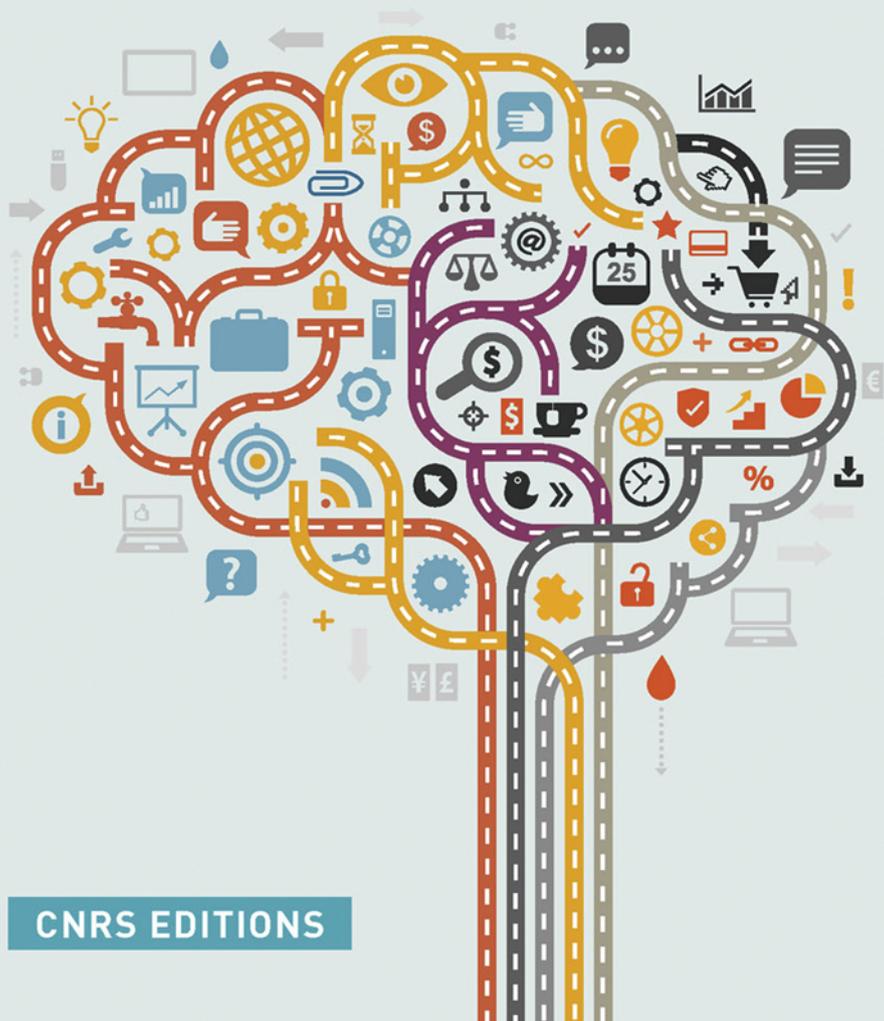


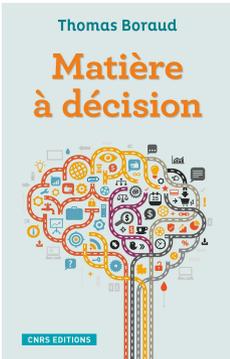
Thomas Boraud

# Matière à décision



CNRS EDITIONS

## Présentation de l'éditeur :



Et si notre faculté à prendre des décisions relevait plus du hasard que d'un processus rationnel ? On a longtemps admis que, chez l'homme, la prise de décision résultait d'un processus cognitif et psychologique : l'esprit décide, le corps obéit. Or, le schéma est inverse : le mécanisme décisionnel est produit par la matière cérébrale. C'est un phénomène aléatoire qui résulte de processus de compétitions au sein d'un réseau dont l'architecture a peu évolué depuis les premiers vertébrés.

L'extraordinaire développement du cortex, qui a rendu possible le développement de grandes capacités d'abstraction, n'a pas modifié la structure initiale du réseau de la décision : le processus conserve sa nature aléatoire, ce qui limite la capacité de l'*homo sapiens* à raisonner de façon rationnelle. Il en résulte que lorsqu'un individu pèse le pour et le contre, il ne fait ni plus ni moins que de s'en remettre au hasard de dés virtuels. Apprendre consiste dès lors à piper ces dés en sa faveur... Mais ce qui, selon des critères purement économiques, n'est qu'une rationalité limitée, est peut-être le prix à payer pour conserver la grande capacité d'adaptation, principale spécificité de l'espèce humaine.

Un livre pour mieux comprendre comment fonctionne notre cerveau et comment s'opèrent nos choix.

*Thomas Boraud, directeur de recherches au CNRS, est un neurobiologiste spécialiste de l'activité neuronale. Il dirige une équipe de recherche à l'Institut des maladies neurodégénératives de l'université de Bordeaux dont les travaux portent sur l'identification des substrats neurobiologiques des processus de prise de décision.*

**Thomas Boraud**

# **Matière à décision**

**CNRS ÉDITIONS**

15, rue Malebranche – 75005 Paris



# Sommaire

## Première Partie : Introduction

Prolégomènes.....	7
Chapitre 1 : Vingt-cinq siècles de débat : Une brève histoire de la décision.....	11
Chapitre 2 : Le fantôme dans la machine : L'approche neurobiologique de la décision.....	27

## Deuxième Partie : Neurobiologie de la décision

Chapitre 3 : Moderato Cantabile : Les grands principes du transfert de l'information dans les tissus nerveux .....	41
Chapitre 4 : L'émergence de la décision.....	51
Chapitre 5 : Le dilemme de la lamproie .....	69
Chapitre 6 : Apprendre pour gagner plus.....	87
Chapitre 7 : Du pallium au cortex : Le putsch du télencéphale.....	97
Chapitre 8 : L'Éminence grise.....	109
Chapitre 9 : Du Diachétron à l'homme : Hiérarchisation de la décision .....	119
Chapitre 10 : Bruit et rationalité .....	129

*Matière à décision*

Troisième Partie :  
La Rationalité est-elle rationnelle ?

Chapitre 11 : La Raison en question .....	135
Chapitre 12 : Représentation mentale.....	139
Chapitre 13 : Miroir, mon beau miroir !.....	147
Chapitre 14 : Anticipation et Utilité.....	151
Chapitre 15 : Le stratège et les Pinups.....	159

Quatrième Partie :  
Les ordinateurs rêvent-ils de bananes électriques ?

Chapitre 16 : Approche Automatique de l'apprentissage par renforcement.....	167
Chapitre 17 : La machine à décision .....	175

Cinquième Partie :  
Aux limites de la Rationalité

Chapitre 18 : Biais et heuristiques .....	187
Chapitre 19 : Les Pathologies de la décision.....	197
Chapitre 20 : Questions ouvertes.....	205
Conclusions.....	213
Remerciements.....	219
Lexique des termes techniques et des abréviations.....	221
Bibliographie.....	231

Première Partie :

## **Introduction**



# Prolégomènes

« *Agathe Tyche*<sup>1</sup> »

N'en déplaise aux thuriféraires de Malraux, le XXI<sup>e</sup> siècle sera celui de la décision et ses nouveaux héros, les décideurs ! Nous sommes bien forcés de constater que nous avons totalement oublié que ce n'a pas toujours été le cas. Le concept de décision est une obsession purement occidentale. Il est finalement apparu assez tardivement à l'échelle de l'humanité. Il suffit de jeter un œil aux épopées antiques pour s'en rendre compte<sup>2</sup> : Gilgamesh, les héros du Mahabharata ou ceux mis en scène par Homère<sup>3</sup>. N'est-il pas frappant à quel point ils ne semblent pas agir selon leur volonté propre, mais guidés par des forces extérieures ?

Même après l'émergence du concept de raison chez les philosophes grecs, la littérature n'est pas immédiatement envahie par

---

1. « À la Bonne Fortune ! » C'était la devise de Démosthène, orateur et homme politique Athénien du IV<sup>e</sup> siècle avant J.-C. Il a lutté toute sa vie contre les volontés d'hégémonie du royaume macédonien incarné par Philippe II, Alexandre le Grand et Antipater.

2. J'élimine les textes purement mythologiques ou hagiographiques, qui se disqualifient d'eux-mêmes par leur dimension cosmogonique.

3. La liste est loin d'être exhaustive, je me limite aux plus connus en Occident. Bien que retranscrites tardivement par des érudits christianisés (vers le XII<sup>e</sup> siècle), le cas des sagas légendaires en est un autre exemple. Elles font références à des mythes anciens dont les protagonistes sont les jouets permanents du Destin, force centrale de la mythologie germanique à laquelle même les dieux ne peuvent échapper.

les équivalents antiques de nos managers exécutifs. Qu'il s'agisse des personnages historiques relatés dans les annales ou des personnages de fiction, ils semblent tout autant être les jouets du destin que leurs ancêtres présocratiques. Si César semble animé d'un véritable libre arbitre, il n'en est rien : son fameux « *Alea jacta est* » relaté par Suétone révèle en fait sa croyance en sa bonne fortune au même titre que Démosthène qui avait gravé sa devise sur son bouclier pour se placer sous sa protection. Bien qu'imprégnés des enseignements des philosophes, ces grands hommes, comme la plupart de leurs contemporains étaient persuadés qu'une force supérieure, qu'ils appelaient Sort ou Fortune, veillait sur leur destinée et leur dictait leurs actions... Cela ne leur a d'ailleurs pas spécialement porté chance, César est tombé sous les coups des conspirateurs des Ides de Mars et Démosthène fut contraint à s'empoisonner. À cette époque, la capacité de décision chez les dirigeants n'était d'ailleurs pas le critère principal de popularité. D'après Diodore de Sicile, par exemple, celle des rois gaulois dépendait des moissons. Si elles étaient très mauvaises, ils étaient sacrifiés et on en élisait un autre<sup>4</sup>.

L'avènement du christianisme n'a pas changé cet état de fait, les preux des chansons de Geste ou les personnages des chroniques médiévales ont simplement substitué la foi à la Fortune<sup>5</sup>.

Si la notion de libre arbitre émerge des querelles religieuses du Moyen Âge, il faudra attendre que l'humanisme réinterprète les sources antiques à travers le prisme du christianisme pour que les héros de la littérature prennent enfin leur destin en main. Cela se traduira par une nouvelle figure littéraire immortalisée par Corneille : le dilemme qui frappe les personnages condamnés à choisir entre leur devoir et leurs émotions.

---

4. Quand on voit à quel point la popularité de nos chefs d'États dépend des fluctuations de la Bourse sur laquelle ils n'ont pas de pouvoir direct, on peut se demander si derrière la mystique de l'action, nos croyances profondes sont si éloignées de celle de nos ancêtres.

5. Le succès du culte de la Vierge est probablement une subsistance du culte de la Fortune avec qui elle partage les mêmes attributs de déesse bienveillante.

Dès lors, la décision et les motivations qui la sous-tendent furent de plus en plus au cœur des préoccupations de la civilisation occidentale qui commence à s'étendre et à contaminer la planète jusqu'à l'hégémonie. C'est la philosophie du siècle des Lumières et son aspiration à l'universalité qui va contribuer à sa propagation. Il est vrai que l'établissement de régimes démocratiques présuppose que les citoyens sont des individus rationnels. Il faut donc les en convaincre, quitte à établir une échelle de valeur entre l'individu rationnel (*l'homo occidentalis*) et le reste de l'humanité (incluant la femme). Heureusement, la décolonisation et les mouvements féministes ont fini par niveler les choses et la rationalité a été accordée en même temps que le droit de vote aux anciens peuples colonisés (qui se sont dotés de régimes plus ou moins démocratiques à leurs tours) et aux femmes. Au xx<sup>e</sup> siècle le choix et l'engagement, son avatar idéologique, ont remplacé le destin ou la foi en tant que principe moteur. Du choix initial dépend le devenir de l'individu dans nos sociétés. À titre d'exemple, la vie politique française résonne encore de l'opposition lointaine entre ceux qui ont choisi la collaboration avec l'occupant et ceux qui ont choisi la résistance. Plus prosaïquement, notre système éducatif demande à nos rejetons de faire à 18 ans le choix qui conditionnera toute leur vie professionnelle (et par là même leur vie sociale et très probablement familiale). Enfin au xxi<sup>e</sup> siècle comme nous l'avons déjà signalé, le héros des Temps modernes, celui qu'on nous fournit comme modèle, c'est le décideur, l'executive manager, celui qui prend des décisions, quelles qu'elles soient. Il n'y a pas très longtemps, l'un de nos dirigeants, s'employait à communiquer sur sa capacité à décider en réaction au moindre fait sociétal. Par contraste, son successeur a atteint des scores de popularité abyssaux parce qu'on lui reproche de ne pas en prendre assez.

Nous sommes donc imprégnés par une véritable mystique du choix. Ceci implique que nos décisions soient parfaitement rationnelles et raisonnées (nous sommes la patrie de Descartes quand même !). Or, rien n'est moins sûr.

## *Matière à décision*

Ma décision d'écrire ce livre en est une excellente illustration. Lorsque je l'ai prise, cela m'a paru une idée rationnelle. Il me semblait judicieux de faire partager les connaissances que j'avais acquises dans les différents domaines qui abordent le sujet et de proposer mon point de vue sur les bases neurobiologiques des processus de choix. Puis, lorsqu'il a fallu s'y mettre, découragé par l'ampleur de la tâche, j'en ai été beaucoup moins convaincu. Tout d'abord mes connaissances n'étaient pas toutes aussi complètes que j'aimais à m'en persuader. J'avais aussi accumulé pas mal d'idées fausses. J'espérais que ce serait facile, que j'aurais tout le loisir d'y consacrer le temps nécessaire et que je prendrais plaisir au processus d'écriture. Les deux premières prédictions se sont révélées erronées. Je ne suis qu'un tâcheron de l'écriture et j'ai dû faire de nombreux sacrifices pour pouvoir me dégager le temps nécessaire. J'ai notamment consacré moins de temps à ma famille et à mes activités sportives tout en augmentant ma consommation de tabac et café, ce qui pourrait avoir un impact sur ma santé. J'ai aussi écrit moins de projets de recherche ce qui a significativement diminué les financements de mon équipe. En revanche j'y ai effectivement pris du plaisir malgré la difficulté et la réécriture permanente. Il n'empêche que j'ai pris cette décision sur de mauvaises bases et qu'elle a eu, aussi, des conséquences négatives. Ainsi tout porte à croire que la décision rationnelle aurait été de décider de ne pas écrire ce livre. Maintenant que l'ouvrage est terminé, que j'ai actualisé mes connaissances et que j'ai, tout du moins je l'espère, corrigé mes idées fausses, il reste à savoir si le jeu en valait la chandelle. Mais ça, ce sera à vous, lecteurs, d'en décider.

*Bordeaux, le 25 octobre 2013*  
*Biarritz, le 28 septembre 2014*

## Chapitre premier

# Vingt-cinq siècles de débat : Une brève histoire de la décision

« *It takes five seconds to decide if you wanna be a problem or if you wanna be a solution*<sup>1</sup> »

S'il suffit en fait de quelques centièmes de secondes pour prendre une décision, la question du processus sous-jacent pré-occupe nos intellectuels depuis environ 2 700 ans, date approximative de l'invention de la philosophie, dans la Koinè grecque quelque part sur les côtes occidentales de l'Asie Mineure.

### Les prémices : de la raison au libre arbitre

Le discours rationnel, *logos* (verbe) en grec, préoccupe les philosophes grecs classiques de Thalès aux aristotéliens. Il semble que ce soit Aristote qui ait été le premier à avoir formalisé le rapport entre décision et *logos*<sup>2</sup>. Mais chez les aristotéliens, la notion de *logos* ne dissocie pas encore la volonté qui anime les raisonnements et la rationalité telle que nous l'entendons. C'est donc un terme latin (*ratio*) qui va définir spécifiquement

---

1. « Il vous faut 5 secondes pour décider si vous voulez être un problème ou si vous voulez être une solution » (harangue de Brother J.-C. Crawford pour annoncer le MC5 avant le concert mythique de Detroit en octobre 1968).

2. « La fonction de l'homme consiste [...] dans des actions accompagnées de raison » dans *Éthique à Nicomaque*.

la faculté de l'esprit dont la mise en œuvre permet de fixer des critères de vérité basés sur la quantification. Entre le III<sup>e</sup> siècle avant et le III<sup>e</sup> siècle après J.-C., stoïciens, qui professent que la raison doit l'emporter sur le logos et épicuriens, défenseurs de la théorie inverse, vont s'opposer en une dialectique qui sera synthétisée au XVII<sup>e</sup> siècle par Pascal avec sa formule : « le cœur a ses raisons que la raison ne connaît pas ». Avec l'avènement du christianisme, le débat se cristallise ensuite autour du libre arbitre suite à sa conceptualisation par saint Augustin<sup>3</sup>. Docteurs de l'Église d'abord, puis l'école scolastique (Abélard, Buridan) s'écharperont pendant plusieurs siècles à coup de thèses, d'encyclique, et d'excommunication pour décider si l'homme bénéficie ou non du dit libre arbitre et si ses actes (avec à la clef le salut éternel) sont prédéterminés ou pas<sup>4</sup>. À la Renaissance, le débat sera repris de façon moins virulente par les humanistes (Érasme, Montaigne). Il sera l'une des origines de la Réforme.

## À trop philosopher, on en perd la raison

Il faudra attendre le XVII<sup>e</sup> siècle pour que les laïcs reprennent la main, tout en restant sous la surveillance étroite de l'Église toujours prête à excommunier ceux qui formulent des thèses trop audacieuses. Descartes brosse la censure dans le sens du poil en formulant son fameux « *cogito ergo sum*<sup>5</sup> ». Il définit ainsi l'homme par la conscience de soi et instaure la dichotomie entre l'homme, être pensant et le reste du monde animal. Ce dualisme

---

3. Saint Augustin (354-430) est un théologien et père de l'Église. Écrivain prolifique, son œuvre a inspiré de nombreux philosophes dont Pascal et Descartes.

4. C'est d'ailleurs de ces débats rhétoriques qu'est née la pratique de citation des sources qui est le principe fondateur des publications scientifiques actuelles et le principal indicateur de la scientométrie moderne. Le credo du chercheur du XXI<sup>e</sup> siècle pourrait se résumer à : « Dis-moi combien de fois tu es cité et je te dirai qui tu es ! ».

5. « Je pense donc je suis ». Est-il besoin de le traduire ?

cartésien est encore prégnant de nos jours. Les tenants de la théorie de l'esprit concèdent une conscience de soi à toute espèce animale capable de se reconnaître dans un miroir (ce qui inclut jusqu'à présent les grands singes<sup>6</sup>, les orques, les éléphants et la pie<sup>7</sup>), mais nombreux sont ceux qui s'y opposent violemment et nient l'existence de décisions non conscientes. De façons étonnantes, les fondamentalistes du dualisme cartésien se recrutent aussi bien chez les scientifiques que chez les psychanalystes lacaniens ou les extrémistes religieux de tous bords. Descartes portera un coup d'arrêt à l'étude de la décision en soit par les philosophes. Ceux-ci vont s'en détourner pour étudier plutôt l'éthique de l'action à l'instar de Spinoza ou des champs d'application de la rationalité (Kant).

C'est grâce à Pascal que la question va prendre de nouvelles directions. Ce génial contemporain de Descartes ne s'est pas contenté de faire la synthèse du vieux débat entre aristotéliens et stoïciens mais son célèbre pari<sup>8</sup> sur l'existence de Dieu va introduire l'utilisation des probabilités pour décider dans un contexte d'incertitude. Pour Pascal, il se résout de la façon suivante : si je parie que Dieu existe, au mieux (s'il existe), je gagne la vie éternelle ; au pire (s'il n'existe pas), je perds les plaisirs de la vie terrestre que Pascal estime négligeables. Si je choisis de ne pas croire en Dieu, ma perte maximum est la damnation éternelle. Donc pour Pascal croire en Dieu est la seule chose raisonnable, celle qui réduit au maximum les pertes. Ce pari est à l'origine de la formalisation mathématique du problème de la prise de

---

6. Bonobos, Chimpanzés, Gorilles, Orangs-Outans et Gibbons.

7. Rappelons que chez l'homme la reconnaissance de soi dans un miroir se met en place entre 6 et 12 mois (Wallon 1934).

8. « Vous avez deux choses à perdre : le vrai et le bien, et deux choses à engager : votre raison et votre volonté, votre connaissance et votre béatitude ; et votre nature a deux choses à fuir : l'erreur et la misère. Votre raison n'est pas plus blessée, en choisissant l'un que l'autre, puisqu'il faut nécessairement choisir. Voilà un point vidé. Mais votre béatitude ? Pesons le gain et la perte, en prenant le choix que Dieu est. Estimons ces deux cas : si vous gagnez, vous gagnez tout ; si vous perdez, vous ne perdez rien. Gagez donc qu'il est, sans hésiter. » *Les Pensées* (1670).

décision, indépendamment de ses implications théologiques. Les valeurs relatives que Pascal attribue à la vie éternelle par rapport aux plaisirs de la vie terrestre n'engagent d'ailleurs que lui. Von Neumann formalisera cette approche matricielle en la généralisant au milieu du xx<sup>e</sup> siècle sous la forme du théorème du minimax qui consiste à déterminer, dans une matrice à 2 dimensions représentant les pertes et les gains entre deux joueurs, quelle est la solution optimum pour chacun. Il est rare cependant que l'enjeu soit aussi dramatique que lorsque l'on joue son âme contre Dieu !

## Et l'économie supplante la philosophie

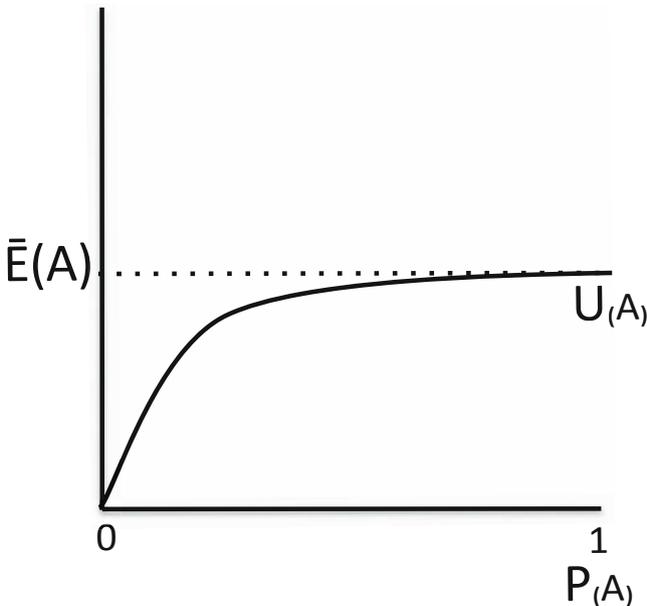
Cette approche formaliste inspira les mathématiciens helvètes qui, plus pragmatiques, se préoccupaient plus du risque économique que du salut de leur âme. Les plus illustres furent la famille Bernoulli<sup>9</sup> dont Daniel, rejeton de la deuxième génération introduira le concept d'« utilité »<sup>10</sup>, fonction mathématique de la valeur accordée à un bien par un sujet qui varie en fonction du risque associé à son obtention (figure 1). Il fournira ainsi un outil pour quantifier la notion de subjectivité des besoins au cœur de la théorie des marchés. Les sciences économiques émergeront au siècle des Lumières à partir de la systématisation de ces principes par Adam Smith<sup>11</sup>. Celui-ci catégorisera les paramètres essentiels qui influencent le ressenti subjectif des besoins et contraignent ainsi les comportements de choix ainsi que l'agrégation des

---

9. Famille d'intellectuels et d'artistes suisses qui a produit plusieurs mathématiciens sur deux générations entre le xvii<sup>e</sup> et le début du xviii<sup>e</sup> siècle dont les travaux ont eu de nombreuses applications en physique et en économie. Outre le concept d'utilité (1738), Daniel Bernoulli (1700-1782) est aussi à l'origine de la mécanique des fluides dont le théorème fondateur porte son nom.

10. Le lecteur pourra se référer au lexique des termes techniques et des abréviations en fin de volume.

11. Adam Smith (1723-1790), Philosophe des Lumières. Il écrit notamment : *The theory of Moral sentiments* (1759) et *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations* vol I (1776), qui est connu en français sous le titre *Richesses des Nations*. Il mourra avant d'avoir eu le temps d'écrire le tome II.



**Fig. 1 – Fonction d’Utilité.** Imaginons une loterie dont l’espérance, c’est-à-dire le gain moyen sur plusieurs répétitions (on peut la formaliser ainsi :  $\bar{E}_{(A)} = \text{Probabilité} \times \text{Valeur}$ ) est fixe mais dont on change la probabilité (et donc la valeur en proportion inverse). L’utilité  $U_{(A)}$  définie par Bernoulli est asymptotique à  $\bar{E}_{(A)}$  pour des probabilités  $P_{(A)}$  élevées mais s’en écarte pour des  $P_{(A)}$  faibles. Cette fonction permet de représenter de façon plus juste le comportement des sujets qui préfèrent des options avec des espérances moins élevées si le risque est plus faible. On appelle ce phénomène observé couramment en économie l’aversion au risque.

comportements individuels en activité économique. La question de la formalisation des principes de prise de décision ne quittera plus ce domaine et est encore au cœur des préoccupations de plusieurs écoles d’économistes. Les travaux de Samuelson<sup>12</sup> et Houthakker<sup>13</sup> par exemple permettront de définir la notion

12. Samuelson (1938).

13. Houthakker (1950).

de préférence révélée qui infère les goûts des sujets à partir de leurs choix plutôt qu'à partir de ce qu'ils verbalisent. En voici une illustration classique : si l'on propose à un sujet de choisir entre une pomme et une banane et qu'il choisit la banane, alors c'est qu'il préfère la banane à la pomme. Cette approche est particulièrement précieuse car la justification *a posteriori* d'un choix par un sujet est notoirement sujette à caution<sup>14</sup>, mais aussi parce qu'elle permet d'étudier les préférences chez des sujets incapables de justifier verbalement leurs choix (comme les enfants en bas âge et les animaux). L'étape suivante a été franchie par von Neumann et Morgenstern<sup>15</sup> qui ont rapproché les travaux sur l'utilité et ceux sur les préférences révélées et ont développé une approche axiomatique de la décision en contexte d'incertitude. Selon ces axiomes, confronté à des choix (A, B ou C) d'utilité  $U_{(A)}$ ,  $U_{(B)}$  ou  $U_{(C)}$  différents, un individu rationnel doit respecter ces quatre conditions : i) complétudes (entre deux options A ou B, un sujet doit préférer A à B ou B à A ou ne pas avoir de préférence) ; ii) transitivité (si il préfère A à B et B à C alors il doit préférer A à C) ; iii) indépendance [Si il préfère A à B, alors quelle que soit la loterie C et la probabilité p comprise entre 0 et 1, ce sujet devrait préférer  $pA + (1 - p)C$  à la loterie  $pB + (1 - p)C$ ] ; et enfin iv) continuité (si il préfère A à B et B à C, alors, il doit y avoir une probabilité p comprise entre 0 et 1 pour que  $B = pA + (1 - p)C$ ).

---

14. Pareto (1848-1923) a même été jusqu'à écrire que « l'économie a [...] un grand intérêt à dépendre le moins possible du domaine de la psychologie ». Il fait référence ici à l'école mentaliste basée sur l'introspection.

15. Von Neumann and Morgenstern (1944), *Theory of games and economic behavior*.

## **Le rat, le pigeon et le bandit manchot**

Avec le tournant positiviste de la fin du XIX<sup>e</sup>, les économistes seront rejoints par les psychologues qui sont arrivés au même constat sur la nécessité d'étudier les processus de prise de décision en les vidant de toute considération mentaliste. Thorndike<sup>16</sup>, en précurseur, pose les principes de l'apprentissage par renforcement qui stipule que si un comportement est suivi d'une récompense de façon répétée, il finira par y être associé. Il ouvrira la voie au behaviorisme<sup>17</sup> qui dominera le champ de la psychologie expérimentale pendant tout le XX<sup>e</sup> siècle et est encore particulièrement prégnant. Skinner<sup>18</sup>, dont le nom est définitivement attaché aux expériences utilisant des rats albinos dans des boîtes de comportement, radicalisera le concept d'association entre une action et un renforçateur en définissant le conditionnement opérant. Pour illustrer ce concept, le plus simple est d'emprunter un exemple à Skinner lui-même : prenons un rat de laboratoire, mettons-le dans une boîte portant désormais son nom qui comprend des leviers et un distributeur de pastilles de nourriture. Si, lorsque l'animal appuie sur un levier, une pastille de nourriture lui est délivrée, il apprendra à associer son action sur le levier et la récompense, jusqu'à consacrer la majorité du temps qu'il passera dans la boîte à faire la navette entre le levier et le distributeur de pastilles. Son comportement sera donc conditionné par le renforçateur. Cette méthode d'investigation sera multipliée, complexifiée et adaptée pour étudier les processus d'apprentissage chez presque toutes les espèces, du ver de terre à l'homme.

Une variante intéressante car plus écologique consiste à ne pas associer l'action et le renforçateur de façon systématique, mais suivant une certaine probabilité. En psychologie expérimentale, on parle

---

16. Psychologue américain (1874-1949) précurseur du behaviorisme.

17. Néologisme inventé par Watson (1878-1958) pour désigner la branche de la psychologie qui étudie le comportement observable déterminé par l'environnement et l'histoire du sujet.

18. Burrhus Frederic Skinner (1904-1990) était le plus grand défenseur du behaviorisme radical.

de règle de contingence (le terme est emprunté aux statistiques). Il s'agit ni plus ni moins du principe de la machine à sous, qui consiste à actionner un levier (ou appuyer sur un bouton, pour les versions les plus récentes) pour obtenir une récompense monétaire<sup>19</sup>. Plus la contingence sera forte, c'est-à-dire plus l'action a de chance d'entraîner une récompense, plus l'apprentissage sera rapide. Ces paradigmes expérimentaux répondent au doux nom de protocole du Bandit Manchot – traduction du surnom donné aux machines à sous par les Américains (*One-Armed Bandit*) car les premiers modèles étaient actionnés par un levier situé sur le côté droit de la machine. Ce type de protocole permit à Rescorla et Wagner de formaliser la loi d'apprentissage d'un sujet à partir de la différence entre le résultat attendu et le résultat réel. Ce postulat à forte valeur heuristique sera très utilisé par la suite en psychologie<sup>20</sup>. Il rejoint d'ailleurs celui d'utilité espérée que nous avons rencontré en économie et marque le début d'une convergence entre les deux disciplines.

Une étape décisive pour étudier la décision sera franchie par un élève de Skinner, Richard Herrnstein (1930-1994) qui travaille sur le pigeon. Il va utiliser une variante du protocole du Bandit Manchot qui va devenir l'expérience de référence et sera surnommée « *two-armed bandit task* » (bandit à 2 bras) par analogie<sup>21</sup> (figure 2A). Elle consiste à proposer à un sujet de choisir entre deux options. Chacune des options possède un gain fixe (par exemple une graine pour des oiseaux<sup>22</sup>) et une probabilité de

---

19. En fait, le cas des machines à sous est un peu plus complexe : la probabilité de gagner le jackpot dépend du nombre de combinaisons gagnantes divisé par le nombre total de combinaisons possibles (elle est donc fixe... en théorie). En revanche, le gain est fixé par le taux de rétribution. Celui-ci, dont un minimum est imposé par la loi (en France il est de 85 %), définit la quantité d'argent qui doit être redistribuée à la clientèle du casino sur une période donnée. La somme gagnée pour un jackpot dépend donc de l'histoire de la machine.

20. Rescorla et Wagner (1972).

21. En français on conserve l'appellation Bandit Manchot pour ce type de tâche par incapacité à traduire le jeu de mot anglo-saxon.

22. La nature de la récompense varie en fonction des sujets. Chez les animaux, il s'agit généralement de récompense alimentaire (solide ou liquide),

## *Bibliographie*

- Yartsev, M. M. et N. Ulanovsky (2013). « Representation of three-dimensional space in the hippocampus of flying bats. » *Science* **340**(6130) : 367-372.
- Zink, C. F., G. Pagnoni, M. E. Martin-Skurski, J. C. Chappelow et G. S. Berns (2004). « Human striatal responses to monetary reward depend on saliency. » *Neuron* **42**(3) : 509-517.
- Zoli, M., C. Torri, R. Ferrari, A. Jansson, I. Zini, K. Fuxe et L. F. Agnati (1998). « The emergence of the volume transmission concept. » *Brain Res Brain Res Rev* **26**(2-3) : 136-147.
- Zweifel, L. S., E. Argilli, A. Bonci et R. D. Palmiter (2008). « Role of NMDA receptors in dopamine neurons for plasticity and addictive behaviors. » *Neuron* **59**(3) : 486-496.

Retrouvez tous les ouvrages de CNRS Éditions  
sur notre site [www.cnrseditions.fr](http://www.cnrseditions.fr)