

majeur) mais aussi la tonalité des 18 premières mesures. Ainsi, bien que les décimales continuent ensuite d'égrener les accords qui leur sont associés, elles restent sous la « tutelle » de ce 3.

Certaines décimales, créant un contexte harmonique favorable, ont reçu un développement dans le respect de l'accord qui leur était associé. Ainsi la 44<sup>e</sup> décimale (un 2, associé à un accord de *mi* mineur), est traitée sur huit mesures, tandis que les 17<sup>e</sup> et 16<sup>e</sup> décimales ne durent qu'un temps et demi. D'autres décimales dont la suite donnait naturellement de belles successions d'accords n'ont pas été privilégiées : je voulais rester le plus fidèle possible à la suite des décimales, qui jouent toutes le même rôle dans le

nombre  $\pi$ . D'ailleurs, ce changement aurait fait perdre des informations intéressantes : ainsi les décimales 45 à 50 donnent une belle succession d'accords formant une cadence.

Le nombre  $\pi$  fascine, mais d'autres harmonisations peuvent être tentées : racine de deux, le nombre d'or... Dans les trois cas, c'est le système tonal traditionnel qui a été retenu pour le codage, mais on pourrait également utiliser le système dodécaphonique, grâce à un codage en base 12. Il y a beaucoup à faire.

**Jean-Philippe FONTANILLE est compositeur et professeur de guitare à Paris.**

6, si      6, si      4, sol m

3, fa m

5, la m

2, mi

0, do m

6, si m 5 b      5, la

0, do m

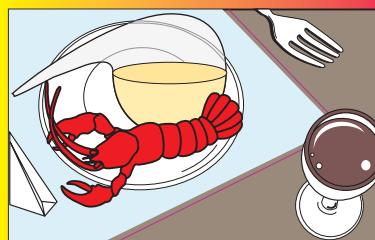
2, mi m

## FRANCE INFO et POUR LA SCIENCE

vous invitent  
à écouter la chronique  
de Marie-Odile Monchicourt :

## Info Sciences

Tous les jours  
sur **France Info**  
à 11 heures 44,  
16 heures 21,  
18 heures 14,  
20 heures 12,  
22 heures 21  
et 0 heure 51



Les prochains  
résultats présentés  
dans la rubrique  
Science et Gastronomie  
seront annoncés sur  
**France Info**  
le 27 septembre 1996.

FRANCE

*info*

# Le monde agité de la coopération

JEAN-PAUL DELAHAYE • PHILIPPE MATHIEU

*Des mouvements oscillatoires inattendus aident à comprendre pourquoi nous ne sommes pas tous débonnaires.*

**L**a simulation des comportements sociaux sur ordinateur montre que, là où tout ne semblait qu'«ordre, calme et volupté», le diable a introduit un maléfice qui ferait douter de ses choix le plus saint des hommes.

Nos recherches systématiques utilisent des ordinateurs puissants qui ont calculé pendant des journées entières ; elles ont montré que les comportements sociaux présentent des aspects oscillatoires inattendus. Ces expériences jettent un doute sur les conclusions généralement admises concernant l'intérêt de la coopération entre entités jouant au «dilemme des prisonniers».

Ce jeu, dont nous indiquerons les règles plus loin, est un modèle naturel pour étudier les mécanismes de coopération entre organismes indépendants ; ceux-ci doivent choisir entre une attitude d'association ou une attitude d'opposition. Aussi les conclusions morales que l'on déduisait des résultats anciens doivent prendre en compte des dynamiques nouvelles que nous avons rencontrées.

## S'ASSOCIER OU SE COMBATTRE ?

Deux suspects emprisonnés sont questionnés par la police. Ils s'interrogent : doivent-ils être solidaires l'un de l'autre en n'avouant rien aux policiers ou doivent-ils trahir leur compère pour bénéficier d'une remise de peine ? C'est le dilemme des prisonniers. Pour en illustrer la généralité, examinons le cas économique du travail spécialisé.

Vous êtes meilleur sabotier que votre voisin, lequel est meilleur cultivateur que vous ; votre intérêt commun est de vous spécialiser et de créer une association. Vous resterez dans votre atelier et lui dans son champ, et vous échangerez des sabots contre du blé. Globalement, vous gagnerez chacun, en coopérant ainsi, plus que si vous refusiez de com-

mercer l'un avec l'autre. Pourquoi ? Parce que, si vous ne coopérez pas, vous seriez obligé de passer une partie de votre temps à faire des sabots et une autre partie à cultiver votre blé, tâche où vous êtes inefficace. Vous pourriez être tenté d'aller voler le blé de votre voisin ! Est-ce une bonne politique ? Vous en tirez un bénéfice immédiat, mais vous risquez alors de vous fâchez définitivement avec lui. Toute coopération future est alors interdite, et vous perdez le bénéfice des échanges. Il en va de même si votre voisin vole vos sabots.

Ce type de situations apparaît dans un grand nombre de contextes : en économie, en biologie, en sciences politiques, en psychologie, en sociologie, en stratégie militaire, en informatique, etc. Dans ces situations, chaque joueur a le choix entre la coopération – *c* – et la trahison – *t* – (le vol des biens du voisin amenant la dispute) ; l'intérêt commun est la coopération, alors que l'intérêt individuel est la trahison (le voleur gagne plus). Les gains des entités dans un tel jeu sont fonction de leurs choix. Indiquons les paramètres, classiques mais adaptables, du dilemme du prisonnier.

Si les deux entités coopèrent – ce que l'on note [*c, c*] –, toutes deux gagnent journalièrement trois points, et la «production quotidienne» globale est de six points.

Si l'une trahit et l'autre coopère – [*t, c*] –, celle qui trahit et exploite son adversaire gagne cinq points, et l'autre, qui se fait bernier, ne gagne rien. La production quotidienne est cinq points au lieu de six : un voleur fait baisser la production générale !

Si les deux entités trahissent simultanément (défiance mutuelle, conflit, etc.) – [*t, t*] –, cela leur coûte du temps et de l'énergie et, de plus, elles perdent le bénéfice des échanges de compétence. On convient qu'alors elles ne gagnent chacune qu'un point chaque jour.

Dans une telle situation de dilemme des prisonniers, ce qu'a fait votre adversaire les jours précédents influera sur votre décision de coopérer ou de trahir. Nous n'envisagerons ici pas d'autres valeurs de points gagnés, mais les conclusions obtenues ne dépendent pas du choix, pourvu qu'on respecte les principes généraux du jeu.

Il y a une vingtaine d'années, en utilisant des simulations informatiques, Robert Axelrod, de l'Université du Michigan, a mis en évidence une stratégie simple appelée DONNANT-DONNANT (ou TIT FOR TAT), souvent efficace : «Le premier jour je coopère et, les jours suivants, je joue comme mon adversaire a joué la veille.»

Cette stratégie associe un certain nombre de bonnes propriétés qui expliquent son succès :

- Elle est gentille : elle ne prend jamais l'initiative de la trahison.

- Elle est réactive : contrairement à la stratégie LUNATIQUE qui décide de coopérer ou de trahir au hasard en tirant à pile ou face à chaque coup, la stratégie DONNANT-DONNANT détermine le comportement d'un joueur en fonction de ce que fait son partenaire.

- Elle est permissive, ce que n'est pas la stratégie RANCUNIÈRE. Cette stratégie règle son jeu sur le principe «je coopère jusqu'à ce que mon adversaire trahisse et, si cela arrive, alors je trahis toujours».

- Elle est simple, ce qui est avantageux en première analyse.

L'existence de stratégies plus complexes réussissant mieux que DONNANT-DONNANT dans des contextes nombreux et variés a été prouvée : c'était l'une des conclusions d'un article précédent (voir *L'altruisme perfectionné*, *Pour la Science*, mai 1993). Les stratégies proposées par les lecteurs de la revue nous ont permis de la vérifier.

Ainsi la stratégie GRADUELLE, moins simple et plus efficace que DONNANT-DONNANT, est : «Je coopère, mais, lorsque mon adversaire me trahit, je réplique par une série de *N* trahisons successives, où *N* est le nombre de trahisons passées de mon adversaire, suivie de deux étapes de coopération ayant pour objet de renouer une phase de coopération.»

## TOURNOIS ET SIMULATIONS ÉCOLOGIQUES

On compare les stratégies à l'aide de deux types de compétitions : les tournois (a) et les simulations écologiques (b).

Dans les tournois, chacune des stratégies étudiées joue contre chaque autre (par exemple, lors d'une confrontation