., 2009, "The Cowles commission and foundation on the functioning of financial markets from Irving Fischer and Alfred Cowles to Harry Markowitz and James Tobin", *Revue d'histoire des sciences humaines*, vol. (20), p. 79-100.
- Doob, J. L., 2003, "Review of *Kolmogorov in perspective*, Providence, American mathematical society", *Isis*, vol. 94 (3), p. 553-554.
- Dubois, S. et François, P., 2013, "Seeing the world through common lenses? The case of french contemporary poetry", in Beckert, J. et Musselin, C., (dir.), *Constructing quality. The classification of goods in the economy*, Oxford, Oxford university press, p. 174-193.
- Durand, A. et Mazliak, L., 2011, "Revisiting the source of Borel's interest in probability: continued fractions, social involvement, Volterra's prolusion", *Centaurus*, vol. 53 p. 306-332.
- François, P., 2010, "Review of Stark, D., 2009, *The sense of dissonance. Accounts of worth in economic life*, Princeton, Princeton university press", *Economic sociology*, vol. 11 (2), p. 58-59.
- François, P., 2011, "Puissance et genèse des institutions : un cadre analytique", in François, P., (dir.), *Vie et mort des institutions marchandes*, Paris, Presses de sciences po, p. 39-79.
- François, P., 2015, « La fabrique sociale d'une *tabula rasa* : le lancement de Solvency II », *Working paper PARI*, <http://www.chaire-pari.fr/publications/#working-papers>
- Frezal, S. 2015a, « L'amalgame tyrannique : aléa vs. hétérogénéité », *Working paper PARI*, <http://www.chaire-pari.fr/publications/#working-papers>
- Frezal, S. 2015b, « Le couple risqué/rendement, une chimère ? », *Working paper PARI*, <http://www.chaire-pari.fr/publications/#working-papers>
- Frezal, S. 2016, « De quoi Solvabilité 2 est-il le nom ? », *Working paper PARI*, <http://www.chaire-pari.fr/publications/#working-papers>.
- Friedland, R. et Robert, A. R., 1991, "Bringing society back in: symbols, practices and institutional contradictions", in DiMaggio, P. J. et Powell, W., (dir.), *The new institutionalism in organizational analysis*, Chicago, University of Chicago press, p. 232-263.
- Gilboa, I. (2009): "Is It Always Rational to Satisfy Savage's Axioms?", *Economics and Philosophy*, 25, Special Issue 03, pp. 285–296.
- Gollier, C., Hammitt, J. K., & Treich, N. 2013. "Risk and choice: A research saga". *Journal of risk and uncertainty*, 47(2), 129-145
- Hacohen, M. H., 2000, *Karl Popper, the formative years*, Cambridge, Cambridge university press.
- Heimer, C., 1985, *Reactive risk and rational action*, Berkeley, University of California press.
- Hilbert, D., 1902, "Mathematical problems", *Bulletin of the American mathematical society*, vol. 8 (10), p. 437-479.
- Hubert, H. et Mauss, M., 1985, "Esquisse d'une théorie générale de la magie", in Mauss, M., *Sociologie et anthropologie*, Paris, Presses universitaires de France, p. 3-142.

- Jarzabkowski, P., Bednarek, R. et Spee, P., 2015, *Making a market for acts of God*, Oxford, Oxford university press.
- Jorland, G., 1986, "The St Petersburg paradox", in Krüger, L., Daston, L. J. et Heidelberger, M., (dir.), *The probabilistic revolution. Vol 1, Ideas in history*, Cambridge, MIT Press, p. 157-190.
- Jovanovic, F., 2012, "Finance in modern economic thought", in Knorr-Cetina, K. et Preda, A., (dir.), *The Oxford handbook of the sociology of finance*, Oxford, Oxford university press.
- Kahneman, D. and Tversky, A. (1979): "Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk", *Econometrica*, 47 (2), pp. 263-292.
- Labbé, M., 2008, "L'arithmétique politique en Allemagne. Réceptions et polémiques", *Journal électronique d'histoire des probabilités et de la statistique*, vol. 4 (1).
- Lounsbury, M. et Hirsch, P. M., (dir.), 2010, *Markets on trial. The economic sociology of the US financial crisis*, Londres, Emerald group publishing, 708 p.
- Mazliak, L. et Sage, M., 2014, "Au-delà des réels : Emile Borel et l'approche probabiliste de la réalité", *Revue d'histoire des sciences*, vol. 67 (2), p. 331-357.
- McGoun, E. G., 1995, "The history of risk "measurement"", *Critical perspectives on accounting*, vol. (6), p. 511-532.
- McKenzie, D. and Millo Y., 2009, "The Usefulness of Inaccurate Models: The Emergence of Financial Risk Management", *Accounting, Organizations and Society* no. 34, 638-653
- McKenzie, D. et Millo, Y., 2003, "Constructing a market: the historical sociology of a financial derivatives exchange", *American journal of sociology*, vol. 109 (1), p. 107-145.
- McKenzie, D. et Spears, T., 2014a, ""The formula tha killed Wall Street": The Gaussian Copula and modelling practices in investment banking", *Social studies of sciences*, vol. 44 (3), p. 393-417.
- McKenzie, D. et Spears, T., 2014b, ""A device for being able to book P&L". The organizational embedding of the Gaussian Copula", *Social studies of science*, vol. 44 (3), p. 418-440.
- McKenzie, D., 2006, *An engine, not a camera*, Cambridge, MIT Press.
- McKenzie, D., Muniesa, F. et Siu, L., (dir.), 2008, *Do economists make markets? On the performativity of economics*, Princeton, Princeton university press, 400 p.
- Merlus, S. et Pequeux, O. 2000, *Les garanties plancher des contrats d'assurance-vie en unités de comptes : tarification et couverture*, Thèse d'actuariat de l'ENSAE sous la direction de G. Plantin.
- Mikes, A. 2011, "From Counting Risk to Making Risk Count: Boundary-Work in Risk Management", *Accounting, Organizations and Society*, 36, p. 226-245
- Mikes, A., 2009, "Risk management and calculative cultures", *Management Accounting Research*, 20(1), p. 18-40.
- Ollivier, C., 2011, "Naissance et survie d'une institution. La qualification professionnelle des architectes d'intérieur", in François, P., (dir.), *Vie et mort des institutions marchandes*, Paris, Presses de sciences po, p. 195-223.
- Patriarca, S., 1996, *Numbers and nationhood*, Cambridge, Cambridge university press.
- Planchet F. et Leroy G., 2010, « Que signifie la ruine dans Solvabilité 2 ? », *la Tribune de l'Assurance (rubrique « le mot de l'actuaire »)*, n°147 du 01/05/2010.
- Porter, T., 1986, *The rise of statistical thinking, 1820-1900*, Princeton, Princeton university press.
- Porter, T., 1995, *Trust in Numbers*, Princeton, Princeton University Press.
- Power, M., 2009, "The risk management of nothing", *Accounting, Organizations and Society*, n°34, p. 849-855
- Reinhart, C. et Rogoff, K., 2010, *Cette fois c'est différent*, Londres, Pearson, 470 p.
- Shafer, G. et Vovk, V., 2003, "The origin and legacy of Kolmogorov's *Grundbegriffe*", *The game-theoretic probability and finance project. Working Paper*, vol. (4), p. 1-107.
- Stark, D., 2009, *The sense of dissonance*, Princeton, Princeton university press.
- Stigler, S. M., 1997, "Adolphe Quételet: statistician, scientist, builder of intellectual institutions", in *Actualité et universalité de la pensée scientifique d'Adolphe Quételet*, Bruxelles, Académie royale de Belgique, p. 47-61.

Underhill, G. R. D. et Zhang, X., 2008, "Setting the rules. Private power, political underpinnings, and legitimacy in global monetary and financial governance", *International affairs*, vol. 84 (3), p. 535-554.

Von Plato, J., 1994, *Creating modern probability*, Cambridge, Cambridge university press.

Yates, J., 2008, *Structuring the information age*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.

Zelizer, V., 1979, *Morals and markets*, New York, Columbia university press.

PARI

PROGRAMME DE RECHERCHE
SUR L'APPRÉHENSION DES RISQUES
ET DES INCERTITUDES

PARI, placé sous l'égide de la Fondation Institut Europlace de Finance en partenariat avec l'ENSAE/Excess et Sciences Po, a une double mission de recherche et de diffusion de connaissances.

Elle s'intéresse aux évolutions du secteur de l'assurance qui fait face à une série de ruptures : financière, réglementaire, technologique. Dans ce nouvel environnement, nos anciens outils d'appréhension des risques seront bientôt obsolètes. PARI a ainsi pour objectifs d'identifier leur champ de pertinence et de comprendre leur émergence et leur utilisation.

L'impact de ses travaux se concentre sur trois champs :

- les politiques de régulation prudentielle, l'optimisation de leur design technique et leur appropriation pour le pilotage, dans un contexte où Solvabilité 2 bouleverse les mesures de solvabilité et de rentabilité ;
- les outils d'allocation stratégique d'actifs des investisseurs institutionnels, dans un environnement combinant taux bas et forte volatilité ;
- les solutions d'assurance, à l'heure où le big data déplace l'assureur vers un rôle préventif, créant des attentes de personnalisation des tarifs et de conseil individualisé.

Dans ce cadre, la chaire PARI bénéficie de ressources apportées par Actuaris, la Financière de la Cité, Generali et le Groupe Monceau.

Elle est co-portée par Pierre François, directeur du département de sociologie de Sciences Po et Sylvestre Frezal, directeur à Datastorm, la filiale de valorisation de la recherche de l'ENSAE.

PARTENAIRES



SciencesPo

