

plus subtiles auxquelles ne réussissent que les stratégies robustes. Les « compétitions écologiques » consistent ainsi à mettre plusieurs exemplaires de chaque stratégie à tester dans une arène virtuelle où l'on organise un tournoi. Selon les points gagnés dans ce tournoi, on fait évoluer les effectifs des stratégies, ce qui définit une seconde génération : le nouvel effectif d'une stratégie est proportionnel à la fois à l'effectif initial et au nombre de points gagnés dans le tournoi par chaque exemplaire de la stratégie. Par la même méthode, on obtient une troisième génération, et ainsi de suite. On maintient l'effectif total constant.

Les stratégies gagnantes sont celles dont les effectifs deviennent les plus grands. Leurs bons classements ont donc une signification plus profonde que celui tiré d'un simple tournoi. Les conclusions classiques sur le dilemme itéré sont les suivantes :

– Il n'y a pas de stratégies surclassant toutes les autres, mais certaines sont mauvaises dans pratiquement tous les environnements possibles (aussi bien en tournoi qu'en compétition écologique), alors que d'autres réussissent assez bien dans des environnements variés. C'est le cas de la célèbre stratégie *Donnant-donnant* qui coopère au premier coup, puis choisit au coup n ce qu'a choisi son adversaire au coup $n - 1$.

– Les stratégies efficaces ont souvent les caractéristiques suivantes : a) elles sont réactives : elles répondent quand on les trahit, comme le fait *Donnant-donnant* ; b) elles ne prennent pas le risque de trahir : elles commencent par coopérer et, face à un adversaire qui coopère, elles ne trahissent pas ; c) elles savent être indulgentes : après une trahison de l'adversaire, elles finissent par pardonner pour renouer la coopération.

Les compétitions écologiques confirment fréquemment les résultats obtenus en tournoi, mais en amplifient les contrastes. On y observe de plus un phénomène étonnant : sauf dans de très rares cas, l'arène finit par ne contenir que des stratégies qui ne prennent jamais l'initiative de trahir. Après quelques générations, l'arène est donc occupée par des stratégies qui ne jouent entre elles que des coups [c, c]. L'arène se trouve alors dans un état de

Face-à-face, tournoi, compétition écologique

FACE-À-FACE. La stratégie *Donnant-donnant* commence par coopérer, puis joue au coup n ce que l'adversaire a joué au coup $n - 1$. La stratégie *Per-cct* joue périodiquement c, c, t, c, c, t... (c = coopère, t = trahit).

Leur face-à-face dans une rencontre en 10 étapes donne :

<i>Donnant-donnant</i>	c c c t c c t c c t
Points gagnés	3 3 0 5 3 0 5 3 0 5 → 27
<i>Per-cct</i>	c c t c c t c c t c
Points gagnés	3 3 5 0 3 5 0 3 5 0 → 27

À la première étape, *Donnant-donnant* et *Per-cct* coopèrent, [c, c], et chacune gagne 3 points d'après les règles de rétribution [c, c] → 3 + 3, [t, t] → 1 + 1, [t, c] → 5 + 0.

La seconde étape est à nouveau [c, c], la troisième [c, t], etc., ce qui conduit, après 10 étapes de face-à-face, à 27 points pour *Donnant-donnant* et autant pour *Per-cct*.

TOURNOI. Dans cette situation, chaque stratégie joue contre chaque autre, y compris elle-même, et on compte les points gagnés. On en tire un classement (a).

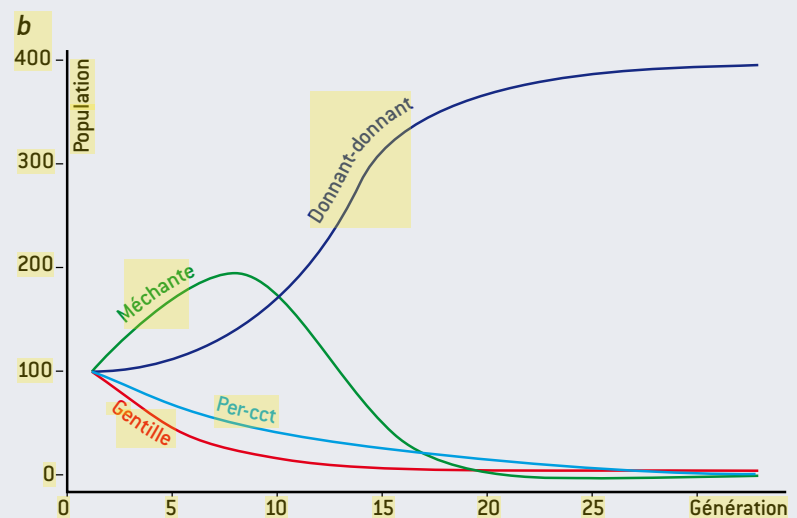
La stratégie *Méchante* (qui trahit à chaque coup) est gagnante. La moins

bonne est *Gentille* (qui coopère toujours).

COMPÉTITION ÉCOLOGIQUE. Partant d'une arène de 100 exemplaires de chaque stratégie (100 *Gentille*, 100 *Méchante*, etc.), arène appelée génération 1, on calcule une génération 2 en fixant pour chaque stratégie un effectif proportionnel au nombre de points qu'elle a gagnés lors d'un tournoi entre les stratégies de la génération 1 : les meilleures stratégies ont de plus grandes « descendances ». Le total des effectifs est maintenu à 400. On calcule de la même façon une génération 3 à partir de la génération 2, etc. On observe sur les courbes d'effectifs (b) que *Donnant-donnant* s'impose magistralement alors que *Méchante* (gagnante du tournoi), après une période de croissance, se fait éliminer. *Donnant-donnant* est la meilleure des quatre stratégies : elle est la seule à survivre avec un petit nombre de *Gentille*. Pour gagner à long terme, être le vainqueur du tournoi ne suffit pas ; si votre force provient de l'exploitation des faibles, dès qu'ils seront éliminés, vous perdrez.

a

	<i>Gentille</i>	<i>Méchante</i>	<i>Donnant-d.</i>	<i>Per-cct</i>	Total ligne
<i>Gentille</i>	30	0	30	21	81
<i>Méchante</i>	50	10	14	38	112
<i>Donnant-d.</i>	30	9	30	27	96
<i>Per-cct</i>	36	3	27	24	90



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* (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, c... (SA, SC).
9. **Méfiant** : 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* 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* 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