

# HASARD, MODELISATION ET PENSEE CRITIQUE

Nicolas BOULEAU

Conférence à l'Université des Sciences et Techniques de Lille, le 15 mai 2001.

Le développement du calcul des probabilités au XXe siècle est des plus spectaculaires des mathématiques tant appliquées que pures. Deux façon de penser les choses coexistaient avant la seconde guerre mondiale. Une première école à la suite de Von Mises (avec Wald, Church, Popper, etc.) tentait de décrire le mieux possible la notion de "suite de tirages au hasard". Elle rencontra de grandes difficultés qui la menèrent tout droit à la logique mathématique. Une seconde école, en revanche, à la suite de Borel, Steinhaus, Fréchet, avec un rôle décisif de Kolmogoroff, s'interrogeait sur la façon de "parler du hasard" sans essayer, dans un premier temps de le décrire dans ses réalisations. Cette voie, fondée sur la constitution d'un langage pour le calcul des probabilités utilisant notamment le concept d'indépendance représenté mathématiquement par des produits de nombres et des produits d'espaces, pris progressivement le pas sur l'autre et a aujourd'hui récolté une impressionnante moisson de résultats théoriques et d'applications dans les branches les plus diverses de la connaissance. Deux étapes significatives en furent les techniques de traitement du signal développées dans les années 1930 à partir des travaux de Norbert Wiener, et le calcul stochastique de Ito permettant dans la seconde moitié du siècle la mise au point d'un nouveau calcul différentiel qui s'est avéré un outil particulièrement pertinent pour gérer les risques en finance.

Le calcul des probabilités, très fécond donc, mérite que ses usages soient discutés. Tout spécialement la modélisation qui se développe de plus en plus et qui l'utilise abondamment, pose une série de questions relevant de la philosophie de la connaissance aux conséquences multiples.

Nous aborderons successivement

- La modélisation en général
- Les phénomènes et modèles qui font intervenir le hasard
- Les problèmes philosophiques que pose *la critique* de l'activité de modélisation.

## **I. A la recherche du statut philosophique de la modélisation.**

Je parlerai plutôt de modélisation que de modèle afin de focaliser la réflexion davantage sur l'activité de construction que sur la représentation elle-même.

Historiquement le terme de modèle est arrivé d'Italie en France à la Renaissance et désignait la personne qui pose dans l'atelier du peintre ou du sculpteur ou la maquette qui préfigure le bâtiment à réaliser. A l'origine le modèle est ce qu'il faut copier. Aujourd'hui, par un retournement linguistique fréquent, il désigne plutôt ce qui copie la réalité étudiée. Cependant est conservée l'idée d'exemplarité dans plusieurs expressions "petite fille modèle", "ouvrier modèle", etc.

Dans la science, le terme de modèle a pris un sens particulier. On l'emploie en physique pour signifier une représentation simplifiée destinée à faire comprendre. Les modèles (modèle d'atome de Bohr, modèle de thermodynamique statistique d'Ehrenfest, etc.) sont des cas types, voisins philosophiquement des paradigmes de Thomas Kuhn, qui laissent de côté certaines complications pour mettre en évidence un phénomène. La découverte des satellites de Jupiter par Galilée est un modèle du système solaire et plaide en faveur du système de Copernic.

La notion de modélisation est plus large. Elle désigne l'élaboration d'une représentation utilisant les langages de la science et les possibilités de l'informatique répondant à une préoccupation opérationnelle et préparant des décisions et des actions. La modélisation utilise à la fois le langage ordinaire et celui des sciences.

Trois caractéristiques distinguent la modélisation d'une démarche scientifique. En fait, on peut se demander *a posteriori* si ces trois caractéristiques ne sont pas présentes également, sous une forme atténuée ou implicite dans la pratique scientifique réelle. Mais, dans un premier temps, elles dessinent une orientation différente de celle qui a été la science classiquement.

Premièrement, la modélisation est inscrite dans un site social particulier. Elle est faite par quelqu'un pour quelqu'un dans un lieu et un contexte précis. Prenons comme exemple les modèles de trafic automobile : il existe divers modèles de trafic, schématiquement les modèles les plus grossiers partagent la ville en zones. D'une zone à l'autre les flux sont évalués et fournissent une matrice indexée par les couples de zones. Ce sont les modèles "origines-destinations", les plus simples. On les perfectionne en tenant compte des capacités des voies et du temps (flux matinal, flux hebdomadaire, etc.). Si l'on tient compte des vitesses de déplacement, on arrive à l'image d'un fluide compressible (jusqu'à une certaine limite) calculé suivant les lois de la mécanique des fluides. Ces modèles traduisent bien les phénomènes d'ondes de compression et de décompression dus aux encombrements. Des modèles plus précis encore font intervenir les feux de circulation, les distances entre véhicules, etc. Il faut aussi tenir compte du fait que les automobilistes ont des informations sur l'état du trafic. La réalité "trafic automobile" est donc fuyante. La démarche scientifique hypothético-déductive qui consisterait à chercher la meilleure description possible de cette réalité est vaine, car, les comportements des automobilistes dépendent d'informations qui sont, de fait, largement inconnues du modélisateur. Le point le plus important ici, est que ces diverses modélisations réalisées par des ingénieurs de trafic sont destinées chacune à aider la décision d'une entité sociale particulière. C'est ce qui

les rend utiles. Les modèles origines-destinations sont proposés aux urbanistes, à ce niveau, ils sont les plus pertinents. Les modèles hydrologiques conviennent plutôt à un service de gestion des feux de circulation dans une agglomération. La modélisation est donc destinée à rendre un service dans une situation sociale identifiée.

En second lieu, elle utilise un langage hybride. Toute une symbolique est mise à sa disposition par les sciences fondamentales et appliquées et par les sciences de l'ingénieur qui sont des corpus façonnés par l'usage et les perfectionnements de "l'état de l'art". Certains termes sont très utilisés dans une profession quoique leurs définitions ne puissent satisfaire pleinement les critères scientifiques. Par exemple, la notion de crue décennale, terme clé du langage des risques d'inondation, reste une notion floue dont la mise au point est un véritable programme de recherche scientifique dont les enjeux sont incertains compte tenu de la complexité et de l'ésotérisme qu'il apporterait nécessairement. Autre exemple, le "potentiel de réchauffement équivalent" a été utilisé dans le cadre de la modélisation de l'effet de serre. Ce coefficient permettait de transformer l'effet des divers gaz en CO<sub>2</sub> équivalent, afin de comparer les productions d'effet de serre d'une industrie à une autre, et d'un pays à l'autre. Mais les gaz n'ont pas la même durée de vie dans l'atmosphère en raison de réactions chimiques fort complexes. C'est une simplification qui fait sens sans être parfaite. Les termes d'ingénieurs sont donc flous au plan sémantique et au plan pragmatique.

On rencontre aussi dans les modélisations des corpus qui ne correspondent ni aux sciences ni aux sciences de l'ingénieur. Ce sont ce que j'ai appelé des "sciencettes" : des corpus dans lesquels des déductions rigoureuses sont possibles mais qui sont connus pour être sensiblement faux quoique utiles néanmoins. Par exemple la "résistance des matériaux" désigne une façon de calculer rapidement des bâtiments ou ouvrages avec uniquement des équations du second degré. Elle est très utile et enseignée dans toutes les écoles d'ingénieurs de génie civil. On sait qu'elle n'est pas conforme à la réalité, on ignore même si elle va dans le sens de la sécurité ou non par rapport à une étude physique fine, mais elle est indispensable pour dégrossir un projet. Les sciencettes sont fausses mais utiles néanmoins (et là la différence est frappante avec la science qui, il faut bien le dire, accepte dans ses revues des développements pléthoriques dont l'utilité, même future et lointaine, est pour le moins douteuse).

Le troisième point est relatif au phénomène très important de la *sous-détermination* : dans de nombreuses situations, plusieurs modélisations concurrentes peuvent coexister sans jamais être désavouées par aucune expérience. Le phénomène de la sous-détermination est fondamental et a été souligné par le philosophe et logicien Quine dans un cadre très général. D'un point de vue épistémologique, la sous-détermination des théories par l'expérience vaut également dans la science. Mais celle-ci s'en accommode fort bien par sa démarche même. Elle s'attache à rechercher l'universel et s'échappe facilement vers l'abstrait. Au contraire ce phénomène devient crucial en modélisation. Prenons l'exemple des crues. Pour se faire une idée de leur éventualité, on modélise les hauteurs d'eau de la rivière. La méthode des séries

temporelles permet de prendre en compte les mesures faites dans le passé pour estimer les probabilités de crue dans l'avenir. Ceci étant, cette méthode peut être appliquée de diverses façons, sur les hauteurs d'eau ou sur les débits ou encore sur les logarithmes de ces quantités. Si de nouvelles données sont disponibles chacune de ces modélisations peut être perfectionnée pour tenir compte des données, et chacune donne un tableau différent en ce qui concerne les prédictions, les événements rares ou extrêmes. Philosophiquement, on est dans une situation non-poppérienne ou situation qu'on peut appeler quinienne encore que Quine ne se soit pas intéressé directement à la modélisation. Rare sont les théories réfutables par l'expérience car le nombre des mesures est toujours fini. Une grande variété d'interprétations du réel coexiste. L'idée poppérienne qu'une interprétation théorisée doit être acceptée jusqu'à sa réfutation, achoppe ici parce que la représentation se situe dans une famille indéfiniment perfectible et que plusieurs familles restent en lice indéfiniment. Dès lors qu'on prête attention à ce phénomène on voit qu'il est monnaie courante en modélisation.

Ces trois aspects de la modélisation, d'être faite pour un acteur social, d'utiliser des langages hybrides et d'être sous-déterminée, ne la distingue peut-être pas de la science en train de se faire lorsque celle-ci émerge de la pratique, mais nettement, en revanche, de la connaissance purifiée et enseignable que les scientifiques s'attachent à élaborer progressivement. A ces traits caractéristiques viennent s'adjoindre un certain nombre de difficultés ou d'ambiguïtés lorsque le hasard intervient dans la modélisation dont nous allons relever les principales.

## **II. Hasard et modélisation probabiliste.**

On abuse des modèles probabilistes. D'une part, comme il a été souvent souligné, les usagers sont de plus en plus sensibles aux risques et la société en produit de nouveaux selon un processus complexe. D'autre part les facilités de l'informatique permettent de résoudre par simulation les calculs des phénomènes aléatoires. Une pression de plus en plus forte s'exerce sur les ingénieurs et les scientifiques pour l'évaluation des risques se sorte qu'on propose des modèles même en situation d'ignorance en les habillant de probabilités. Cet habillage est souvent le moyen d'obtenir une certaine respectabilité scientifique tout en s'épargnant une grande part de l'engagement : une réalisation, jamais, ne contredira un modèle probabiliste.

La classification probabilités objectives / probabilités subjectives est insuffisante. Il y a sans doute, quelques cas, rares, de probabilité objective tel le rayonnement alpha et sa loi de Poisson. Mais on utilise souvent les probabilités comme langage pour décrire des situations désordonnées qu'on sait purement déterminées, en prospection pétrolière par exemple ou pour la description de corps amorphes. De plus il est parfois commode de mettre une probabilité *a priori* sur le monde extérieur afin de disposer de certaines méthodes pour le choix de décisions, ce sont les modèles dits "bayésiens". Ensuite viennent les situations, fréquentes, où le hasard dépend du sujet. Typiquement,

en économie, tel acteur a une vision de son environnement et de ses concurrents selon une certaine probabilité qui dépend des informations dont il dispose et, – ce qui est souvent oublié des probabilistes qui pensent tout en terme de  $\sigma$ —algèbres plus ou moins grosses – qui dépend *des interprétations* qu'il donne aux signes qui l'entourent. Enfin, il y a les probabilités qui traduisent l'ignorance du sujet modélisateur : il ne sait pas et exprime ce manque par des probabilités. L'économiste Keynes introduisit une distinction entre probabilités quantifiables et non quantifiables. Le statut des probabilités dans une modélisation est toujours un peu nuageux et mérite critique, nous y reviendrons.

L'analyse de la pertinence du calcul des probabilités et de son langage dans une situation sociale donnée, rencontre nécessairement un problème philosophique qui est l'antinomie ou, disons, la non-compatibilité entre l'idée "d'événement probabilisable" et celle "d'événement ayant une signification" soit comme élément de langage soit comme phénomène interprétable dans une symbolique affective ou culturelle. Lorsqu'une situation est probabilisée, certains signifiés se trouvent effacés. Le point a été brillamment discuté par le mathématicien et économiste Cournot au XIXe siècle. Sans reprendre ici son analyse, il montre que lorsque nous qualifions de "rare" un tirage de pièces dans une urne qui sort d'abord 10 piles puis 10 faces, nous faisons appel à un registre interprétatif de nature sociale que le langage des probabilités occulte. Ceci se relie également à la remarquable discussion qu'a proposé le statisticien Georges Matheron du livre de Jacques Monod *Le hasard et la nécessité*.

Le domaine des statistiques est, en effet, à la charnière entre les problèmes d'interprétation et de représentation du hasard. D'un côté, c'est l'origine historique des statistiques, elles effacent des signifiés pour dégager des ratios. D'un autre côté, elles créent de nouveaux signifiants en faisant émerger, à partir de données brutes, des tendances, des corrélations, des "facteurs" rendant compte principalement des faits observés, qui font apparaître du sens.

On butte vite sur une troisième dimension du couple formalisation / interprétation qui est celle de la complication et de l'ésotérisme. Pour l'homme de la rue, dès qu'il y a du hasard et des probabilités, *tout devient possible*. Tout devient flou. On joue à la loterie nationale alors que les probabilités de gagner sont très faibles et que les taxes en font un jeu fortement non-équitable. A l'inverse on hésite à faire vacciner ses enfants parce qu'on redoute des effets secondaires non prouvés. De nombreuses questions sur les modélisations complexes ne passent pas dans la discussion démocratique parce que personne n'y comprend rien. A mon avis les scientifiques qui travaillent sur l'effet de serre sont tombés dans ce piège. Les modèles sont extrêmement sophistiqués et les scénarios suivant des probabilités en cascade sont ardues à interpréter. Qui plus est, plusieurs groupes d'agents économiques puissants ont intérêt à semer le doute. Les entreprises de transport et de distribution d'énergie tentent de faire valoir que les scientifiques sont dans l'ignorance. Dans trente ou cinquante ans que se sera-t-il passé ? Une seule trajectoire aura été suivie et reproché

sera fait aux modélisateurs d'être restés dans le vague. L'IPCC, organisme de l'ONU chargé de l'étude du changement climatique, a affirmé pour la première fois dans son second rapport que l'homme était responsable du changement climatique. Il n'a néanmoins pas quantifié cette responsabilité, lacune exploitée par les stratégies de communication partisans. Mais comment aurait-il pu le faire. Il faudrait savoir ce qui se serait passé si la trajectoire suivie n'avait pas été suivie ! On n'a aucune idée d'une telle trajectoire sans l'homme ou avec un comportement différent des humains.

Les modèles complexes posent, en plus des questions d'interprétation et d'engagement des difficultés dues à l'hermétisme. Comme la science elle-même. Ceci ne leur donne pas le statut scientifique pour autant. Dans tous les cas la modélisation doit faire l'objet d'une réflexion critique adaptée à ce qu'elle est et compte tenu des particularités qui la distinguent de ce qu'on a coutume d'appeler la science.

### III. La critique

La science n'arrête pas de se critiquer elle-même. Le processus hypothético-déductif est critique par nature. Les scientifiques critiquent les modélisations qu'ils utilisent. Mais la démarche scientifique consiste à faire une critique *purifiante* des modélisations utilisées, c'est à dire une critique qui omet une partie du sens du modèle en essayant de le rendre le plus objectif, le plus universel, de l'enlever de son site social particulier pour en faire une connaissance enseignable qui a sa place dans le corpus scientifique. Ce problème a été abordé par tous les épistémologues depuis Ernst Mach, Bachelard, Popper et même Feyerabend. La grande question qu'ils posent, les uns comme les autres, est de savoir si telle connaissance peut être considérée comme scientifique : appartient-elle à la science ? En revanche la réflexion est moins avancée sur les retombées sociales de la science. Pour beaucoup elle est intrinsèquement bonne et on n'y réfléchit pas davantage. Cependant certains sociologues contemporains, comme Ulrich Beck et, de façon plus édulcorée, Antony Giddens, considèrent que l'impact social de la science procède par des faits accomplis qui ne sont pas démocratiquement décidés. D'un coup une innovation apparaît sans que personne ait posé la question de savoir si elle est souhaitable et pour qui. Ce phénomène est accentué par la pression exercée par la concurrence commerciale et la compétition scientifique. Il y a un manque manifeste de réflexion sur les retombées concrètes de la techno-science. A cet égard, certains auteurs ont tiré la sonnette d'alarme.

En premier lieu Hans Jonas. Pour cet auteur, la philosophie de Kant au XVIIIe siècle qui fondait les valeurs morales individuelles sur les valeurs collectives : "tu dois donc tu peux" a été oubliée ou détournée. Aujourd'hui le slogan est "tu peux donc tu fais". Pour Jonas, l'avenir de l'humanité se trouve à la merci de comportements individuels excentriques : on peut mettre en péril sa propre vie mais non l'avenir de l'humanité.

Ulrich Beck et Antony Giddens analysent plus concrètement la question des risques et leur rôle dans l'organisation sociale. Ils pointent certaines particularités de la société post-industrielle, qu'ils appellent "réflexives", non pas qu'elles fassent l'objet d'une réflexion philosophique, au contraire, elles sont des modifications techniques qui induisent des motivations vers des changements sans que la transformation sociale obtenue *in fine* soit jamais voulue ni pensée en tant que telle. Un grand nombre d'individus tiennent compte des innovations pour modifier leur comportements sans pour autant en appréhender les conséquences collectives. Ils citent notamment l'engouement suscité par les technologies périnatales, la commercialisation des Gamètes, etc. Qu'est-ce qui peut dès lors, faire sortir de ce nouveau fatalisme où l'avenir de la civilisation est le sous-produit de la mise sur le marché de techniques flattant des intérêts individuels aveugles dont certains effets sociaux ou environnementaux apparaissent irréversibles ? Il faut plus de conscience sur les effets induits, plus de discussions entre politiques et scientifiques, plus de débats non seulement entre experts, mais avec *les personnes concernées* par les changements. Dialogues, réflexions, représentation de conséquences : il y a fondamentalement un rôle prééminent des outils de langage pour parler de la technique donc la modélisation est au cœur de cette affaire.

Si le perfectionnement langagier qu'est la modélisation n'est utilisé que pour rendre plus séduisante l'innovation technique, le fatalisme est renforcé au risque d'une nouvelle forme de barbarie technologique. Mais la modélisation peut aussi être le moyen d'une pensée critique. C'est là un appel indispensable à l'imagination et une ouverture vers des choix, une politisation au bon sens du terme, des causes réelles de l'avenir.

Actuellement on entretient la confusion entre la modélisation et la grande science. Des représentations ancrées dans des intérêts partisans s'habillent de respectabilité trompeuse. Dans les dossiers d'étude préparatoires aux décisions importantes, les formules mathématiques ne sont, en fait, jamais critiquées. Les techniques de validation et d'assimilation permettent de cadrer la modélisation. On reste toujours dans l'interprétation forgée par le modèle. Ce phénomène des ornières de pensée est d'une force redoutable.

La seule façon de critiquer une modélisation est d'en composer une autre. Il faut changer de registre, trouver des co-vérités et sortir du monde restreint dans lequel on a été entraîné pour penser différemment les enjeux et les conséquences. Prenons un exemple. Il y a quelques années on modélisait la propreté des rivières par l'analyse chimique de prélèvements. Et puis, par des critiques d'autres façons de procéder sont apparues en utilisant une description des espèces animales et végétales vivant dans la rivière et en les suivant dans le temps. Une co-vérité a émergé. Chacune des deux modélisations a des lacunes, l'analyse chimique peut ne pas déceler des bactéries pathogènes pour la vie dans le cours d'eau. A l'inverse, l'étude de la seule faune peut confondre des cycles naturels proies-prédateurs et ceux qui seraient dus à des rejets industriels. Une fois qu'une co-vérité se fait jour, elle apparaît comme nécessaire *a*

*posteriori*. Si une démarche véritablement critique est entreprise, des co-vérités apparaissent ouvrant le problème et les conséquences à des horizons auxquels on n'avait pas pensé.

Ce qui se passe en génie génétique, avec des enjeux commerciaux considérables, mériterait des modélisations concurrentes qui ouvriraient les débats. Nous sommes actuellement enfermés dans ce fatalisme qu'on tente de nous faire croire enchanteur par toutes sortes de moyens, il n'y a pas de société ouverte au sens de Popper car on est muet devant les avancées techniques. La confusion existant entre la modélisation et la grande science est faite pour entretenir ce conformisme passif. Il faut au contraire utiliser le langage de la modélisation et faire appel à une logique externe, à la biodiversité des idées, pour critiquer les enjeux sociaux des innovations.

Bien sûr, il n'y a pas de remède effaçant tous les risques dus à l'action de l'homme. Certes. Mais le hasard, les probabilités, les incertitudes qui brouillent nos visions du futur ne doivent pas nous faire tomber dans un nouveau fatalisme. La seule prudence qui ne soit pas a priori paralysante, qui aille dans le sens de plus de civilisation et de démocratie véritable est de se donner les moyens d'une imagination critique permettant plus de conscience politique sur les choix techniques pour l'avenir.