

# Un théoricien HORS PAIR

*Maureen Burke*  
**brosse le portrait d'Alvin E. Roth, le prix Nobel qui met la théorie des jeux au service des gens**

**A**LVIN Roth se souvient encore de sa réaction viscérale lorsqu'il reçut en 1995 un appel de Bob Beran, de l'agence chargée de l'affectation des internes dans les hôpitaux aux États-Unis, plus connue sous le nom de Match. Cet organisme, qui trouve chaque année des stages pour des milliers de médecins fraîchement diplômés — cherchait quelqu'un pour réorienter sa stratégie opératoire.

«Pourquoi moi?», se demanda-t-il, mal à l'aise. Il savait, bien sûr, pourquoi Beran s'était adressé à lui. Roth avait écrit un ouvrage sur l'adéquation de l'offre et de la demande et étudié de nombreux cas où cette adéquation ne se fait pas, y compris le marché de la santé. Ses recherches sur les services de rencontre ou de placement et sur le couple idéal — homme-femme ou médecin-hôpital — avaient fait sa renommée dans son domaine.

En tant que théoricien, il n'avait pas eu à se soucier des détails techniques du mécanisme qui doit garantir un «appariement» ou une union stable, comme on dit d'un couple idéal. Il lui avait suffi d'identifier les problèmes. Mais s'il acceptait de réorganiser le fonctionnement du programme Match, il lui faudrait trouver

des solutions. C'était la première fois que Roth s'aventurait dans l'exercice réel de l'organisation des marchés, qui lui vaudrait en 2012 le prix Nobel, partagé avec Lloyd Shapley.

## **Médecin, soigne ton marché**

Roth avait étudié le marché des médecins débutants. Il savait que dans les années 40, la concurrence était telle que les hôpitaux étaient obligés de proposer aux étudiants en médecine des postes d'interne de plus en plus tôt dans le cours de leurs études, parfois plus d'un an avant qu'ils n'obtiennent leur diplôme.

Manifestement défectueux, le système fut modifié quelques années plus tard, lorsque les facultés de médecine décidèrent de ne plus communiquer d'informations sur leurs étudiants avant une certaine date —, mais de nouveaux problèmes se firent jour. Les étudiants en liste d'attente pour l'hôpital de leur choix, rechignant à accepter les propositions de leur deuxième choix, réservaient leur décision aussi longtemps que possible. De ce fait, les listes d'attentes restaient figées jusqu'à la toute fin de la période de sélection, et les décisions étaient souvent prises à la hâte. Et quand une offre était rejetée, il était

souvent trop tard pour proposer le poste à d'autres candidats ayant le profil souhaitable.

Le système de répartition des jeunes docteurs dans les établissements hospitaliers était devenu un imbroglio et ne satisfaisait ni les étudiants ni leurs employeurs potentiels. Pour le rééquilibrer, le programme Match, qui suivait l'ordre des préférences établies de part et d'autre, fut mis en place au début des années 50.

Mais il y avait de nouveaux problèmes. Le nombre d'étudiantes en médecine avait considérablement augmenté et beaucoup de couples qui se formaient à l'école de médecine demandaient des postes dans la même ville. Le programme Match ne pouvait pas satisfaire ces demandes, et beaucoup de gens contournaient tout bonnement le système, signe qu'il ne fonctionnait plus.

Roth accepta d'affiner et de moderniser le programme et, avec l'aide d'Elliott Peranson, il mit au point un algorithme qui sert encore aujourd'hui à trouver un employeur aux jeunes médecins et qui a été adopté par plus de trois douzaines d'agences pour l'emploi sur divers marchés.

### Marchés d'appariement

Les économistes étudient en général des marchés où les prix s'ajustent de sorte que l'offre soit égale à la demande. Mais Roth est un théoricien des jeux qui se spécialise dans les «marchés de l'appariement» — où la variation des prix ne suffit pas pour équilibrer l'offre et la demande. Les participants ne peuvent pas simplement choisir ce qu'ils veulent, même s'ils en ont les moyens, ils doivent aussi être choisis. Exemples : l'entrée à l'université ou la recherche de l'âme sœur.

Pionnier de la nouvelle branche de l'économie qu'est l'organisation des marchés, Roth se sert d'outils mathématiques de la théorie des jeux pour réparer les systèmes défaillants. C'est un enjeu décisif dans les marchés sans prix, parce que si le prix ne joue pas un rôle de signal, il faut trouver un autre mécanisme pour équilibrer l'offre et la demande. Ce sont les économistes tels que Roth qui aident à concevoir ces mécanismes.

Les spécialistes de l'organisation des marchés essaient de comprendre «les règles et procédures qui font que divers marchés fonctionnent bien ou mal», expliquait Roth dans un article paru en 2007 dans la *Harvard Business Review*. «Ils cherchent à acquérir une connaissance suffisante du fonctionnement et des besoins de marchés particuliers pour pouvoir réparer le mécanisme s'il est cassé ou pour construire un marché à partir de zéro s'il est absent.»

Les travaux de Roth s'appuient sur la théorie mise au point par Shapley. Lors de la remise du Nobel, l'Académie royale des sciences de Suède les a distingués pour leurs contributions à «la théorie des appariements stables et à la pratique de l'organisation des marchés». C'est en général à Shapley que revient le mérite d'avoir proposé la théorie et à Roth celui de l'avoir mise en pratique.

L'algorithme d'acceptation différée — proposé par Shapley et David Gale dans leur étude de 1962 sur l'entrée à l'université et la stabilité du mariage («*College Admissions and the Stability of Marriage*») parue dans *The American Mathematical Monthly* — est la base de ces travaux.

L'algorithme montre comment 10 femmes et 10 hommes peuvent être appariés sur la base de leurs préférences individuelles. Les femmes peuvent faire leur demande en mariage aux hommes ou

vice-versa. D'après le scénario le plus traditionnel, chaque homme commence par se déclarer à sa partenaire idéale. Puis chaque femme étudie les propositions qu'elle a (éventuellement) reçues, garde celle qu'elle préfère (sans encore l'accepter) et rejette les autres.

Les hommes rejetés au premier tour indiquent alors leur second choix et les femmes indiquent la proposition qu'elles préfèrent et rejettent les autres. Cela continue jusqu'à ce qu'aucun homme ne veuille faire d'autres propositions. Chaque femme accepte la proposition qu'elle a retenue et aucune nouvelle itération n'est nécessaire. Gale et Shapley ont prouvé mathématiquement que l'algorithme aboutit toujours à une union stable — aucun des couples n'étant susceptible de se séparer pour former une nouvelle alliance qui leur conviendrait mieux.

Roth a utilisé des variantes de cet algorithme pour appairer élèves et écoles, auxiliaires juridiques et juges, etc. «Les marchés aident les gens à vivre mieux», dit simplement Roth. «Il faut les améliorer lorsque nous le pouvons.»

### Enfant terrible

Alvin Roth est né en 1951 à New York dans le quartier du Queens. Ses parents, Américains de première génération, enseignaient la sténographie et la dactylographie à l'école publique. D'après ses dires, Roth a toujours été «un enfant plutôt difficile». Il n'aimait pas l'école et a décroché à l'âge de 16 ans.

Il suivait alors le programme d'excellence de l'Université de Columbia, qui proposait le samedi matin des cours de maths et de sciences aux jeunes new-yorkais doués. Avec l'aide des administrateurs du programme, il fut admis à faire des études d'ingénieur à Columbia sans diplôme scolaire. Il décrocha en trois ans une licence en recherche opérationnelle.

«Qui aurait cru que j'aimais étudier et apprendre? Mais je ne me plaisais guère au lycée, glisse-t-il, nous n'étions pas faits l'un pour l'autre.»

Roth est allé à Stanford en 1971 pour un doctorat en recherche opérationnelle, que l'on décrit parfois comme une approche scientifique de la gestion de systèmes complexes. Il gravita vers la théorie des jeux, pour laquelle son intérêt avait été éveillé par Michael Maschler, alors détaché de l'Université de Jérusalem. Roth rencontra aussi Bob Wilson, qui enseignait la théorie des jeux à l'École de commerce de Stanford et devint un mentor important.

La thèse de Roth résolvait un problème soulevé 30 ans plus tôt par le mathématicien John von Neumann et l'économiste Oskar Morgenstern dans leur ouvrage charnière sur la théorie des jeux et les comportements économiques (*Theory of Games and Economic Behavior*). Roth minimise cet exploit, en disant que son sujet s'est avéré être une impasse. Mais ce n'est pas forcément une mauvaise chose, ajoute-t-il. «On a fait bien progresser la science en explorant des impasses.»

Avant de quitter la Californie pour une chaire à l'Université de l'Illinois à Champaign-Urbana, il a fait une sorte de pèlerinage pour aller rendre visite à Shapley, qui était alors un éminent théoricien des jeux à la RAND Corporation, centre d'études situé à Santa Monica. Le jeune homme ne connaissait pas Shapley, mais le domaine était si limité qu'il semblait logique de vouloir rencontrer les sommets. «Il était naturel de penser que, si on découvrait un nouveau théorème de théorie des jeux, il fallait aller en parler à Shapley.»

Cependant, le champ de la discipline était mouvant. «Peu après ma soutenance de thèse en 1974, il semblait que la théorie des jeux allait s'épanouir dans le cadre de la recherche opérationnelle. Mais non, c'est en économie qu'elle a fait florès», explique Roth.

À l'université de l'Illinois, où Roth fut nommé à 22 ans professeur assistant à la faculté d'économie et d'administration, il commença à mettre en pratique la théorie des jeux avec des collègues psychologues, dont J. Keith Murnighan.

Murnighan, qui enseigne maintenant à l'École de commerce Kellogg à la Northwestern University, se souvient que Roth était brillant. «Pendant quelque temps. Il craignait de ne pas faire de grandes trouvailles après avoir dépassé l'âge de 25 ans», rapporte Murnighan, car les mathématiciens font souvent leurs preuves jeunes.

Roth s'aperçut au bout de quelque temps que les deux professions avaient des approches divergentes des tests en laboratoire des prédictions de la théorie des jeux. Mais il continue à s'intéresser à l'économie expérimentale et considère que le travail en laboratoire est un moyen important de tester les hypothèses comportementales.

«Pour un théoricien des jeux, les règles sont les données de base. Une des choses que je veux savoir à propos d'un marché, c'est quelles en sont les règles et lesquelles sont les *plus récentes?*» explique Roth. «Parce que quand vous observez les gens qui établissent les règles, vous vous doutez qu'ils observent un comportement qu'ils cherchent à canaliser.» Cela donne au chercheur un éclairage sur le marché et des indications quant à la meilleure façon de l'organiser.

### L'échange de reins

En 1982, Roth est passé à la faculté d'économie de l'Université de Pittsburgh, tandis que sa femme Émilie — psychologue de la cognition, rencontrée à l'Université de l'Illinois — a trouvé un poste au Centre de recherche et de développement de la Westinghouse Corporation.

Plusieurs événements notables se sont produits à Pittsburgh pendant les 16 ans qu'ils y ont passés. Le Centre de transplantation de l'Université de Pittsburgh — un des meilleurs hôpitaux spécialisés dans la greffe d'organes — a ouvert ses portes en 1985, sous la direction de Thomas Starzl (dont il a reçu le nom), souvent cité comme le père de la transplantation d'organes. Quelques années plus tard, le chirurgien bostonien Joseph Murray recevait le prix Nobel de médecine pour la première greffe réussie d'un rein.

Sans surprise, c'est à ce moment-là que Roth s'est intéressé au problème consistant à trouver des donneurs pour les patients ayant besoin d'une greffe rénale.

Au début des années 2000, les hôpitaux avaient commencé à procéder à un nombre limité d'échanges de reins vivants entre deux paires patient-donneur. Dans chaque cas, le patient de chacune des deux paires incompatibles était compatible avec le donneur de l'autre paire, ce qui permettait à chaque patient de recevoir le rein dont il avait besoin.

Mais il y avait encore un énorme déficit d'organes. En 2002, il y avait aux États-Unis plus de 55.000 patients en liste d'attente pour le rein d'un donneur défunt. Environ 3.400 décédaient alors qu'ils étaient encore en liste d'attente et l'état de 900 autres malades empirait trop pour que la greffe réussisse.

Roth — alors à l'Université Harvard — a rédigé en 2004 avec Utku Ünver et Tayfun Sönmez un article expliquant que le nombre de greffes pourrait augmenter considérablement si l'on établissait un «centre d'échange bien conçu» à partir d'une base de données de paires patient-donneur incompatibles. Leur proposition, publiée dans le *Quarterly Journal of Economics*, ne posait aucune limite au nombre de participants.

Ils envoyèrent leur article à plusieurs chirurgiens, mais un seul — Frank Delmonico, alors Directeur médical de la Banque d'organes de Nouvelle-Angleterre — y réagit. Leur collaboration aboutit à l'établissement du Programme d'échange de reins de Nouvelle-Angleterre, qui rassemblait 14 centres de greffe rénale de la région.

Mais malgré la réussite des échanges de reins, Roth s'aperçut que le nombre d'opérations rendues possibles par le Programme d'échange augmentait beaucoup plus lentement que prévu. «Avec un de mes collègues, Itai Ashlagi du Massachusetts Institute of Technology, j'ai cherché à découvrir ce qui clochait», explique Roth. Ils s'aperçurent que parmi les patients, il y en avait plus pour qui il était facile de trouver un donneur compatible que l'inverse. Mais parmi les candidats à l'échange, il y avait moins de paires faciles et beaucoup plus de paires difficiles à assortir que prévu.

«Cela relevait de la théorie des jeux», explique Roth. «Lorsque nous avons débuté l'échange de reins, nous avons principalement affaire aux patients et à leurs chirurgiens, mais à mesure qu'il est devenu partie intégrante du système américain de transplantation (certes encore à faible échelle), les joueurs ont changé et se sont les directeurs des centres de greffes qui sont devenus les joueurs importants.»

Mais ces directeurs d'hôpitaux ont des stratégies différentes de celles des chirurgiens individuels, parce qu'ils voient beaucoup plus de patients et de donneurs, explique Roth. «Ils [les directeurs] se sont mis à garder les paires faciles à assortir, en les appariant en interne, dans leur établissement, en ne nous montrant que les paires difficiles à assortir.» Il y avait moyen de résoudre le problème, qui était cependant politiquement épineux, ajoute-t-il.

«Mais c'est ce qui fait le charme de l'organisation des marchés», observe Roth. «Non seulement le marché n'est pas exactement ce que nous avions à l'esprit lorsque nous avons écrit notre article initial, mais l'existence même du marché l'a fait évoluer.» De plus en plus, explique-t-il, les greffes de reins sont organisées au moyen de ce qu'on appelle des «chaînes non simultanées» : une longue chaîne de greffes qui peuvent avoir lieu dans la durée, avec comme point de départ un donneur altruiste qui accepte de donner un de ses reins, mais ne le destine pas à un bénéficiaire précis.

La chaîne s'amorce lorsque ce donneur offre son rein à un patient dont le donneur volontaire est en bonne santé, mais incompatible sur le plan immunologique. Le donneur volontaire du premier bénéficiaire fait alors don d'un rein à une autre paire incompatible, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la chaîne soit bouclée, le dernier donneur offrant parfois son rein à un patient en liste d'attente. Ces chaînes, qui comptent parfois jusqu'à 60 personnes, permettent aux programmes de dons d'organes d'atteindre bien plus de patients que le système d'échanges initial.

### Un potentiel pour les ventes d'organes?

Certains pensent qu'il serait possible de réduire énormément le déficit de reins s'il était possible de vendre et d'acheter légalement

ces organes. Le corps humain est capable de fonctionner parfaitement avec un seul rein. Si elle se fait correctement, l'opération présente peu de risques et peut sauver une vie. C'est pourquoi Roth aimerait mieux comprendre le refus général d'envisager un marché monétaire des organes.

Il est illégal de vendre ou d'acheter des reins partout, sauf en Iran, où ils ne semblent pas manquer. «À mon avis, c'est une réalité que nous ignorons à notre propre péril», dit Roth.

«Peut-être qu'en expliquant l'avantage d'un marché bien réglementé des échanges volontaires en adultes consentants, on pourrait s'acheminer dans cette voie», ajoute-t-il. «Mais quand on voit que c'est illégal presque partout, on ne peut que se dire

### Les transactions répugnantes — pourquoi s'en soucier?

Il y a des transactions auxquelles certains sont favorables et que d'autres veulent interdire. Roth a écrit en 2007 un article sur la répugnance en tant que contrainte pour les marchés (*«Repugnance as a Constraint on Markets»*) et considère que ce sujet mérite d'être approfondi.

Même s'il y a des pourvoyeurs et demandeurs volontaires de certaines prestations, l'aversion des autres peut circonscrire ou empêcher la transaction, note Roth. La prostitution est un exemple de «transaction répugnante»; l'achat et la vente d'ivoire en est un autre. Ce qui constitue une transaction répugnante diffère beaucoup selon les cultures. La loi autorise la rémunération des mères porteuses en Californie, mais pas dans beaucoup d'autres juridictions.

Ce que les gens considèrent comme répugnant peut aussi varier avec le temps. Les contrats de servitude, par exemple, étaient un moyen courant pour les émigrants européens de payer leur passage pour l'Amérique. De nos jours, cette pratique est jugée inacceptable et illégale.

Avec le mariage entre conjoints de même sexe, c'est l'inverse qui s'est produit. Interdit aux États-Unis jusqu'à récemment, il est maintenant légal dans plus de 30 états et gagne du terrain. «Il est difficile d'isoler l'externalité négative qui fait que certaines personnes s'opposent au mariage d'autres personnes» dit Roth. «Mais les opposants existent.»

Certaines transactions parfaitement acceptables quand il s'agit d'échanges en nature deviennent répugnantes lorsque de l'argent entre en jeu. La compensation monétaire d'un don d'organe est un bon exemple. Il y a trois arguments contre — les éléments du corps humain seraient objectivés, les pauvres pourraient être acculés à vendre leurs organes et ces transactions pourraient mener à des pratiques plus sordides, comme l'usage d'organes en garantie de prêts.

Pourquoi les économistes doivent-ils étudier les transactions répugnantes? Roth rappelle que dans l'Europe du Moyen-Âge, l'Église interdisait le prélèvement d'intérêts, qui est encore banni dans certaines cultures, mais qu'il semble difficile de proscrire sur une large échelle de nos jours. «Nous ne serions pas une économie capitaliste si nous n'avions pas de marché financier», rappelle Roth.

Il considère donc que le rôle des économistes est de déterminer ce que les gens trouvent répugnant dans certaines transactions, puis d'essayer d'organiser et de réglementer ces marchés d'une manière qui profite à la société sans causer les maux redoutés.

qu'il doit y avoir un obstacle, même si on n'arrive pas encore à comprendre pourquoi.»

Ces différences d'attitudes face aux ventes d'organes et à d'autres «transactions répugnantes» — voulues par les uns et honnies par d'autres — ont amené Roth à étudier le phénomène plus en détail (voir l'encadré).

Roth a passé presque aussi longtemps à Cambridge qu'à Pittsburgh — 14 ans — partageant son temps entre la faculté d'économie et l'école de commerce d'Harvard.

«À Harvard, j'avais deux bureaux, et je traversais deux fois la rivière Charles presque chaque jour, allant de l'un à l'autre, puis revenant sur mes pas pour récupérer ma bicyclette ou ma voiture et rentrer chez moi», écrit Roth dans sa note autobiographique affichée sur le site nobelprize.org. «Le trajet était court, mais j'avais parfois le sentiment d'un grand changement de perspective. En tant qu'organisateur de marchés, j'étais heureux de pouvoir travailler des deux côtés de ce qui semblait parfois être un large fleuve entre la théorie et la pratique, la simple abstraction et le fouillis des détails.»

Pendant cette période, outre ses travaux sur les échanges de reins, il a contribué à la réorganisation du système de choix des écoles publiques à New York et à Boston, en utilisant une version modifiée de l'algorithme d'acceptation différée. Il a aussi aidé à remettre d'aplomb le système d'entrée sur le marché de l'emploi américain des gastroentérologues et des docteurs en économie, entre autres. Roth a décrit chaque cas en détail, révélant les multiples causes de dérèglement des marchés.

Et il le fait de manière incroyablement accessible.

«Al possède un talent remarquable pour expliquer les concepts économiques aux profanes», note Parag Pathak, du Massachusetts Institute of Technology, qui a étudié l'organisation des marchés à Harvard sous sa houlette et a ensuite travaillé avec lui à la réorganisation du système de choix des écoles publiques à New York. «Il était capable de faire passer nos idées dans une note tout à fait digeste, que le ministère de l'éducation pouvait ensuite utiliser pour expliquer aux parties prenantes pourquoi il allait modifier le système.»

«Il est facile de se perdre dans le monde de la science — de créer son propre monde et de s'abstraire de la réalité», opine Atila Abdulkadiroglu, qui enseigne l'économie à Duke University et a aussi travaillé avec Roth sur le système de choix des écoles. «Al, lui, se demande toujours à qui cette recherche va servir, en dehors de la communauté scientifique.»

À l'été 2012, Roth est retourné à Stanford après presque 40 ans, mais cette fois à la faculté d'économie où il occupe la chaire Craig et Susan McCaw. (Il reste professeur émérite à Harvard.)

Quelques mois plus tard, Roth se vit décerner le prix Nobel — qui fut pour lui «un grand honneur», mais lui valut aussi un déluge de courriels, d'invitations à prononcer des conférences et d'autres engagements. «Après un an de voyages incessants, j'ai commencé à me demander si j'allais être condamné à parler pour l'éternité de ce que j'avais fait il y a bien longtemps et non de ce que j'étais en train de faire», plaisante-t-il.

Le Nobel a du moins mis le point final à une histoire inachevée. Après avoir appris la nouvelle, son lycée, Martin Van Buren, lui a décerné en 2014 un diplôme de fin d'études — à titre honoraire. ■

Maureen Burke est rédactrice de *Finances & Développement*.