

LES CINQ PILIERS

La coopération est répandue dans le monde animal. Elle se serait imposée grâce à cinq stratégies distinctes que peuvent adopter les individus.

Martin Nowak

Avril 2011 : les réacteurs de la centrale nucléaire de Fukushima sont en train de fondre, à la suite du tremblement de terre et du tsunami qui ont ravagé la côte Nord-Est du Japon le 11 mars précédent. Un agent de maintenance, âgé d'une vingtaine d'années, se porte volontaire, avec d'autres, pour pénétrer dans la centrale et tenter d'en reprendre le contrôle. Il sait que l'air est contaminé et que cette décision l'empêchera d'avoir des enfants, de crainte qu'ils héritent de graves maladies. « Nous sommes peu à pouvoir faire ce travail », déclare cet homme, qui souhaite rester anonyme, au quotidien britannique *The Independent*. « Je suis jeune et célibataire, et il est de mon devoir d'aider à régler ce problème. »

Bien qu'ils n'atteignent pas toujours un tel degré d'héroïsme, les comportements altruistes abondent dans la nature. Au sein d'un organisme, les cellules se coordonnent pour éviter une prolifération incontrôlée, et donc un cancer. Chez de nombreuses espèces de fourmis, les ouvrières sacrifient leur reproduction pour servir leur reine et leur colonie. Les lionnes vivent en groupes, au sein desquels elles allaitent et élèvent les petits de leurs congénères. Et les humains s'entraident dans toutes sortes de situations : recherche de nourriture ou de conjoints, défense du territoire... Ceux

L'ESSENTIEL

- La coopération a été l'un des moteurs de l'évolution.
- Cinq stratégies font émerger ce comportement : l'individu aide soit ceux qui l'ont aidé, soit ses voisins, soit ceux qui portent les mêmes gènes que lui, soit ceux qui ont bonne réputation, soit tous ses semblables.
- Les humains constituent l'espèce qui coopère le plus, car leur langage perfectionné leur permet d'échanger des informations sur leurs semblables, et donc d'optimiser la stratégie fondée sur la réputation.

Norma Bar

qui aident leurs congénères ne mettent pas nécessairement leur vie en jeu, mais ils risquent de réduire leur succès reproductif au bénéfice de ceux qu'ils assistent.

La coopération intrigue les biologistes depuis longtemps, car elle semble contredire le concept de « lutte acharnée pour la vie » proposé par Charles Darwin. Ce dernier expliquait l'évolution par la sélection naturelle : les individus dotés de caractéristiques avantageuses se reproduisent plus que les autres et leurs descendants sont les plus nombreux au sein de la génération suivante. Il en résulterait une compétition sans merci, où l'on pourrait croire plus pertinent de mentir et de tricher que d'aider un rival. Dans le poème *In memoriam* (1850), Alfred Tennyson s'est fait le chantre d'une conception extrême – encore largement partagée – de l'évolution, en décrivant une nature ayant « le rouge aux griffes et aux dents ».

Mais dans ce cas, pourquoi la coopération est-elle si répandue ? Au cours des 20 dernières années, j'ai étudié cet apparent paradoxe à l'aide de la théorie des jeux. J'ai montré que, loin d'être contradictoires, coopération et compétition ont œuvré ensemble pour faire évoluer la vie sur Terre. J'ai également précisé la façon dont la coopération émerge dans une population et les raisons pour lesquelles elle est particulièrement présente chez l'homme.

DE L'ENTRAIDE



Un paradoxe de la théorie des jeux, nommé dilemme du prisonnier, illustre pourquoi la coopération a déstabilisé les biologistes évolutionnistes. Imaginons deux suspects arrêtés et placés dans des cellules différentes. Le procureur leur fait la même offre : « Si un seul d'entre vous dénonce l'autre, il sera remis en liberté et l'autre aura la peine maximale (dix ans). Si personne ne dit rien, la peine sera normale (un an). Mais si chacun accuse l'autre, vous serez tous deux condamnés à une peine intermédiaire (cinq ans). »

Comme les détenus sont interrogés séparément, ils ignorent si leur complice trahira ou restera solidaire. En notant les issues possibles sur ce qu'on nomme une matrice des gains (*voir l'encadré page 70*), on constate que, d'un point de vue individuel, le choix le plus rationnel est d'accuser l'autre. Pourtant, si les deux inculpés raisonnent ainsi, ils seront condamnés à cinq ans de prison, au lieu de un s'ils coopèrent.

À la fin des années 1980, avec mon directeur de thèse à Vienne, Karl Sigmund, nous avons simulé sur ordinateur une version élargie de ce dilemme, impliquant de nombreux acteurs, pour observer l'évolution des stratégies individuelles. Nous avons d'abord réparti aléatoirement ceux qui font cavalier seul et ceux qui coopèrent. À chaque partie du jeu simulé, les gagnants

TRAHIR, UNE ATTITUDE NATURELLE ?

Le dilemme du prisonnier, un paradoxe de la théorie des jeux, illustre pourquoi la coopération est inattendue dans la nature. Deux malfaiteurs risquent une peine de prison dépendant de leur attitude : soit ils se taisent, soit ils dénoncent leur complice. Parce qu'aucun des deux ne sait ce que son partenaire va faire, le choix le plus rationnel est de trahir, car cela minimise la peine quel que soit le choix de l'autre [voir le tableau ci-contre]. Pourtant, comme les deux raisonnent de la sorte, ils aboutissent à une peine plus longue (cinq ans) que s'ils avaient coopéré en gardant le silence (un an).

		INDIVIDU 2	
		COOPÈRE (ne dénonce pas)	NE COOPÈRE PAS (dénonce)
INDIVIDU 1	COOPÈRE (ne dénonce pas)	1 an de prison 1 an de prison	10 ans de prison libéré
	NE COOPÈRE PAS (dénonce)	libéré 10 ans de prison	5 ans de prison 5 ans de prison

engendraient des descendants qui participaient à la partie suivante. Ils adoptaient la stratégie de leurs parents, sauf si des mutations, introduites de façon aléatoire dans la simulation, modifiaient leur comportement. Nous avons constaté qu'au bout de quelques générations, tous les acteurs trahissaient à chaque partie. Un peu plus tard, une stratégie « donnant-donnant » apparaissait : les joueurs commençaient par coopérer, puis reproduisaient l'attitude de leurs adversaires, coopérant s'ils coopéraient et trahissant s'ils trahissaient. Cette nouvelle stratégie a vite conduit à des communautés dominées par la coopération.

Des vampires secourables

On nomme réciprocité directe l'imitation du comportement de coopération ou de trahison d'individus rencontrés à plusieurs reprises. Les chauves-souris vampires, qui vivent en groupes stables et rentrent chaque soir au nichoir, pratiquent cette stratégie. Si une chauve-souris échoue dans sa chasse et ne peut se nourrir par elle-même, elle sollicite ses congénères à son retour. Souvent, l'une d'elles régurgite une partie de son repas de sang dans la gueule de la quémanteuse. Des études ont montré que les chauves-souris se souviennent de celles qui les ont aidées quand elles en avaient besoin. Et lorsqu'une chauve-souris qui a prouvé sa générosité par le passé manque à son tour de nourriture,

celle qu'elle a un jour secourue lui vient en aide presque à coup sûr.

Autre résultat intéressant de nos simulations, la réciprocité directe a évolué. En 20 générations, le « donnant-donnant » a laissé place à une stratégie plus généreuse, où les joueurs continuaient de coopérer même si l'autre faisait défaut. En un sens, nous avons assisté à l'apparition de la clémence, puisque les joueurs fermaient les yeux sur des fautes occasionnelles.

La réciprocité directe est donc une stratégie individuelle qui favorise la prédominance de la coopération dans une population. Plus tard, j'ai identifié quatre autres stratégies aboutissant au même résultat. Tous les scénarios élaborés depuis pour décrire le succès évolutif de la coopération exploitent une ou plusieurs de ces cinq stratégies.

La deuxième de ces stratégies consiste à se regrouper entre individus coopératifs ou à aider ses voisins. Une sélection dite spatiale s'opère alors. Au sein d'une population, les groupes d'individus secourables peuvent s'élargir et s'imposer. La sélection spatiale concerne aussi les organismes simples. Ainsi, certaines cellules de levure coopèrent : elles produisent une enzyme servant à digérer les sucres et la libèrent dans le milieu extracellulaire, mais cette attitude a un coût physiologique. D'autres n'en fabriquent pas et exploitent la production de leurs consœurs. Deux études menées indépendamment par Jeff Gore, de l'Institut de technologie du Massachusetts (MIT), et Andrew Murray, de l'Université Harvard,

ont montré que lorsque les cellules productrices et les « tricheuses » sont réparties uniformément dans la population, les tricheuses dominent. En revanche, lorsque les cellules qui coopèrent sont regroupées, elles s'imposent.

La troisième stratégie, peut-être la plus efficace, est celle de la coopération entre individus génétiquement apparentés : on parle de sélection de parentèle. Les individus aident ceux qui portent les mêmes gènes qu'eux. Ainsi, malgré la réduction de leur propre succès reproducteur, ils favorisent la dissémination de leurs gènes. Le généticien britannique John Haldane (1892-1964), qui a conçu la notion de sélection de parentèle, a déclaré : « Je me jetterais dans une rivière pour sauver deux frères ou huit cousins », se référant au fait que nous partageons quatre fois plus d'ADN avec nos frères et sœurs qu'avec nos cousins germains. Toutefois, le calcul de l'efficacité réelle de la sélection de parentèle est compliqué, et les mathématiques sous-jacentes font l'objet d'intenses débats.

La quatrième stratégie qui favorise l'émergence de la coopération est la réciprocité indirecte. Elle consiste à aider un inconnu en se fondant uniquement sur sa réputation – et non sur le fait qu'il nous ait déjà aidé, comme dans la réciprocité directe. Si la chance tourne, un individu connu pour porter assistance aux autres sera à son tour aidé. Chez les macaques japonais, par exemple, ceux qui occupent une position hiérarchique inférieure toiletent leurs supérieurs (qui ont bonne réputation du fait de leur statut). Ainsi, ils améliorent leur propre réputation et sont davantage l'objet de soins, juste pour avoir été vus en compagnie de l'élite.

Enfin, un acte peut être commis pour le bien de tous, et non d'une seule personne : c'est la cinquième stratégie par laquelle la coopération émerge, grâce à un mécanisme nommé sélection de groupe. Il a été décrit dès 1871 par Darwin, dans son ouvrage intitulé *La descendance de l'homme et la sélection sexuelle*. Le biologiste y écrivait : « Si une tribu compte beaucoup de membres [...] toujours prêts à s'entraider et à se sacrifier pour le bien commun, elle l'emportera sur la plupart des autres tribus ; c'est donc un mécanisme de sélection naturelle. » Depuis lors, l'idée que la sélection naturelle favorise la coopération en améliorant le potentiel

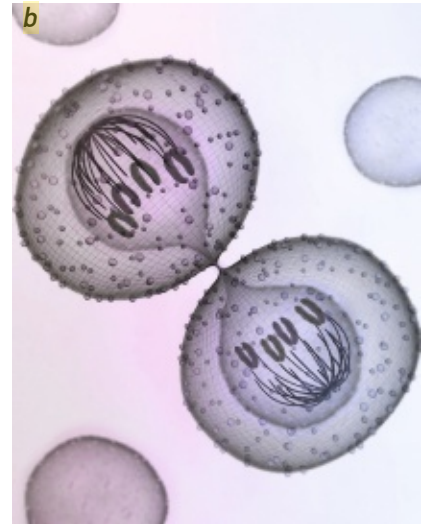
reproductif du groupe suscite de vifs débats. Les modèles mathématiques ont montré que la sélection opère à de multiples niveaux : gènes individuels, groupes d'individus apparentés, espèces entières... Ainsi, les employés d'une société rivalisent entre eux pour gravir les échelons, mais ils coopèrent pour que leur entreprise surmonte la concurrence.

Les humains : des supercoopérants

Les cinq stratégies qui favorisent la coopération s'appliquent à tous les organismes, et même parfois aux gènes et autres composants cellulaires. Cette universalité suggère que la coopération a eu un rôle moteur dans l'évolution et ce, dès le début. C'est particulièrement vrai pour l'espèce humaine, qui est celle qui coopère le plus. Des millions d'années d'évolution ont transformé le singe, animal lent et sans défense, en la créature la plus influente de la planète. Notre espèce a inventé une gamme étonnante de technologies et accompli de multiples prouesses, ce qui a nécessité une coopération intensive.

Les cinq stratégies de coopération agissant partout dans la nature, pourquoi les humains sont-ils les plus aptes à s'entraider ? Selon moi, ils exploitent plus que toute autre créature la première et la quatrième stratégies, à savoir les réciprocités directe et indirecte. En particulier, la réciprocité indirecte – consistant à offrir son aide en fonction de la réputation – est omniprésente et aurait participé à notre succès évolutif. En effet, notre langage perfectionné et l'attribution de noms aux individus nous permettent de partager de multiples informations sur les autres, que ce soient des membres de notre famille ou des inconnus vivant à l'autre bout de la planète. Nous sommes obnubilés par les interactions sociales et essayons de nous positionner au mieux dans le réseau qui nous entoure. Des études ont montré que les gens décident toujours en se fondant en partie sur la réputation, par exemple lorsqu'ils doivent choisir un organisme de bienfaisance ou une entreprise à soutenir.

L'interaction du langage et de la réciprocité indirecte permet une évolution culturelle rapide, qui multiplie nos facultés d'adaptation. Celles-ci seront essentielles face à l'accroissement de la population mondiale et au changement



CERTAINES FOURMIS s'entraident pour rapporter des feuilles au nid (a). Les cellules régulent leur division pour éviter de provoquer un cancer (b). Les lionnes élèvent leurs petits ensemble (c). Les macaques japonais toilettent ceux qui occupent une position hiérarchique élevée et améliorent ainsi leur réputation au sein du groupe (d).

■ L'AUTEUR



Martin NOWAK est professeur de biologie et de mathématiques à l'Université Harvard, à Cambridge, aux États-Unis. Il dirige le Programme pour la dynamique évolutionniste.

LES RESPONSABLES POLITIQUES

devraient davantage prendre en compte l'importance de l'information et de la réputation pour limiter les comportements égoïstes.

■ SUR LE WEB

Diaporama sur les espèces qui coopèrent : ScientificAmerican.com/jul2012/cooperation

■ BIBLIOGRAPHIE

M. Nowak et R. Highfield, *Super Cooperators : Altruism, Evolution, and Why We Need Each Other to Succeed*, Free Press, 2012.

D. et E. Wilson, *Pour le bien du groupe ?*, *Dossier Pour la Science*, n° 63, avril-juin 2009.

M. Nowak, *Five rules for the evolution of cooperation*, *Science*, vol. 314, pp. 1560-1563, 2006.

climatique. Pourtant, le bilan environnemental actuel n'incite pas à l'optimisme. Pourquoi avons-nous tant de mal à travailler ensemble pour préserver la planète ? Avons-nous une chance d'y parvenir ? Là encore, la théorie des jeux se révèle riche d'enseignements.

Certains dilemmes relatifs à la coopération et impliquant plus de deux joueurs concernent la gestion des biens communs. Dans ces dilemmes, si un joueur agit de façon altruiste, tout le monde en bénéficie, mais s'il agit de façon égoïste – toutes choses égales par ailleurs –, il augmente ses gains personnels. Aussi, bien qu'il souhaite que les autres coopèrent, il choisit « de façon judicieuse » de faire cavalier seul. Chacun raisonnant de même, la coopération se termine en défection généralisée.

Parmi les jeux de ce type figure la « tragédie des biens communs », décrite en 1968 par l'écologue américain Garrett Hardin (1915-2003).

Des éleveurs qui font paître leur troupeau sur des terres communes accroissent leur nombre de bêtes pour s'accaparer le plus de pâturages possibles, tout en sachant qu'ils détruisent ainsi les ressources nécessaires à tous, y compris à eux-mêmes. Au final, tout le monde est perdant. L'analogie avec les problèmes actuels est évidente, notamment pour la gestion des ressources naturelles telles que le pétrole et l'eau potable.

Tout espoir n'est pas perdu. Une série d'expériences conduites par Manfred Milinski, de l'Institut Max Planck de biologie évolutionniste à Plön, en Allemagne, et ses collègues ont révélé plusieurs facteurs incitant les gens à contribuer au bien commun. Les chercheurs ont donné 40 euros à chacun des participants et les ont fait jouer sur un ordinateur, en leur demandant d'utiliser l'argent pour sauvegarder le climat : à chaque tour, chacun devait mettre une somme de son choix dans un pot commun. Si au bout de dix tours cette somme atteignait 120 euros ou plus, alors les conditions climatiques étaient maîtrisées et les joueurs empochaient l'argent qui leur restait. Si les 120 euros n'étaient pas atteints, la situation climatique était déclarée hors de contrôle et chacun perdait tout son argent.

Les joueurs n'ont finalement pas réussi à sauvegarder le climat, ratant leur objectif

de seulement quelques euros. Toutefois, leur attitude a évolué au fil des parties, sous l'influence de certains facteurs. M. Milinski et son équipe ont découvert qu'ils avaient un comportement plus altruiste lorsqu'ils recevaient des informations fiables sur le climat, issues des recherches scientifiques. Les joueurs avaient donc besoin d'être convaincus du problème pour faire des sacrifices en vue du bien commun. Ils ont aussi agi avec plus de générosité quand leur contribution était publique plutôt qu'anonyme, c'est-à-dire lorsque leur réputation était en jeu. Une autre étude, menée par des chercheurs de l'Université de Newcastle, en Angleterre, a montré que les gens sont plus généreux quand ils se sentent observés, confirmant l'importance de la réputation.

Les facteurs influant sur le comportement commencent à être exploités, par exemple dans certains quartiers de Boston, aux États-Unis. Sur les factures de gaz, la consommation du ménage est comparée à la fois à la consommation moyenne des foyers du quartier et à celle des maisons les plus éco-efficaces. Ainsi, chacun se sent encouragé à réduire sa consommation.

Une coopération instable

Les simulations exploitant la théorie des jeux indiquent que la coopération est instable. Les périodes de prospérité où les individus coopèrent s'achèvent inévitablement en raison de la défection de certains. Pourtant, les comportements altruistes réapparaissent toujours : nos principes moraux se réajustent, en quelque sorte. Les cycles de coopération et de défection sont perceptibles dans l'histoire de l'humanité et dans les fluctuations des systèmes politiques et financiers.

Il est difficile de préciser où nous en sommes aujourd'hui dans ces cycles, mais nous gagnerions à entrer dans une phase plus coopérative. La théorie des jeux donne des outils pour cela. Les responsables politiques devraient davantage prendre en compte l'importance de l'information et de la réputation pour limiter les comportements égoïstes. En exploitant le potentiel de ces outils pour accroître la coopération, nous avons une chance d'éviter une version planétaire de la tragédie des biens communs, où toutes les ressources de la Terre sont en jeu. ■