

Comment faire coopérer des individus égoïstes ?

Yannick Viossat, maître de conférences à l'Université Paris-Dauphine

La coopération est au cœur de nombreux comportements sociaux ou biologiques. La théorie des jeux permet d'expliquer le choix de stratégies coopératives et d'en comprendre les mécanismes dans des contextes où les individus se trouvent en concurrence, des situations de guerre à la régulation de la pêche.

Le monde vivant offre de nombreux exemples de coopération: les insectes sociaux, les animaux criant pour signaler la présence d'un prédateur, les impalas se nettoyant réciproquement... Darwin considérait ces comportements coopératifs comme une énigme, et un défi à sa théorie. La sélection naturelle ne devrait-elle pas favoriser les comportements égoïstes? Ce paradoxe de la coopération est au cœur de l'analyse de transitions majeures dans l'évolution, comme l'apparition de la vie ou celles des êtres multicellulaires. Dans certaines de ces transitions, de petites entités coopèrent pour former une entité plus complexe. Ces constructions subsistent, alors qu'elles semblent à la merci de l'apparition d'entités parasites, tirant profit de la coopération des autres mais ne coopérant pas elles-mêmes.

Comprendre l'origine et le maintien de la coopération dans le monde vivant est donc un problème central de la biologie de l'évolution.



Intérêt collectif, intérêts individuels

Des questions similaires se posent en sciences sociales. De nombreux conflits existent entre l'intérêt collectif et les intérêts individuels. La coopération peut-elle alors émerger spontanément? Plus concrètement: pourquoi continuons-nous à trop pêcher, et à épuiser les stocks de poissons? A l'inverse, pourquoi, dans certaines tranchées de la guerre de 14-18, les soldats faisaient-ils exprès de ne pas gêner le ravitaillement de leurs ennemis?

Les mathématiques permettent d'éclairer ces questions en analysant des modèles de conflits entre intérêt collectif et intérêts individuels. Le plus simple de ces modèles, appelé dilemme du prisonnier pour des raisons anecdotiques, se présente ainsi: deux individus, appelés joueur 1 et joueur 2, doivent décider d'aider l'autre (coopérer) ou de ne pas l'aider (faire défection). Chaque joueur doit choisir sans connaître le choix de l'autre.

Coopérer rapporte un bénéfice de 4 à l'autre mais coûte 1 à celui qui coopère. Faire défection ne rapporte rien à l'autre et ne coûte rien. Ainsi, si les deux joueurs coopèrent, ils gagnent tous les deux $4 - 1 = 3$. Le tableau suivant résume les actions possibles et les gains correspondants. Les gains du joueur 1 (J1) sont en rouge, ceux du joueur 2 (J2) en bleu. La valeur précise de ces gains importe peu tant que leur ordre (du plus petit au plus grand) reste le même. On pourrait donc supposer que faire défection nous rapporte quelque chose, ou autre variante.

J1 \ J2	Si J2 coopère (C)	Si J2 fait défection (D)
Si J1 coopère (C)	3,3	-1,4
Si J1 fait défection (D)	4, -1	0,0

De nombreuses situations de la vie courante présentent des analogies: les enfants qui peuvent prêter leurs jouets (C) ou ne pas les prêter (D); les grandes puissances, lors de la guerre froide, qui pouvaient limiter leur armement (C) ou s'armer toujours plus (D); le citoyen qui peut recycler ses déchets (C) ou ne pas le faire (D), etc.

L'analyse de ce type de situations relève de la théorie des jeux. Cette branche des mathématiques examine l'interaction d'acteurs stratégiques. Elle concerne toute situation où des acteurs doivent chacun prendre des décisions, qui déterminent l'issue de cette situation.



Assurer l'avenir

La théorie des jeux a permis d'identifier plusieurs mécanismes qui permettent de surmonter les conflits entre intérêt collectif et intérêts individuels. Voyons maintenant le

fonctionnement et les limites d'un de ces mécanismes: la réciprocité directe (aider ceux qui nous ont aidés).

D'autres mécanismes de coopération

La réciprocité directe n'est pas le seul mécanisme sur lequel peut se baser la coopération entre individus. Parmi les autres, on peut citer: la construction d'institutions permettant de faire appliquer des contrats, la réciprocité indirecte (aider ceux qui ont aidé les autres) ou encore la sélection de parentèle (aider les individus qui nous sont apparentés), fondamentale en biologie.

Revenons au dilemme du prisonnier. Quand le jeu n'est joué qu'une fois, jouer D rapporte toujours 1 unité de plus que de jouer C (4 au lieu de 3 si l'autre joue C, 0 au lieu de -1 s'il joue D). Les deux individus ont donc individuellement intérêt à faire défection. Le dilemme est qu'ils obtiennent alors 0, alors qu'ils auraient pu obtenir 3 s'ils avaient coopéré tous les deux.

Si l'interaction se répète la situation est différente: mes choix d'aujourd'hui influent sur les choix que fera mon partenaire demain. Coopérer peut être une forme d'investissement: cela me rapporte moins aujourd'hui que de faire défection, mais peut augmenter mes gains futurs, si cela rend l'autre plus coopératif. En revanche, si l'autre joueur fait

systématiquement défection, j'ai intérêt à le faire aussi. Il n'y a donc pas de stratégie qui soit toujours la meilleure.

Mes choix d'aujourd'hui influent sur les choix que fera mon partenaire demain.

Toutefois, certaines stratégies obtiennent souvent de bons résultats. La stratégie Donnant-Donnant, notamment, a remporté plusieurs tournois informatiques, où chaque stratégie jouait contre chacune des autres et où le but était d'avoir le meilleur score total. Cette stratégie de simple réciprocité commence par coopérer, puis fait ce qu'a fait l'autre au tour précédent.

Ce n'est pas en exploitant les autres que Donnant-Donnant obtient de bons résultats. En fait, dans un duel, elle ne gagne jamais plus que son adversaire. Mais elle parvient à enclencher une logique de coopération, et en moyenne obtient de très bons scores. L'analyse de tournois de dilemme du prisonnier fait apparaître des caractéristiques des stratégies à succès: essayer de coopérer, ne pas chercher à gagner plus que l'autre, ne pas se laisser exploiter, pardonner une défection isolée, et être lisible.

Le système du « Vivre et laisser vivre » de la première guerre mondiale offre une illustration concrète de coopération dans un environnement pourtant défavorable. Ce système consistait à ne pas attaquer l'ennemi pourvu qu'il ne nous attaque pas non plus. Cette attitude était fortement découragée par le commandement. Un officier anglais racontait ainsi sa visite des



tranchées: « Je fus ébahi de voir les soldats allemands se promener à portée de fusil. Nos hommes semblaient ne pas remarquer (...). Ces choses-là ne devraient pas être permises. » Pourtant, ce système s'établit en de nombreux points du front, car dans cette guerre de tranchée, les mêmes unités se faisaient face suffisamment longtemps pour que la logique de la réciprocité fonctionne. Un soldat expliquait: « Ce serait un jeu d'enfant de bombarder la route derrière les tranchées, encombrée comme elle doit l'être de chariots de ravitaillement (...) mais dans l'ensemble tout est calme (...). Si vous empêchez l'ennemi de se ravitailler, son remède est simple: il vous empêchera de vous ravitailler. »



Une analyse précise du dilemme du prisonnier permet de mieux comprendre les facteurs favorisant les stratégies de réciprocité. L'avantage de la défection ne doit pas être trop fort, et l'importance de l'avenir doit être suffisamment grande. Pour cela, il faut que les joueurs soient patients et que l'interaction se répète suffisamment longtemps. Il faut aussi que le moment où l'inte-

raction s'arrête ne soit pas connu à l'avance. Sinon, à la dernière étape, les deux joueurs ont intérêt à faire défection et, anticipant cela, ils sont amenés à faire défection à l'avant-dernière étape, et ainsi de suite.

Théorie des jeux d'évolution

Pour mieux comprendre les conditions qui permettent l'émergence de la coopération, il est utile de recourir à la théorie des jeux d'évolution. Celle-ci étudie des situations où un grand nombre d'individus interagissent et font évoluer leur comportement en fonction du résultat des interactions précédentes. On suppose que les stratégies qui obtiennent de bons résultats ont tendance à se répandre dans la population. Une formulation précise de ce principe donne lieu à un système dynamique, qui peut modéliser tant des phénomènes de sélection naturelle que d'apprentissage.

Dans un monde où des erreurs peuvent se produire, il est bon de réparer les dommages causés aux autres involontairement, et de ne pas se venger systématiquement des agressions subies.

Dans les modèles de mutation-sélection, on observe une alternance de phases de défection et de coopération. Partant d'un état où personne ne coopère, des mutations peuvent faire apparaître des stratégies du type Donnant-Donnant. Si celles-ci parviennent à une fréquence suffisamment élevée, elles obtiennent de meilleurs résultats que la stratégie de défection et envahissent



la population. On aboutit alors à un état où tous les individus jouent des stratégies coopératives. La stratégie qui consiste à coopérer de manière indiscriminée peut alors augmenter en fréquence, car elle n'est plus contre-sélectionnée. Mais si les coopérateurs indiscriminés sont trop fréquents, la stratégie de défection est favorisée et peut redevenir prédominante, jusqu'à un nouveau cycle.

Supposons maintenant qu'à chaque étape, avec une petite probabilité, les joueurs n'arrivent pas à implémenter l'action qu'ils ont choisie : ils coopèrent au lieu de faire défection, où l'inverse. Quand Donnant-Donnant joue contre elle-même, la première erreur déclenche une vendetta destructrice (voir figure 1). De ce fait, Donnant-Donnant ne peut pas s'établir de manière stable dans la population.

Joueur 1	C ... C D C D C ... D C C
Joueur 2	C ... C C D C D ... C C C

Figure 1. Donnant-Donnant contre un autre Donnant-Donnant, avec erreurs (C signifie « coopérer » et D « faire défection »).

Une défection involontaire (en rouge) entraîne une alternance de coopération et de défection. Il faut attendre une coopération involontaire (en bleu) pour que la coopération reprenne. D'autres stratégies coopératives prennent la relève : « Donnant-Donnant contrit », par exemple, prévoit de compenser une défection erronée en coopérant deux fois de suite quoi que fasse l'autre ; « Donnant-Donnant généreux »

coopère avec probabilité positive même si l'autre vient de faire défection. Ces petites différences permettent de surmonter les crises engendrées par une défection malencontreuse. Dans un monde où des erreurs peuvent se produire, il est bon de réparer les dommages causés aux autres involontairement, et de ne pas se venger systématiquement des agressions subies.

La pêche ou la tempête de neige : d'autres types de modèles

Nous avons jusqu'ici supposé que l'interaction se répétait mais que les paiements au cours du jeu ne changeaient pas. Or, imaginons un modèle de régulation volontaire de la pêche, où un grand nombre d'acteurs doivent décider de la quantité de poisson qu'ils pêcheront chaque année. Pêcher peu permet de laisser les stocks de poissons se renouveler, et est analogue à coopérer. Pêcher le plus possible épuise les ressources et est analogue à faire défection. Chaque acteur ayant une influence faible sur l'évolution du stock de poissons, il a intérêt à pêcher le plus possible même si, collectivement, il est préférable de limiter la quantité pêchée. La situation est donc analogue à celle du dilemme du prisonnier.

Toutefois, une modélisation plus précise devrait tenir compte de l'évolution du stock de poisson. « Pêcher le plus possible », par exemple, rapporte de moins en moins au fur et à mesure que les stocks de poissons s'épuisent. Les gains des acteurs à un instant donné ne dépendent donc pas seule-



ment de leurs actions présentes mais aussi de l'état global du système, qui est ici le stock de poissons. Cet état évolue en fonction des actions des différents acteurs ainsi que de divers aléas. L'étude de ce type de situation demande des modèles plus évolués qui relèvent des *jeux stochastiques*.

Une autre hypothèse que nous avons employée implicitement est qu'un individu a autant de chances d'interagir avec n'importe lequel des autres individus. En réalité, nous interagissons surtout avec nos collègues, nos amis ou nos voisins. Ceci peut être pris en compte en supposant que les individus sont répartis dans l'espace et interagissent surtout avec leurs voisins. L'analyse de ces modèles a montré que, dans le dilemme du prisonnier, la coopération émerge plus facilement lorsque les interactions sont locales que lorsque les individus interagissent avec n'importe quel autre individu.

Il est également instructif d'étudier des modèles où le conflit entre intérêts individuels et intérêt collectif n'est pas aussi brutal. Dans le jeu de la tempête de neige, par exemple, deux conducteurs voient la route coupée par la neige. Chacun a une pelle dans sa voiture, et peut soit déblayer la route (coopérer) soit attendre dans sa voiture (faire défection) en espérant que l'autre déblaira tout seul. L'idéal est que l'autre déblaie la route tout seul, puis de déblayer la route à deux, et il est encore préférable de déblayer la route tout seul plutôt que de passer la nuit dans sa voiture, ce qui se produira si personne ne déblaie. S'il y a toujours un conflit entre l'intérêt collectif (déblayer la route) et les intérêts individuels

(laisser l'autre s'en charger), la situation n'est plus celle du dilemme du prisonnier. En effet, faire défection n'est pas toujours avantageux: cela ne l'est que si l'autre coopère. L'analyse de ce jeu fait apparaître des différences plus subtiles. Ainsi, nous avons vu que le fait que les individus interagissent surtout avec leurs voisins favorisait la coopération dans le dilemme du prisonnier. Cet effet des interactions locales n'est pas présent dans le jeu de la tempête de neige. Plus généralement, si le dilemme du prisonnier a été très étudié, ce n'est pas le cas d'autres modèles, tout aussi pertinents pour étudier les phénomènes de coopération. Une analyse poussée de ces modèles est nécessaire, et encore largement à faire, pour comprendre quels résultats sont valables en général. Si les mathématiques permettent de mieux appréhender les phénomènes de coopération, il reste beaucoup d'efforts à fournir pour parvenir à une compréhension plus complète.

Pour aller plus loin

Axelrod R., (1992). *Donnant-Donnant, théorie du comportement coopératif*, éditions O. Jacob.

Sigmund K., (2010). *The Calculus of Selfishness*, Princeton University Press.

Page web :

<http://www.univie.ac.at/virtuallabs> : programmes accessibles librement, pour explorer soi-même la dynamique des dilemmes sociaux.

