

coopération généralisée, 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.

Le comportement en début de rencontre est très important. Nous dirons qu'une stratégie est initialement coopérative (IC) si elle ne prend jamais l'initiative de trahir : elle coopère au premier coup d'un face-à-face et continue de le faire tant que l'autre ne l'a pas trahie. Tester si une stratégie est IC est simple :

face à la stratégie qui coopère toujours, elle coopère toujours elle aussi. La stratégie *Donnant-donnant* est IC.

Parsymétrie, on considère les stratégies initialement agressives (IA) : elles trahissent tant que l'autre n'a pas coopéré. La stratégie *Méfiant(e)* (voir l'encadré ci-dessous) est IA.

Pour mesurer les avantages ou inconvénients des comportements IC ou IA, on considère des classes de stratégies variées, on les fait jouer les unes contre les autres en

tournoi et en compétition écologique, et on mesure la réussite des diverses classes.

Quatre classes sont à considérer : la classe des stratégies initialement coopératives, IC ; la classe complémentaire à IC, qui est celle des stratégies spontanément agressives, SA ; la classe des stratégies initialement agressives, IA ; la classe complémentaire à IA, qui est celle des stratégies spontanément coopératives, SC. Une stratégie ne peut pas être à la fois IC et IA. En revanche, il existe des

Combats dans l'arène : les meilleures stratégies incitent à coopérer

Les recherches sur le dilemme itéré des prisonniers ont mis en évidence une variété de comportements. Ont été retenues ici les stratégies les plus efficaces repérées depuis trente ans par les chercheurs du domaine, auxquelles nous avons ajouté les stratégies les plus simples, comme *Gentille* ou *Méchante*. La liste regroupe 17 stratégies (IC = initialement coopérative, IA = initialement aggressive, SC = spontanément coopérative, SA = spontanément aggressive).

1. **Gentille** : je coopère toujours (IC, SC).
2. **Méchante** : je trahis toujours (IA, SA).
3. **Donnant-donnant** : je coopère au premier coup, puis je joue au coup n ce que l'adversaire a joué au coup $n - 1$ (IC, SC).
4. **Rancunière** : je coopère au premier coup et aussi longtemps que l'adversaire coopère, mais dès qu'il trahit, je trahis indéfiniment (IC, SC).
5. **Majorité-mou** : je coopère au premier coup et aussi longtemps que mon adversaire a coopéré, plus ou autant qu'il a trahi dans le passé ; sinon je trahis (IC, SC).
6. **Majorité-dur** : je trahis au premier coup et aussi longtemps que mon adversaire a trahi, plus ou autant qu'il a coopéré dans le passé ; sinon je coopère (IA, SA).
7. **Périodique-ttc** : je joue t, t, c, t, t, c... (SA, SC).
8. **Périodique-cct** : je joue c, c, t, c, t, t... (SA, SC).
9. **Méfiant(e)** : je trahis au premier coup, puis je joue au coup n ce que l'autre a joué au coup $n - 1$ (SA, IA).
10. **Périodique-ct** : je joue c, t, c, t, c, t... (SA, SC).
11. **Pavlov** : Je coopère au premier coup, puis je coopère toujours, sauf quand les deux joueurs n'ont pas joué la même chose au coup précédent (IC, SC).
12. **Donnant-donnant-mou** : je coopère aux deux premiers coups, puis je coopère toujours au coup n , sauf si mon adversaire a trahi au coup $n - 1$ et au coup $n - 2$ (IC, SC).
13. **Donnant-donnant-dur** : je coopère aux deux premiers coups, puis je coopère toujours au coup n , sauf si mon adversaire a trahi au coup $n - 1$ ou au coup $n - 2$ (IC, SC).
14. **Donnant-donnant-lente** : je coopère aux deux premiers coups,

ensuite je me mettrai à trahir indéfiniment lorsque l'autre aura trahi deux fois de suite, et je me remettrai à coopérer indéfiniment dès que l'autre aura coopéré deux fois de suite (IC, SC).

15. **Graduelle** : je coopère au premier coup et quand la règle suivante n'est pas en train de s'appliquer : à chaque fois que l'autre me trahit, je compte le nombre n de ses trahisons passées et je trahis n fois consécutivement, suivi de deux coopérations (IC, SC).

16. **Testeur** : aux trois premiers coups, je joue t, c, c ; ensuite, si aux coups 2 et 3 l'adversaire n'a pas trahi, je trahis toujours ; sinon je joue *Donnant-donnant* (IA, SA).

17. **Mem2** : je commence par jouer deux coups comme *Donnant-donnant* ; ensuite je change de comportement pour deux coups en fonction des résultats des deux derniers coups, selon les règles suivantes : 1) Si les deux coups précédents ont été [c, c], [c, c], je passe à *Donnant-donnant* ; 2) Si le dernier coup a été [c, t] ou [t, c], alors je passe à *Donnant-donnant-dur* ; 3) Dans les autres cas, je joue *Méchante*. De plus, si à un moment l'autre trahit deux fois de suite, je passe définitivement à *Méchante* (IC, SC).

Résultats en face-à-face

Voir le tableau ci-contre.

Résultats du tournoi

Graduelle 48 827 ; *Donnant-donnant* 46 161 ; *Mem2* 45 006 ; *Majo-mou* 44 830 ; *Donnant-donnant-dur* 44 671 ; *Donnant-donnant-lente* 43 824 ; *Donnant-donnant-mou* 43 159 ; *Rancunière* 43 003 ; *Pavlov* 41 420 ; *Gentille* 40 500 ; *Testeur* 37 688 ; *Per-cct* 37 512 ; *Per-ct* 37 392 ; *Majo-dur* 37 351 ; *Méfiant(e)* 35 197 ; *Per-ttc* 29 629 ; *Méchante* 29 116.

Compétition écologique

Les courbes d'évolution dans une compétition écologique sont indiquées ci-contre. Les effectifs finaux de la compétition sont : *Graduelle* 302 ; *Donnant-donnant* 218 ; *Majo-mou* 181 ; *Mem2* 175 ; *Donnant-donnant-dur* 171 ; *Donnant-donnant-lente* 151 ; *Donnant-donnant-mou* 143 ; *Rancunière* 130 ; *Pavlov* 115 ; *Gentille* 109 ; *Majo-dur* 0 ; *Testeur* 0 ; *Méfiant(e)* 0 ; *Per-ct* 0 ; *Per-cct* 0 ; *Méchante* 0 ; *Per-ttc* 0.

Étude des comportements initiaux

Il est intéressant de calculer le gain moyen des stratégies selon leur comportement en début de partie. Il y a les stratégies

stratégies à la fois SA et SC, par exemple la stratégie *Périodique-cct*.

Que découvrent-on en considérant les 17 stratégies de l'encadré ci-dessous ? La simulation se fait avec des rencontres en face-à-face de 1 000 étapes et en utilisant les valeurs classiques $T=5, R=3, P=1, S=0$. Lors de la rencontre en tournoi, les stratégies SA gagnent en moyenne ; viennent ensuite les SC, puis les IA et, enfin, les IC : $SA > SC > IA > IC$.

Cet ordre suggère que coopérer initialement n'est pas une bonne idée. Cependant, la méthode du tournoi autorise une stratégie agressive, telle *Méchante*, à exploiter les stratégies coopératives et non réactives comme *Gentille* (voir l'encadré page 81). Or dans une arène évolutive, les *Gentille* se font rapidement éliminer, ce qui entraîne l'élimination des *Méchante* qui les exploitaient.

Le classement obtenu lors de la compétition écologique met cela en évidence. Avec

les 17 stratégies de l'encadré ci-dessous, il est le suivant : $IC > SC > SA = IA$.

L'élimination des stratégies exploitées par des stratégies agressives a pour conséquence ultime le recul de ces dernières : n'ayant plus de stratégies naïvement coopératives à ponctionner, leurs gains diminuent et donc leurs descendance se raréfient. Pour réussir dans une compétition écologique, il faut être efficace (c'est-à-dire accumuler des points) face aux stratégies efficaces

« initialement coopératives » (IC), qui ne prennent jamais l'initiative de trahir ; il y a celles qui, à l'opposé, prennent cette initiative et sont « spontanément agressives » (SA) ; il y a celles qui sont « initialement agressives » (IA), elles trahissent aussi longtemps que l'autre n'a pas coopéré ; enfin, il y a celles qui, à l'opposé, sont spontanément coopératives (SC).

En tournoi, les moyennes par sous-classe donnent ainsi :

$SA > SC > IA > IC$.

Le résultat de la compétition écologique est différent :

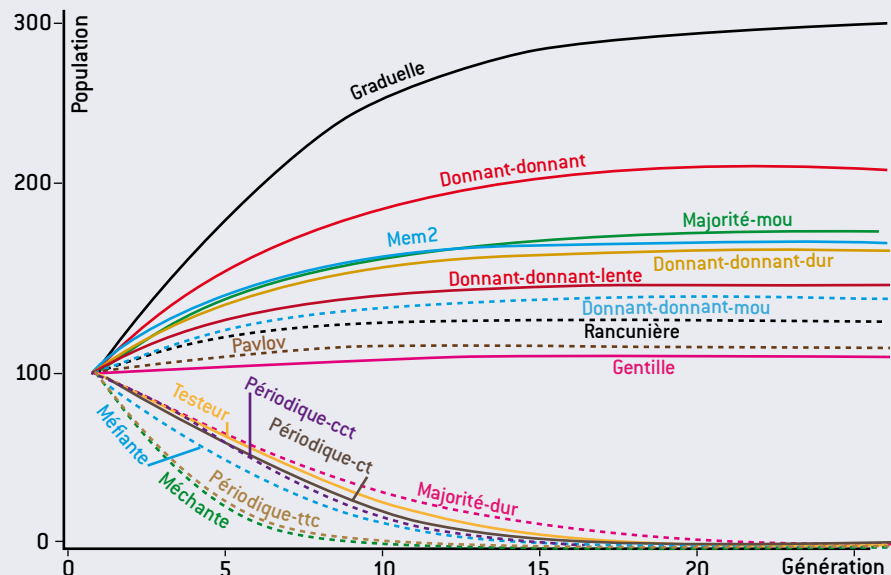
$IC > SC > SA = IA$.

Plus précisément (le nombre de stratégies par sous-classe est indiqué entre parenthèses) :

Moyenne des IC (10) = 170 ;
moyenne des SC (13) = 130 ;
moyenne des SA (7) = 0 ;
moyenne des IA (4) = 0.

En tournoi, l'agressivité est un peu favorisée. En revanche, dans les compétitions écologiques, il faut rester performant, même quand les plus faibles ont disparu par la sélection naturelle. Il vaut mieux alors coopérer en début de face-à-face (IC) et surtout ne pas attendre que l'autre le fasse (IA).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	3000	0	3000	3000	3000	2997	999	2001	2997	1500	3000	3000	3000	3000	3000	6	3000
2	5000	1000	1004	1004	1004	1000	2332	3668	1000	3000	3000	1008	1008	1008	1068	1008	1004
3	3000	999	3000	3000	3000	2500	1998	2667	2500	2498	3000	3000	3000	3000	3000	2999	3000
4	3000	999	3000	3000	3000	1003	2331	3663	1003	2997	3000	3000	3000	3000	3000	1007	3000
5	3000	999	3000	3000	3000	2500	2331	2001	2500	1500	3000	3000	3000	3000	3000	2999	3000
6	3002	1000	2500	1003	2500	1000	2332	2003	1000	2500	2999	3002	2999	3002	3001	2501	1007
7	4334	667	2003	671	671	667	1666	3335	1999	2500	3002	3335	675	675	752	2006	671
8	3666	333	2667	343	3666	3663	1665	2334	2664	2000	2003	3666	1671	3666	491	2664	350
9	3002	1000	2500	1003	2500	1000	1999	2669	1000	2500	2003	3002	1008	3002	3001	3000	1008
10	4000	500	2503	507	4000	2500	1665	2835	2500	2000	2250	4000	507	4000	615	2503	507
11	3000	500	3000	3000	3000	504	1332	2833	1998	2250	3000	3000	3000	3000	3000	2003	3000
12	3000	998	3000	3000	3000	2997	1665	2001	2997	1500	3000	3000	3000	3000	3000	1001	3000
13	3000	998	3000	3000	3000	2999	2330	3331	1008	2997	3000	3000	3000	3000	3000	1008	3000
14	3000	998	3000	3000	3000	2997	2330	2001	2997	1500	3000	3000	3000	3000	3000	1001	3000
15	3000	983	3000	3000	3000	2996	2302	3596	2996	2955	3000	3000	3000	3000	3000	2999	3000
16	4996	998	2999	1002	2999	2496	1996	2669	2995	2498	1998	1016	1008	1016	2999	1004	2999
17	3000	999	3000	3000	3000	1012	2331	3660	1008	2997	3000	3000	3000	3000	3000	2999	3000



La méthode des transformations

Partant d'une famille de stratégies C , on transforme chaque stratégie Str en l'adoucissant ou en la durcissant, ce qui donne une nouvelle stratégie Str' et donc une nouvelle famille C' , que l'on compare à C pour savoir si la transformation opérée est une amélioration. Quatre transformations ont été envisagées.

1) Adoucissement-1: Str' coopère tant qu'elle n'a pas été trahie, ensuite elle joue comme Str .

2) Endurcissement-1: Str' trahit tant que son adversaire n'a pas coopéré, ensuite elle joue comme Str .

3) Adoucissement-2: Str' joue comme Str si l'adversaire a trahi au dernier coup et coopère sinon. Dit autrement, Str' fait comme Str , sauf qu'elle renonce à trahir si l'autre a coopéré au dernier coup. Str' est une version indulgente de Str , prête à n'importe quel moment à pardonner un adversaire coopératif.

4) Endurcissement-2: Str' joue comme Str si l'adversaire a coopéré au dernier coup et trahit sinon. Str' est une version sévère de Str , qui à n'importe quel moment durcit ses réactions face à un adversaire qui refuse de coopérer.

A. Avec les 17 stratégies de base
Partant des 17 stratégies de l'encadré pages 82-83, on obtient

avec toutes les variantes 85 stratégies. On fait alors les moyennes des résultats (pour le tournoi et pour la compétition écologique) des normales (les 17 de départ), des 17 adoucies par Adoucissement-1, des 17 endurcies par Endurcissement-1, etc. En tournoi comme en compétition écologique, on obtient :

$Adou-1 > Adou-2 > Normal > Endur-2 > Endur-1$

Les deux transformations adoucissantes produisent des familles meilleures que la famille initiale, la première méthode d'adoucissement produisant une amélioration plus forte que la seconde.

B. Avec Mémoire (1, 1)

Les 32 stratégies de la famille Mémoire (1, 1) conduisent à un ensemble de 160 stratégies qui donnent en tournoi :

$Endur-2 > Adou-1 > Normal > Endur-1 > Adou-2$. En compétition écologique, on a :

$Adou-1 > Endur-2 > Adou-2 >$

$Normal > Endur-1$.

En tournoi, certaines formes de durcissement semblent présenter de l'intérêt, mais c'est pour l'essentiel une illusion, car en compétition écologique on retrouve le classement précédent avec juste un léger mieux pour Endur-2.

C. Avec Mémoire (1, 2)

En tournoi, on obtient :

$Adou-1 > Normal > Endur-2 > Adou-2 > Endur-1$.

En compétition écologique, le classement est :

$Adou-1 > Adou-2 > Endur-2 > Normal > Endur-1$, ce qui est presque le même classement que précédemment avec une perte d'une position pour Endur-2 qui se révèle assez souvent avoir de l'intérêt.

À nouveau l'adoucissement-1 est gagnant et c'est, des quatre méthodes de transformation, la meilleure. L'adoucissement-2 et l'endurcissement-2 font mieux que ne rien faire. La conclusion est claire : l'adoucissement-1 (en début de face-à-face) est souhaitable d'une manière générale et plus intéressant que l'adoucissement-2, qui reste cependant presque toujours intéressant. L'endurcissement-2 (tout le long du

face-à-face) est assez souvent bénéfique, alors que l'endurcissement-1 (en début de face-à-face) est toujours mauvais.

Il faut noter que l'adoucissement-2 est conditionnel : on est indulgent avec ceux qui sont coopératifs dont on oublie plus facilement le manque de coopération passé. Il est compatible avec l'endurcissement-2, qui consiste à changer son comportement pour le rendre plus agressif dès lors que l'adversaire refuse de coopérer.

Finalement, on observe que parmi les quatre transformations envisagées, le plus souvent, trois d'entre elles sont intéressantes : l'adoucissement en début de face-à-face et au cours du face-à-face et l'endurcissement au cours du face-à-face. Seul l'endurcissement en début de face-à-face est invariablement mauvais.

On pourrait traduire cela par : abordez toujours un éventuel collaborateur avec indulgence, soyez tolérant à propos de son comportement passé s'il se met à coopérer, renforcez vos réactions punitives s'il se montre agressif, mais surtout ne commencez jamais par trop de sévérité et d'exigences.

dans tous les types d'environnements et ne pas se contenter de profiter des faibles. Il faut aussi bien jouer contre soi-même. Les compétitions écologiques sont plus réalistes que les tournois : le meilleur type de comportement est la coopération initiale, le pire l'agressivité initiale.

Pour s'assurer de la robustesse de cette conclusion, nous avons refait la même expérience avec d'autres classes de stratégies. En particulier, nous avons considéré une classe de 1 024 stratégies choisies de façon systématique sans aucun biais (un tel biais,

peut-être inconscient, ne pouvait être exclu avec les 17 envisagées de la première expérience). Nous avons donc pris toutes les stratégies $Strat$ dont le comportement dépend du dernier coup de $Strat$ et des deux derniers coups joués par l'adversaire. Cette classe de stratégies se nomme Mémoire [1, 2]; elle correspond à toutes les façons possibles dont peut jouer une stratégie se souvenant uniquement de son dernier coup et des deux derniers coups de l'adversaire.

La classe Mémoire [1, 2] en tournoi donne $IC > SC > SA > IA$. En compétition écologique,

le classement devient $IC > SC > SA = IA$, qui confirme les résultats obtenus avec les 17.

Plus aucun doute : l'environnement objectif prouve définitivement qu'un comportement initialement coopératif doit être recommandé. Si cette méthode directe d'analyse est concluante, elle ne permet pas d'affiner les conclusions sur l'intérêt des comportements coopératifs ou agressifs qui peuvent être de différentes natures et ne pas concerner seulement les débuts de parties. C'est pourquoi nous avons introduit la « méthode des transformations ».