

JOURNAL DE LA SOCIÉTÉ STATISTIQUE DE PARIS

PIERRE VENDRYÈS

L'aléatoire

Journal de la société statistique de Paris, tome 126, n° 1 (1985), p. 4-13

http://www.numdam.org/item?id=JSFS_1985__126_1_4_0

© Société de statistique de Paris, 1985, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Journal de la société statistique de Paris » (<http://publications-sfds.math.cnrs.fr/index.php/J-SFdS>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

COMMUNICATIONS

L'ALÉATOIRE (*)

Pierre VENDRYÈS

Ancien président de la Société de statistique de Paris

Le conflit passionnel entre déterminisme et aléatoire est résolu par la description de la relation aléatoire et du processus aléatoire à partir du jeu de dés. La théorie des probabilités est en concordance avec cette description, mais les calculs fréquentiels de la Statistique détruisent l'aléatoire. Celui-ci est indispensable pour la théorie de l'autonomie, la physiologie théorique et la théorie de l'homme, qui retrouve son libre arbitre rejeté par le déterminisme.

The passionate conflict between determinism and randomness is resolved by the description of the random relation and the random process, starting from the game of dice. The theory of probabilities is in agreement with this description but the frequential calculations of statistics breaks up randomness. Randomness is absolutely necessary to the theory of autonomy, the theoretical physiology and the theory of man, who recovers his free will thrown away by determinism.

L'aléatoire est une notion très controversée. Il est bizarre que l'on soit obligé de prendre sa défense alors qu'elle est fondamentale pour la connaissance. Il serait paradoxal que le hasard ait été intensément discuté par une multitude de penseurs pendant une multitude de siècles s'il n'était qu'une pure invention imaginaire sans aucun fondement. Actuellement son statut intellectuel se réduit à un conflit passionnel entre *déterminisme* et *aléatoire*.

I — L'ALÉATOIRE

Le mot : *aléatoire* vient du latin : *alea*, qui signifie : jeu de dé. Le mot : *hasard* vient d'un mot arabe qui signifie, lui aussi : jeu de dé. Je choisirai donc ce jeu comme exemple caractéristique de l'aléatoire et je vais reprendre pas à pas sa description, même si elle est parfaitement connue.

Un dé est un solide cubique et homogène. Les surfaces de ses six faces sont donc égales. Posé sur une table, il repose sur l'une des faces, qui est cachée. Quatre autres faces sont latérales et verticales, donc insuffisamment visibles. Seule la face supérieure est entièrement visible. C'est elle qui sera choisie pour déterminer le résultat du jeu.

(*) Communication faite le 12 octobre 1983 devant les Sociétés de statistique de Paris et de France

Pour jouer, on commence par lancer en l'air le dé et on attend qu'il retombe sur la table. Ses faces ont été numérotées de 1 à 6 pour être identifiables. Lorsque le dé se sera immobilisé sur la table, on pourra enregistrer le numéro de la face visible. Ce sera la face gagnante. Les cinq autres seront perdantes.

Si l'on connaissait à l'avance, rigoureusement et parfaitement, les conditions initiales dans lesquelles le dé sera jeté, on pourrait déterminer à l'avance la face qui sera gagnante. On serait en plein déterminisme et il n'y aurait pas d'aléatoire. Mais cela est interdit par les règles du jeu. Avant d'être lancé, le dé doit être mis dans un cornet, qui est bouché avec une main, et qui est agité de telle manière que les conditions initiales du jet soient totalement inconnues de tous ceux qui participent à ce jeu. Loin d'exclure le hasard, ces règles excluent le déterminisme. Et cela confirme que déterminisme et aléatoire s'excluent mutuellement.

Il en résulte que le dé offre au joueur, avant le lancement, six cas simultanément possibles entre lesquels il a à choisir en toute liberté. Et, en raison de la structure même du dé, les six faces ont la même probabilité de gagner. C'est seulement lorsque le dé se sera immobilisé sur la table que l'on pourra apprendre laquelle des six faces est gagnante, à l'exclusion des cinq autres.

Une telle exclusion est une caractéristique de tout jeu de hasard. Par exemple, elle se retrouve dans le jeu de pile ou face, qui peut être considéré comme un dé à deux faces. Lorsque pile gagne, face perd; et réciproquement. Le « *ou* » de pile *ou* face est exclusif.

Toutes ces données, bien connues, vont permettre d'opposer clairement le déterminisme à l'aléatoire.

II — L'ANTAGONISME ENTRE L'ALÉATOIRE ET LE DÉTERMINISME

Aléatoire et déterminisme sont deux notions relationnelles. Il faut toujours préciser la nature des objets de science entre lesquels les relations sont déterministes ou aléatoires.

Ces *relations* se réalisent dans le temps sous forme de *processus*.

1. *Le processus déterministe*

Pour le décrire, il convient de prendre comme exemple caractéristique la chute d'un corps sur la terre car ce processus a fait l'objet de l'une des toutes premières lois naturelles.

Entre le point de départ et le point d'arrivée, la trajectoire du corps est une ligne droite, la verticale. Il est bien connu que deux points, distants l'un de l'autre, peuvent être reliés par une, et une seule, ligne droite, même s'ils peuvent être reliés par une infinité de lignes courbes.

Cette unicité de la ligne de chute a pour conséquence de la rendre prévisible dans le temps à venir. Cette prévisibilité est une caractéristique déterministe.

Pour la même raison d'unicité, le processus déterministe est en principe réversible. Si le corps en chute libre rebondissait sur un plan parfaitement horizontal, sa nouvelle trajectoire suivrait la même ligne droite en sens inverse.

En conclusion, le processus déterministe se réalise d'une, et d'une seule, manière.

2. *Le processus aléatoire*

Sa description, d'après ce qui a été écrit au début, est moins simple. En effet, il faut distinguer deux phases successives.

a) pendant la première, il y a une multiplicité de cas simultanément possibles. C'est une phase d'indéterminisme, de contingence. Cette multiplicité, qui rend l'avenir imprévisible, s'oppose à l'unicité du processus déterministe.

b) pendant la deuxième phase, l'un quelconque de ces cas possibles se réalise, à l'exclusion des autres. Cette exclusion est due à ce que les cas possibles sont incompatibles entre eux.

c) le moment qui sépare ces deux phases exerce donc un effet sélecteur, puisque tous les cas sont rejetés, sauf un. Cet effet rend irréversible le processus aléatoire.

Celui-ci diffère donc nettement du processus déterministe. Au centre de cette différence se trouve la multiplicité des cas simultanément possibles pendant la première phase. Cette multiplicité a pour conséquence que chacun de ces cas possibles a, par rapport aux autres, une certaine probabilité de se réaliser au cours de la seconde phase. La notion de *probabilité* concerne donc la première phase d'un processus aléatoire. Tournée vers un avenir imprévisible, elle est potentielle. Puisqu'elle concerne des événements qui ne se sont pas encore réalisés, elle est virtuelle. Et, puisqu'elle disparaîtra au moment de cette réalisation, elle est transitoire.

3. *Dépendance et indépendance*

Pour que l'opposition entre les deux processus déterministe et aléatoire prenne toute sa valeur scientifique, il faut que soit précisée la raison naturelle pour laquelle ils s'opposent. Cette précision est indispensable car les théories scientifiques ont pour armatures conceptuelles les relations qui existent entre les objets dont elles s'occupent. Pour atteindre à la vérité, ces relations conceptuelles doivent être en accord avec les relations naturelles telles qu'elles existent entre ces objets. Trouver ce qui distingue, réellement, aléatoire et déterminisme c'est rendre scientifique leur opposition.

Lorsqu'un promeneur, profitant d'un jour de vacances pour errer sans but de rues en rues, croise un ami qu'il n'a pas vu depuis plusieurs années parce qu'il vit dans une autre ville, leur rencontre est aléatoire. S'il avait appris, la veille, l'arrivée de cet ami et s'ils avaient décidé par téléphone de se revoir, leur rencontre aurait été déterminée, et même autodéterminée. Selon que leurs trajectoires ont été indépendantes ou dépendantes, leurs rencontres sont aléatoires ou déterminées. Aléatoire et déterminisme sont bien des processus qui se réalisent dans le temps.

Au jeu de dé, le joueur doit choisir en toute indépendance, sans rien connaître de son lancement. La chute d'un corps est déterminé par le champ de pesanteur qui le rend dépendant de la terre. La distinction de l'aléatoire et du déterminisme tient effectivement à la nature des choses. D'où son importance pour la science, qui a pour but de rendre intelligible la nature.

Cournot (1801-1877) n'a pas cessé de répéter que le hasard résulte de la rencontre de séries causales indépendantes les unes des autres. Ce qui précède mériterait d'être condensé sous la forme d'un *principe de Cournot* généralisé : Entre deux objets, les relations sont déterministes lorsqu'ils dépendent l'un de l'autre et aléatoires lorsqu'ils sont indépendants l'un de l'autre.

L'exclusion réciproque de l'aléatoire et du déterminisme a donc un fondement naturel. Cela explique qu'il existe des moyens de passer de l'un à l'autre, soit qu'on établisse des liaisons entre les objets, soit qu'on détruise des liaisons existantes.

III — L'ANTAGONISME ENTRE L'ALÉATOIRE ET LA STATISTIQUE

Au premier abord, il peut sembler paradoxal qu'il existe un antagonisme entre l'aléatoire et la statistique. Et pourtant, il faut reconnaître que la statistique, bien qu'elle soit fille du calcul des probabilités, a le pouvoir de détruire l'aléatoire. Cette action destructrice a une telle importance pour les structures mêmes de la pensée scientifique qu'il est indispensable d'en prendre connaissance.

Je vais mettre en pleine lumière cet antagonisme paradoxal. Il est apparenté à celui qui se trouve entre l'aléatoire et le déterminisme.

Jacques Bernoulli (1654-1705), en énonçant sa loi des grands nombres, allait bouleverser l'histoire du calcul des probabilités. Au début de cet article, j'ai présenté l'aléatoire en me limitant, volontairement, à un seul coup de dé. La loi de Bernoulli concerne, au contraire, un grand nombre de répétitions d'un même événement aléatoire. Ce passage de l'unité vers les grands nombres a eu pour conséquence insidieuse de perturber la nature même des problèmes.

1. La statistique considère un grand nombre de répétitions d'événements qui ont été réalisés, par exemple des naissances, des morts, des données, ... Or, le processus aléatoire est analysé, pendant sa première phase, avant que survienne la seconde phase de réalisation.

La statistique, en analysant l'ensemble des éventualités qui ont été réalisées, les répartit par sommation en *fréquences*. Et ces fréquences deviennent prévisibles. Or, cette prévisibilité, qui est très utile pour les compagnies d'assurances, est l'une des caractéristiques du déterminisme, qui l'oppose à l'aléatoire.

La loi de Bernoulli énonce que plus le nombre des répétitions est grand et plus les fréquences relatives des cas possibles tendent vers leurs probabilités respectives. Or, cette convergence des fréquences vers les probabilités a pour conséquence de dénaturer les probabilités. En effet, les fréquences, qui concernent des événements réalisés, attribuent de la réalité aux probabilités. Or, les probabilités, qui concernent la première phase des processus aléatoires, sont potentielles, virtuelles, tournées vers les avènements imprévisibles. Donc, la statistique retrouve avec ses fréquences des probabilités qui ne sont plus des probabilités.

2. Voilà plusieurs remarques qui doivent faire pressentir l'existence d'un antagonisme entre l'aléatoire et la statistique. Mais le pouvoir destructeur des calculs fréquentiels sur l'aléatoire n'a bien été mis en lumière que dans l'important article que M. Maurice Allais a publié dans le *Journal de la Société de Statistique*, du 2^e trimestre de 1983, sous le titre : « *Fréquence, probabilité et hasard* ».

Voici la phrase essentielle de cet article (p. 97) : « Tous les calculs de « probabilités » ne sont en réalité que des calculs de fréquences mathématiques excluant tout hasard dans des modèles déterministes où, loin de s'exclure les unes des autres, toutes les éventualités sont considérées, au moins implicitement, comme simultanément réalisées ». Cette phrase est bien celle d'une condamnation à mort puisqu'elle fait disparaître le hasard dans des modèles déterministes, son adversaire irréductible.

Mais cette phrase a le grand mérite de révéler comment cette opération est effectuée. La destruction de l'aléatoire est accomplie en considérant toutes les éventualités « comme simultanément réalisées ». Or, d'après la description même du processus aléatoire, ces éventualités ne sont pas simultanément réalisables, même si elles ont été simultanément possibles pendant la première phase. Le « *ou* » de pile *ou* face est exclusif. Lorsque pile gagne, face perd ; et réciproquement. Il est donc malheureusement exact que les calculs fréquentiels de la statistique, en considérant les éventualités comme simultanément réalisées, atteignent en plein cœur le processus aléatoire, et le tuent.

M. Allais, qui est partisan du déterminisme universel, puisqu'il est convaincu (p. 84) « que la nature elle-même est totalement déterministe », n'est pas ému par ce meurtre de l'aléatoire dont il dit (p. 89), comme beaucoup d'autres auteurs, le plus grand mal : « En appeler au hasard, concept qui n'est qu'une pure création de notre esprit, pour expliquer le monde réel, ce n'est en réalité qu'une manifestation de je ne sais quelle démission de l'intelligence, un principe mythique comme celui auquel font appel les peuples primitifs lorsqu'ils expliquent tout par le surnaturel ».

3. Et pourtant, M. Allais sent lui-même qu'une telle déclaration n'est pas parfaitement pertinente. Il distingue explicitement (p. 74) le « calcul des probabilités » du « calcul des fréquences mathématique ». Il écrit (p. 98) : « Les variables aléatoires correspondent aux processus aléatoires où le hasard intervient effectivement et les variables fréquentielles aux modèles fréquentiels déterministes dont il est totalement exclu ». Dans ces conditions, les assassins de l'aléatoire sont les calculs fréquentiels de la statistique, mais non les calculs des probabilités.

Comme le remarque M. Allais (p. 92) : « Il y a une différence profonde de nature entre les processus empiriques aléatoires et les modèles fréquentiels déterministes qui leur correspondent ». Il est donc exact que la loi des grands nombres a eu pour conséquence insidieuse de perturber la nature même des problèmes.

4. Cette conclusion incite à revenir, dans l'histoire du calcul des probabilités, à sa première époque, avant que ne fût énoncée la loi de Bernoulli.

L'acte de naissance du calcul des probabilités fut la résolution par Fermat (1601-1665) et par Pascal (1623-1662), en 1654, du *problème des partis*. Par coïncidence aléatoire, cette même année fut aussi celle de la naissance de Jacques Bernoulli.

Il est indiqué d'analyser ce problème des partis. Plusieurs joueurs jouent à un jeu de hasard. Chacun d'eux a donné une même somme pour former un enjeu équitable. La règle du jeu prescrit que le jeu sera joué plusieurs fois de suite et que le gagnant sera celui qui, le premier, aura gagné (N) fois, même si ses coups gagnants ne se sont pas suivis. — La particularité du problème des partis est, alors, que l'on interrompt le jeu lorsque l'un des joueurs a gagné (N-1) fois. Et la question fut de savoir comment répartir équitablement l'enjeu entre les joueurs, en tenant compte des résultats de tous les coups précédents. Pour résoudre ce problème, il a fallu faire intervenir les chances que chacun des joueurs avait de gagner finalement l'enjeu, dans ce jeu qui avait été arrêté en cours de route. Pascal et Fermat traitèrent ce problème un peu différemment par l'analyse combinatoire. Et Pascal put écrire à Fermat qu'il était heureux de constater que la vérité est la même à Toulouse et à Paris.

L'intérêt de ce problème est que les probabilités, qui furent nécessaires à sa solution, sont entrées dans l'histoire à propos d'éventualités qui n'étaient pas encore réalisées, puisque le jeu avait été interrompu.

Au contraire de la statistique, le calcul des probabilités n'est en rien responsable du meurtre de l'aléatoire. Mallarmé a eu raison lorsqu'il a écrit : *Un coup de dé jamais n'abolira le hasard*. En se référant aux surréalistes, on a parfois l'impression que les hommes de lettres soient plus sensibles à l'aléatoire que les hommes de sciences.

IV — L'EXPÉRIENCE DE GALTON

Pour plus de clarté, il est utile de méditer sur l'exemple de l'expérience de Galton. A son propos, M. Allais pose la question suivante (p. 77) : « Le processus de la machine de Galton est physiquement déterministe. Comment donc expliquer qu'il suive la loi du soi-disant « hasard ». »

Dans cette machine, on laisse tomber, par un même orifice, des billes sphériques, homogènes et identiques, les unes après les autres. Effectivement elles tombent dans le champ de pesanteur qui est le facteur principal du déterminisme dans lequel nous vivons en permanence. Mais, à l'intérieur de l'appareil, des brisures de ce déterminisme sont provoquées. Les billes viennent heurter des aiguilles cylindriques qui ont été implantées solidement en travers de leurs trajectoires. Les axes des aiguilles sont fixés perpendiculairement aux lignes verticales que suivent, par déterminisme, les centres de gravité des billes. Et ainsi, toute bille, arrêtée par une aiguille mais sans pouvoir s'y arrêter par raison d'instabilité, a autant de chances de glisser sur elle soit vers sa droite, soit vers sa gauche. Dans ce glissement à droite ou à gauche, le « ou » est aussi exclusif que dans un coup de pile ou face. Comme la droite et la gauche sont également possibles, on retrouve le même aléatoire que dans ce jeu. Une brisure de déterminisme a fait apparaître son opposé, l'aléatoire.

D'ailleurs, la condition de l'aléatoire est réalisée dans l'expérience de Galton. Chacune des billes trace sa trajectoire indépendamment des autres. Si on laissait tomber la même bille plusieurs fois de

suite, elle tracerait chaque fois une trajectoire différente, indépendamment des précédentes. Chacune des billes, à chaque heurt avec une aiguille, entre en relation aléatoire avec le bâti de l'appareil. Chacune de ces rencontres se décrit comme un processus aléatoire à deux cas également possibles. Les calculs combinatoires élémentaires suffisent pour connaître la répartition des diverses trajectoires dues aux rencontres successives des billes avec les aiguilles du haut en bas de l'appareil. Ces calculs sont effectués sans aucun recours à la statistique. D'ailleurs, on retrouve les nombres mêmes du triangle arithmétique de Pascal, qui mourut bien avant que Bernoulli n'énonce sa loi.

Lorsqu'on a fait l'expérience, on a récolté les billes au-dessous de l'appareil, selon leurs lieux d'arrivée, où elles s'assemblèrent avec celles qui eurent le même point d'arrivée. Et, finalement, le rassemblement général des billes s'est réalisé sous une courbe en cloche, qui fut en accord avec celle du calcul des probabilités.

En conclusion, l'aléatoire est présent au centre même de l'expérience de Galton. Celle-ci relève du calcul des probabilités et non des calculs fréquentiels de la statistique.

Mais, pour mettre l'aléatoire à sa véritable place dans le domaine de la science, il faut considérer le rôle qu'il a à jouer dans une véritable théorie scientifique. Pour cela, je vais choisir la théorie de l'autonomie, parce qu'elle est dans l'obligation d'utiliser avec prédominance l'aléatoire. En outre, cette théorie a la particularité de concerner directement l'être humain.

V — LA PHYSIOLOGIE THÉORIQUE

Pour remplir ce programme, je suis obligé de rappeler des souvenirs personnels, parce qu'ils concernent le thème même de cet exposé. En effet, mon premier acte de physiologie théorique, en avril 1937, a consisté à rejeter la statistique, dont se servait la physiologie, tout en conservant l'aléatoire. Et, dans la suite, l'aléatoire s'est révélé indispensable pour l'élaboration de la théorie de l'autonomie. Je voudrais montrer pourquoi cet usage de l'aléatoire a été indispensable.

Par définition, l'être autonome dispose de ses propres lois. Et c'est parce qu'il possède ce pouvoir qu'il échappe aux déterminismes du milieu extérieur et qu'il peut entrer en relations aléatoires avec lui. C'est pour cela que cette théorie a inévitablement besoin de la relation et du processus aléatoires. L'usage de l'aléatoire tient à la nature même des choses, à ce fait de disposer de ses propres lois.

Et, tout d'abord, cette théorie doit remplir une condition majeure, celle de pouvoir affirmer, d'après les données mêmes de l'expérience, l'existence réelle de l'être autonome. Cette exigence est nécessaire pour faire de cet être un véritable objet de science.

Cette condition a été remplie grâce à Claude Bernard (1813-1878). Celui-ci a décrit la « forme de vie libre et indépendante », qu'il vaut mieux qualifier d'autonomie. Et il a découvert, par l'expérimentation, les mécanismes grâce auxquels cette autonomie est acquise, réellement, à partir du milieu extérieur.

Sans entrer dans les détails, il faut signaler les deux mécanismes essentiels de cette acquisition d'autonomie : les mises en réserve et les autorégulations. Je vais montrer que la théorie de ces mécanismes exige l'aléatoire.

La mise en réserve est indispensable à l'acquisition de l'autonomie. L'organisme, après avoir prélevé les aliments de ses métabolismes dans le milieu extérieur, les met en réserve, à l'intérieur de lui-même. Et, ensuite, il vivra à partir de ses propres réserves et non plus à partir de ce milieu extérieur. Il aura donc brisé des déterminismes dans ses relations métaboliques avec l'extérieur. Il est essentiel de reconnaître que toute mise en réserve brise des déterminismes.

Ensuite, l'organisme contrôle lui-même l'usage de ses réserves grâce à des autorégulations. Grâce à ce jumelage de réserves et de régulations il maintient constantes les conditions de la vie de ses

organes, malgré les variations du milieu extérieur. C'est cette constance des milieux intérieurs qui est, selon Cl. Bernard, « la condition de la vie libre, indépendante ». En acquérant son autonomie l'organisme s'est rendu indépendant du milieu extérieur. Donc, ce jumelage de réserves et de régulations effectue, à la fois, une rupture de relations déterministes et l'instauration de relations aléatoires.

Pour être encore plus clair, il faut préciser cette irruption de l'aléatoire. Les mécanismes régulateurs sont mis en action par des perturbations, sans cesse renouvelées, issues de l'extérieur, et ils s'opposent à leurs effets. Mais ces perturbations sont aléatoires. Pour être efficaces, les régulations doivent donc avoir un pouvoir contre-aléatoire. Et ce sont les réserves qui leur donnent ce pouvoir, car elles peuvent être mobilisées au coup par coup, selon les aléas des perturbations extérieures. Tel est *l'effet contre-aléatoire du jumelage des réserves et des régulations* que j'ai présenté dans mon livre de 1942, *Vie et Probabilité*.

Ces indications suffiront pour montrer combien l'aléatoire est indispensable dans la théorie de l'acquisition de l'autonomie métabolique.

A cette première autonomie les animaux en superposent une seconde : l'autonomie motrice. Pour cela leur organisme élabore des mécanismes articulés et des systèmes nerveux.

Cette nouvelle variété d'autonomie a permis de soumettre la théorie de l'autonomie à des contrôles expérimentaux, en montrant que les comportements moteurs de l'homme et des animaux peuvent avoir des relations aléatoires avec le milieu extérieur. La Société de Statistique a connu les travaux que j'ai effectués à ce sujet, avec l'aide de mon ami René Malterre, puisque c'est devant elle que ces travaux ont été présentés. Ils ont été publiés dans le *Journal de la Société : 1/Théorie probabiliste de la foule* — 1950 — n° 3 — 2/ *Le mouvement brownoïde de l'homme et des animaux* — 1953 — n° 4. Et ce sont eux qui m'ont valu l'honneur d'être élu président de cette Société.

Deux variétés d'expériences avaient été faites, à l'image de celles qui relèvent de la théorie des états fluides de la matière.

Les unes concernaient les déplacements d'un seul individu, lorsqu'il se meut en toute indépendance. Je les ai qualifiés de *brownoides* en raison de leur ressemblance avec les déplacements aléatoires des particules browniennes. — D'autres expériences ont concerné les fluctuations aléatoires des densités d'individus dans une foule de têtards en nage libre dans une même enceinte. Ces fluctuations étaient comparables à celles qui ont lieu à l'intérieur d'un gaz enfermé dans un récipient.

Dans toutes ces expériences, il a fallu réaliser la condition de l'aléatoire, l'indépendance. Soit l'exemple des têtards. Ils furent choisis, non seulement parce qu'ils étaient petits et facilement repérables, mais parce qu'ils étaient indépendants les uns des autres. En particulier, en raison de leur état larvaire, ils n'avaient aucune attraction sexuelle les uns pour les autres. Mais il a fallu assurer leur indépendance par rapport au milieu extérieur. Comme ils sont très sensibles à la lumière, celle-ci les conditionne au point de les attirer en masse dans une même direction. L'expérience a eu lieu dans un milieu où le champ lumineux était isotrope. Manifestement, les fluctuations de leurs répartitions pendant un jour entier ont été aléatoires.

En conclusion, la théorie de l'autonomie physiologique, soit métabolique, soit motrice, doit faire un usage courant de l'aléatoire. Et cela parce qu'elle a pour objet un être qui dispose de ses propres lois. Les théories déterministes, auxquelles la science accorde la prééminence en raison de leur antériorité de plusieurs siècles et de leurs succès, ont pour objets des systèmes qui sont soumis aux déterminismes des lois naturelles de l'environnement. L'être autonome acquiert la maîtrise de ces mêmes lois naturelles. Il transforme le déterminisme en autodétermination. Et voilà pourquoi j'ai pu placer au fondement de la physiologie théorique cet énoncé qui unit intimement l'aléatoire à l'autonomie : En acquérant son autonomie, à partir du milieu extérieur et par rapport à lui, l'organisme acquiert la possibilité d'entrer avec lui en relations aléatoires.

Cette théorie de l'autonomie a été élaborée avec le calcul des probabilités, et sans statistique. Mon premier livre a pour titre : Vie et Probabilité, et non : Biologie et Statistique. J'ai présenté une théorie probabiliste, et non statistique, de la foule. Un jour, j'ai déclaré à M. Fréchet : je suis probabiliste et non statisticien; et il m'a répondu que jamais les statisticiens n'accepteraient cette déclaration. Je n'ai rien ajouté tout en étant persuadé qu'ils l'accepteraient un jour.

VI — LE LIBRE ARBITRE DE L'HOMME

L'homme, beaucoup plus que tous les animaux, est doué d'activités mentales. Celles-ci sont autonomes par rapport aux fonctions sensorielles et motrices qui le mettent en relations avec son environnement.

1. Lorsque l'homme utilise son autonomie intellectuelle pour rendre intelligible la nature, il crée la science. Pour cela, il élabore des théories scientifiques, qu'il développe en concevant des hypothèses. Le fait que ses hypothèses sont toujours plus ou moins probables est en accord avec le fait que son activité intellectuelle est autonome. Autonomie, aléatoire et probabilité sont intimement associés.

Mais cette probabilité des hypothèses diffère, dans sa nature, de la probabilité dont il a été question jusqu'ici et qui a été qualifiée d'*objective* parce qu'elle concerne des relations entre des objets de science. La probabilité des hypothèses est qualifiée de *subjective* parce qu'elle concerne les relations entre le sujet qui pense la nature et la nature qui est pensée.

Une hypothèse est probable parce que d'autres hypothèses sont simultanément pensables, sinon elle serait certaine. Ces différentes hypothèses ont, les unes par rapport aux autres, leurs probabilités propres, qui sont évaluées d'après leurs valeurs de vérité. Le mot : *probabilité* retrouve alors son sens étymologique. En latin, l'adjectif : *probabilis* est apparenté au verbe : *probo*, prouver, approuver, éprouver. Une hypothèse est d'autant plus probable qu'elle mérite plus d'être approuvée.

Toutes ces remarques fondamentales relèvent directement de la description du processus aléatoire.

2. Lorsque l'homme utilise son autonomie mentale pour diriger sa conduite, il se sert de son libre arbitre. Avoir le libre arbitre c'est avoir la liberté d'arbitrer. L'arbitrage a autant de valeur que la liberté.

La science déterministe était incapable, par sa nature même, de rendre intelligible le libre arbitre. Le résultat fut qu'elle l'a rejeté formellement et avec obstination. Cela revenait, malheureusement, à nier l'homme lui-même. La théorie de l'autonomie, en lui rendant son libre arbitre, lui permettra de surmonter ce nihilisme personnel.

Mais, pour réussir cette partie décisive, il faut changer de science. La science a pour projet de rendre intelligible la nature. Dans ce but, elle élabore ses théories. Celles-ci ont pour armatures conceptuelles les relations qui existent entre les objets dont elles s'occupent. D'après ce qui précède, la science doit utiliser, selon les besoins, au moins deux variétés de relations : la déterministe et l'aléatoire. C'est la raison majeure pour laquelle il faut accepter, et non exclure, l'aléatoire.

C'est un fait que la théorie de l'autonomie a permis d'assurer un support scientifique au libre arbitre grâce à l'aléatoire. En effet, l'acte de libre arbitre, identique à l'acte volontaire qui a été décrit depuis des millénaires, se réalise selon les deux phases du processus aléatoire :

a) pendant la première, l'être humain est aux prises avec de multiples actes simultanément possibles. C'est une phase de délibérations, d'incertitudes, d'indéterminisme. Cette multiplicité rend son avenir imprévisible, pour lui-même et pour son entourage.

b) pendant la deuxième phase, il exécute l'un des actes qui étaient possibles, à l'exclusion des autres.

c) le moment qui sépare les deux phases est celui de l'arbitrage. Cette décision est un choix sélecteur puisque tous les actes possibles sont rejetés, sauf un. Le passage à l'action rendra ce choix irréversible, même si, ultérieurement, il pourra être corrigé par un acte différent.

D'après la théorie de l'aléatoire, la multiplicité des actes simultanément possibles, au cours de la phase de délibération, a pour conséquence que chacun de ces actes doit avoir, par rapport aux autres, une certaine probabilité d'être réalisé au cours de la seconde phase. Or, effectivement, la *probabilité morale* existe. Pour s'en convaincre, il suffit de relire les *Provinciales* de Pascal. Il est assez pittoresque que, dix-huit mois avant d'écrire sa première provinciale, Pascal ait créé le calcul des probabilités. Il s'y réfère peut-être lorsque, à propos de la casuistique qui est l'art d'évaluer les probabilités morales, il fait quelque part une allusion très discrète aux méthodes les plus modernes.

Cette *probabilité morale*, qui relève de l'autonomie mentale, a la même caractéristique d'être une approbation que la *probabilité subjective* des hypothèses. Une action est approuvée d'après sa valeur morale de même qu'une hypothèse est approuvée d'après sa valeur de vérité.

Mais la morale a toujours eu beaucoup plus de difficultés avec ses valeurs que la science avec les siennes. Ces difficultés ont dû hanter les êtres humains depuis qu'ils vivent les uns avec les autres. Le *probabilisme moral*, très longtemps avant d'être défini, n'a pas pu ne pas être mis en pratique dans les civilisations les plus anciennes. Il est hors de question de traiter ici ces problèmes gigantesques, les plus humains qui soient. Mais il était utile de les signaler afin de montrer les dimensions que peut atteindre la théorie de l'autonomie, qui a, au centre de ses armatures conceptuelles, l'aléatoire.

3. Un certain nombre de remarques sont, pourtant, indispensables.

La théorie de l'autonomie, même si elle est la seule à être capable de rendre à l'homme son libre arbitre, reste incapable de lui fixer les règles de sa mise en pratique. La science n'est pas normative. Elle doit s'effacer devant la morale et le droit. C'est un fait de profonde signification que la science traite des lois naturelles et le droit des lois juridiques.

L'usage du libre arbitre est une fonction essentiellement individuelle. Et chacun s'en sert, jour après jour, dans des circonstances qui sont, chaque jour, différentes. Dire que cet acte est accompli selon les deux phases du processus aléatoire, cela ne signifie pas que tout homme prend ses décisions au hasard. La phase qui précède l'arbitrage est celle des délibérations intérieures qui peuvent être dramatiques. Mais, tant que la décision n'est pas prise, l'imprévisibilité reste entière. C'est parce que l'homme dispose librement de ses activités mentales que ses comportements volontaires entrent en relations aléatoires avec le milieu extérieur.

Le problème philosophique de la liberté humaine est alors posé d'une manière aiguë. La science déterministe le simplifie en niant cette liberté, en contradiction ouverte avec les réalités humaines. La théorie de l'autonomie permet une analyse beaucoup plus pertinente en distinguant ce qui est *détermination* et ce qui est *conditionnement*. Pour cela elle se sert de la description même du processus aléatoire, avec la multiplicité des actes simultanément possibles. Un facteur déterminant imposerait aveuglément à cette multiplicité son unicité de réalisation. Un conditionnement a une action beaucoup plus nuancée : il peut diminuer le nombre des actes possibles, sans détruire leur multiplicité; il peut, au contraire, augmenter ce nombre; et surtout il peut modifier la répartition des probabilités morales entre les divers actes possibles. Alors intervient l'art de la casuistique, dont les cas de conscience tiennent la place des cas possibles des processus aléatoires. Et, quelle que soit l'intensité des déterminismes extérieurs, aucun ne peut briser les décisions intérieures du libre arbitre. L'histoire a conservé le souvenir d'êtres humains qui ont supporté avec héroïsme les tortures les plus barbares pour ne pas trahir leur parole d'honneur.

Si, du niveau des hommes individuels, on s'élevait à celui des ensembles humains, tous ces problèmes risqueraient de prendre une dimension planétaire. Je me contenterai de redire ce que je disais en 1952 dans mon livre *De la probabilité en histoire — L'exemple de la campagne d'Égypte*. Je parlais

d'autonomie politique. Je conseillais d'éviter les gaspillages des réserves naturelles et de régulariser l'histoire. J'imaginai de donner une orientation générale à la politique planétaire. Je suggérais d'ajouter de l'intelligence à l'histoire. Tout cela était, manifestement, de l'utopie. Les méditations sur l'aléatoire peuvent mener loin.

