

A



1. Donnant-donnant :
je coopère au premier coup,
puis je joue ce qu'a joué mon
adversaire au coup précédent.



7. Gentille :
je coopère toujours.



2. MajoMou : je joue ce que
mon adversaire a joué en
majorité ; au premier coup ou
en cas d'égalité, je coopère.



8. Lunatique :
je trahis une fois sur deux
au hasard.



3. Rancunière :
je coopère, mais dès que
mon adversaire a trahi,
je trahis toujours.



9. Méfiant : je trahis au premier
coup, puis après je joue ce qu'a
joué mon adversaire au coup
précédent.



4. Sondeur : aux 3 premiers
coups je joue tcc; à partir du
coup 4, si aux coups 2 et 3
mon adversaire a coopéré,
je trahis toujours, sinon je
joue Donnant-donnant



10. Méchante :
je trahis toujours.



5. Périodique-cct : je joue
périodiquement cct.



11. MajoDur : je joue ce que mon
adversaire a joué en majorité;
au premier coup ou en cas
d'égalité, je trahis.

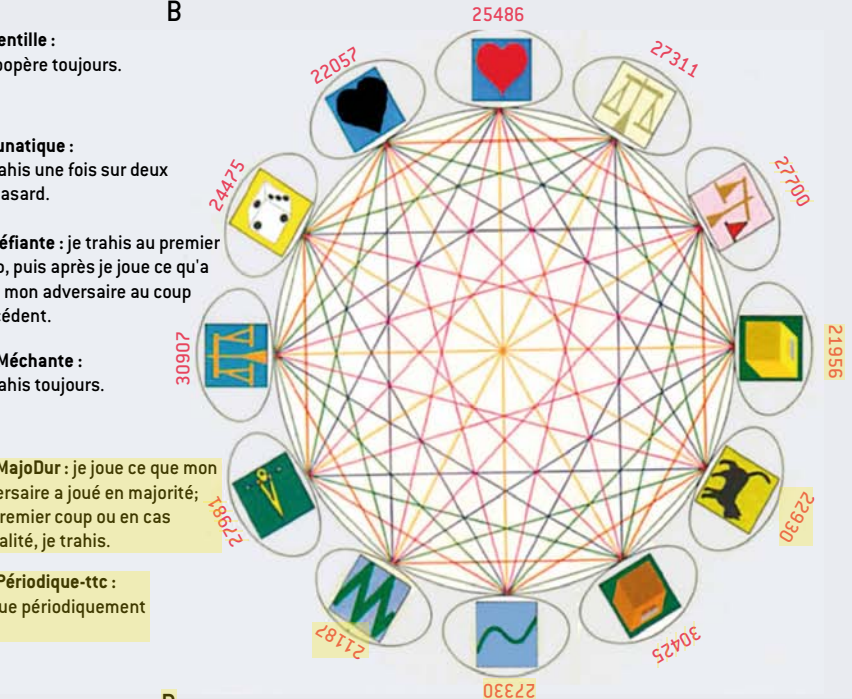


6. Donnant-donnant-dur :
je coopère sauf si mon
adversaire a trahi l'un
des deux coups précédents.



12. Périodique-ttc :
je joue périodiquement
ttc.

B



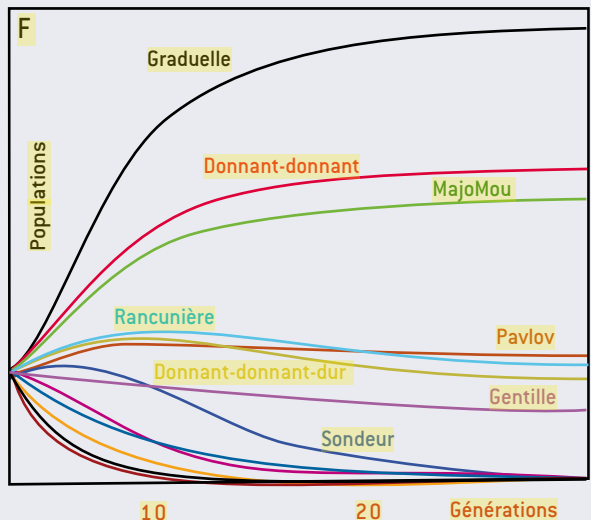
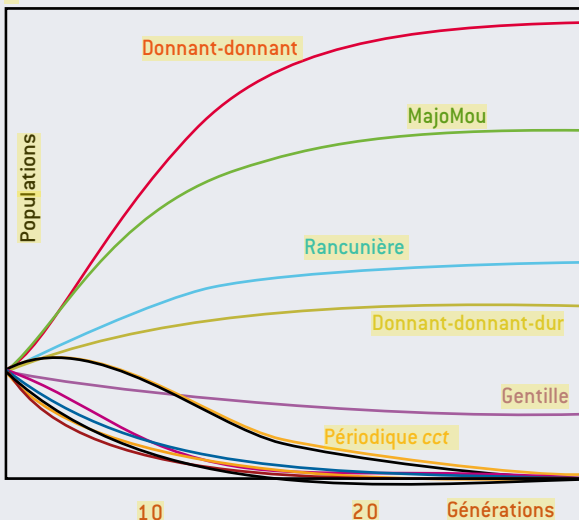
C

Gain du Joueur 1 \ Gain du Joueur 2	Coopère [C]	Trahit [C]
Coopère [C]	3 / 3	5 / 0
Trahit [T]	0 / 5	1 / 1

D

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3000	3000	3000	2999	2667	3000	3000	2244	2500	999	2500	1998
2	3000	3000	3000	2999	2001	3000	3000	2095	2500	999	2500	2331
3	3000	3000	3000	1007	3663	3000	3000	2975	1003	999	1003	2331
4	2999	2999	1002	1004	2669	1005	4996	2541	2995	998	2496	1996
5	2667	3666	343	2664	2334	1671	3666	1994	2664	333	3663	1665
6	3000	3000	3000	1010	3331	3000	3000	2634	1003	999	1003	2331
7	3000	3000	3000	6	2001	3000	3000	1486	2997	0	2997	999
8	2248	2645	512	1601	2834	1401	4009	2245	2252	491	2567	1670
9	2500	2500	1003	3000	2669	1003	3002	2254	1000	1000	1000	1999
10	1004	1004	1004	1008	3668	1004	5000	3033	1000	1000	1000	2332
11	2500	2500	1003	2501	2003	1003	3002	2112	1000	1000	1000	2332
12	2003	671	671	2006	3335	671	4334	2497	1999	667	667	1666

E



jouant *t* mais seulement 3 points en jouant *c* ; si l'autre entité trahit, j'obtiens 1 point en jouant *t*, et 0 en jouant *c*.

Il y a dilemme. Collectivement, les deux agents emportent 6 points en jouant [*c*, *c*] alors qu'ils en remportent moins en jouant [*c*, *t*] et encore moins en jouant [*t*, *t*]. L'intérêt collectif est que chacun joue *c*, mais une analyse logique individuelle conduit inévitablement à [*t*, *t*], qui est collectivement le pire cas !

Le dilemme est itéré quand la situation de choix entre *c* et *t* se présente périodiquement aux deux mêmes agents. Jouer consiste alors à choisir une stratégie qui, informée du comportement antérieur de l'adversaire, indique le coup suivant à jouer.

Donnant-donnant, une bonne stratégie

La stratégie *Donnant-donnant* consiste à jouer *c* au premier coup, puis à jouer au coup *n* ce que l'adversaire a joué au coup *n* - 1. La stratégie *Périodique-ttc* consiste à jouer *t*, puis *t*, puis *c*, et à recommencer indéfiniment la même séquence des trois coups. Lorsque *Donnant-donnant* rencontre *Périodique-ttc*, la confrontation donne la suite : [*c*, *t*] [*t*, *t*] [*t*, *c*] [*c*, *t*] [*t*, *t*] [*t*, *c*] [*c*, *t*] [*t*, *t*] [*t*, *c*]... Cela rapporte donc en moyenne $(0 + 1 + 5)/3 = 2$ points par coup à *Donnant-donnant* et $(5 + 1 + 0)/3 = 2$ points aussi par coup à *Périodique-ttc*.

Dans certaines stratégies, les coups sont décidés au hasard. La stratégie *Lunatique* joue par exemple *c* dans 50 % des coups et *t* dans 50 % des coups en tirant au hasard avec une pièce de monnaie. Un petit calcul montre que *Lunatique* opposée à *Donnant-donnant* gagne en moyenne $9/4 = 2,25$ points par coup, ce que gagne aussi son adversaire.

Un raisonnement élémentaire montre d'une part que *Donnant-donnant* ne perd jamais plus de 5 points, quel que soit son adversaire et la durée de la rencontre, et d'autre part qu'il ne fait jamais mieux que lui. Dans un tournoi entre un ensemble varié de stratégies (chacune joue contre chaque autre, y compris elle-même, et on totalise les points gagnés), Robert Axelrod a montré que *Donnant-donnant* était une bonne

stratégie. Elle ne gagne pas toujours, car certains ensembles de stratégies lui sont défavorables, mais elle se retrouve le plus souvent classée parmi les premières. Elle ne bat jamais personne, mais comme son comportement incite à la coopération, elle obtient de bons scores qui la placent dans le peloton de tête (voir la figure 1).

Deux autres stratégies sont aussi intéressantes que *Donnant-donnant* :

– *Pavlov* : au premier coup, je coopère ; ensuite, si au dernier coup joué, j'ai gagné 3 points ou plus, je rejoue la même chose, sinon je change.

– *Graduelle* : je coopère au premier coup ; ensuite, lorsque mon adversaire me trahit, je le punis au coup suivant (comme *Donnant-donnant* qui répond à une trahison au coup *n* - 1 par une trahison au coup *n*), mais je suis plus sévère que *Donnant-donnant*, car je punis mon adversaire en jouant *t* pendant *k* coups consécutifs, où *k* est le nombre de trahisons passées de mon adversaire (mes punitions sont donc « graduelles »). Après une telle phase de rétorsion, je coopère deux fois de suite pour tenter de rétablir la paix.

La stratégie *Graduelle* a été conçue en 1993 par C. Dziengelewski, un lecteur de *Pour la Science* qui participait à un concours organisé par la revue. Le concours a suggéré qu'il n'y a pas de limite à la qualité des stratégies, à condition de les rendre de plus en plus complexes. D'autres études menées depuis, en particulier par Bruno Beaufils du Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille conduisent aux conclusions suivantes, généralement acceptées :

– Il n'y a pas de stratégies meilleures que toutes les autres, mais certaines sont mauvaises dans pratiquement tous les environnements possibles, alors que d'autres sont bonnes dans des tournois variés.

– Les bonnes stratégies sont réactives : elles répondent quand on les trahit, prennent le risque de coopérer, commencent par coopérer et, face à un adversaire qui coopère, elles ne trahissent pas, elles savent être indulgentes, après une trahison de l'adversaire elles finissent par pardonner pour renouer la coopération (comme *Graduelle*).

À côté de l'évaluation des stratégies obtenues par des tournois, il existe des

méthodes de tests plus subtiles auxquelles ne réussissent que les stratégies très robustes. Les « sélections écologiques » sont l'une de ces méthodes. On met plusieurs exemplaires de chaque stratégie à tester dans une arène virtuelle et on y organise un tournoi. En fonction des points gagnés lors de ce tournoi, on fait évoluer les effectifs de chacune des stratégies, ce qui définit une seconde génération. La seconde génération produit selon le même processus une autre génération, etc. Les stratégies gagnantes (celles dont les effectifs sont les plus importants) lors d'une telle évolution sont bonnes dans des arènes variables, leurs bons classements ont donc une signification plus profonde que celui donné par un simple tournoi.

Les résultats obtenus par ces calculs modélisent la sélection naturelle et conduisent à une conclusion étonnante : sauf dans des cas très rares, l'arène finit par n'être occupée que par des stratégies qui ne prennent jamais l'initiative de trahir (c'est le cas de *Donnant-donnant*, de *Graduelle* et de *Pavlov*). Après quelques générations, l'arène est occupée par des stratégies qui ne jouent entre elles que des coups [*c*, *c*], donc dans un état de coopération généralisée. Le phénomène est frappant : bien qu'il n'y ait pas d'autorité de contrôle et que la tentation de la trahison soit présente pour tous à chaque coup joué, l'évolution élimine toutes les stratégies qui succombent à cette tentation.

Des résultats qui changent la donne ?

L'article de William Press et Freeman Dyson qui a tant étonné les spécialistes en 2012 a un titre provocateur : « Dans le dilemme itéré du prisonnier, il existe des stratégies qui dominent tout adversaire évolutif ». Il a fait sursauter les chercheurs qui pensaient que l'accord sur l'idée d'une convergence vers la coopération généralisée interdisait qu'il puisse exister des stratégies dominantes (donc exploitant les autres), d'autant plus que les stratégies mises en avant par W. Press et F. Dyson ne respectent pas la règle qu'on pensait définitive : il ne faut jamais prendre l'initiative de trahir face