

Nous avons mené une étude statistique de ce type de « monde » sur un graphe en grille de 100 nœuds : chaque nœud est relié à ses huit voisins (horizontaux, verticaux, en diagonal), les bords se rejoignant (grille en forme de tore). On place au hasard des communautés sur les nœuds en faisant varier la proportion p de nœuds occupés par des communautés coopérantes.

Si la proportion initiale p de communautés coopérantes est supérieure à 80 pour cent, alors, dans plus de 95 pour cent des cas, il ne restera au final pratiquement que des coopérants : le monde converge en quelques générations vers un univers de coopération généralisée. Au-dessous de 20 pour cent de communautés coopérantes initiales, l'évolution conduit presque certainement à un monde agressif. Dans un pour cent des essais (p entre 0,4 et 0,7), nous observons des équilibres mixtes où coexistent communautés coopérantes et agressives.

À l'exception de ces équilibres mixtes, la dynamique générale d'évolution est claire : (a) les zones où seuls des individus agressifs sont en contact dépérissent ou ne réussissent pas à croître ; (b) dans les zones où les deux types d'individus se rencontrent, les coopérants disparaissent au profit des agressifs ; (c) les zones où des coopérants ne rencontrent que des coopérants prospèrent. La première phase de l'évolution est une course entre agressifs des zones (b) et coopérants des zones (c) s'il y en a. Cependant, quel que soit l'avantage obtenu par les premiers, s'il y a des individus dans les zones (c), ils finissent par s'imposer et la population finale est composée essentiellement d'individus coopérants localisés dans les zones (c). Bien sûr, en l'absence de zones de type (c), le monde converge vers une guerre généralisée. Un critère permet ainsi de prévoir l'évolution avec un risque d'erreur limité : s'il existe un nœud coopérant protégé (c'est-à-dire en contact seulement avec des nœuds coopérants) alors le monde convergera vers un état de coopération généralisé ; sinon, le monde s'orientera vers un état désastreux d'agressivité tous azimuts.

Les cas d'évolution vers des configurations mixtes échappent à ce schéma. L'un d'eux, décrit sur la figure 4, révèle une complexité inattendue permettant la coexistence dans des conditions subtiles d'équilibre périodique des deux types de communautés dont les effectifs ne se stabilisent jamais.

Erdős-Renyi ou Petit monde ?

Sur une grille, chaque nœud est lié à huit voisins (connectivité 8) et il est probable que cette valeur de la connectivité joue un rôle important. Aussi avons-nous engendré systématiquement des graphes aléatoires dont un exemple et ses conclusions sont indiqués sur la figure 5. Récemment, de nombreux travaux ont montré que les graphes qu'on rencontre dans le monde réel ressemblent rarement aux graphes aléatoires de Erdős-Renyi. Les graphes du monde réel, graphes des liaisons ferroviaires, graphes décrivant les liens entre pages web, graphes des réseaux sociaux, sont en général beaucoup plus contrastés : le nombre de connexions d'un nœud aux autres varie fortement, conduisant en particulier à des nœuds, nommés « hub », qui centralisent un nombre de liens très supérieurs à la connectivité moyenne du graphe. Ces graphes réels, nommés *Petit monde*, ont certaines bon-

nes propriétés : faible distance moyenne entre nœuds, résistance aux pannes, etc. Il est naturel de s'interroger sur leurs capacités à susciter des équilibres coopératifs.

Les expériences donnent un résultat sans appel : pour un nombre donné de nœuds et de liens entre les nœuds et une même proportion initiale de communautés coopérantes, l'évolution sur un graphe de type *Petit monde* conduit plus fréquemment à une situation d'agressivité généralisée que sur un graphe de type Erdős-Renyi. La raison en est sans doute que la structure de *Petit monde* facilite la domination des communautés agressives et nuit à l'existence de nœuds coopérants protégés : des phénomènes sociaux (comme la diffusion rapide d'informations) sont facilités par l'existence des centres dominateurs, mais ils empêchent l'apparition et le maintien d'équilibres efficaces qui ne naissent et ne prospèrent que si certains nœuds se trouvent dans un certain isolement.

Les réseaux de communautés envisagés ici, du fait de leurs simplicités, ne permettent pas de modéliser la formation de groupes fermés et hostiles entre eux (espèces animales, sectes, pays ennemis, etc.) qui sont importants aussi bien dans le monde vivant que social.

Pour modéliser les dynamiques de ces groupes, une méthode consiste à définir deux sortes (ou plus) d'individus capables de se reconnaître : les A et les B. Les A coopèrent avec les A et agressent systématiquement les B. Les B coopèrent avec les B et agressent les A. Partant d'une configuration aléatoire de A et de B placée sur une grille, on assiste à la formation de groupes coopérants composés uniquement de A et de groupes coopérants composés uniquement de B. Ces groupes, bien sûr, se combattent farouchement à leurs frontières, créant des zones désertifiées.

Cette émergence de la coopération « par solidarité de groupes » (récemment étudiée par D. Hruschka et J. Henrich) s'ajoute à l'émergence de la coopération résultant des stratégies réactives du type *donnant-donnant*, et à l'émergence de la coopération du fait des phénomènes que le modèle des réseaux de communautés met en évidence.

Ainsi l'expérimentation informatique aide à découvrir et à comprendre les nombreuses mécaniques collectives dont les groupes d'individus des mondes vivants, sociaux et économiques sont le théâtre et dont l'élucidation détaillée ne peut se passer des simulations réalisées grâce aux calculs massifs que les ordinateurs d'aujourd'hui autorisent.

Jean-Paul DELAHAYE est professeur d'informatique à l'Université de Lille. Rémi DORAT est doctorant au LIFL (CNRS).

R. DORAT et J.-P. DELAHAYE, *Émergence et maintien de comportements coopératifs dans un modèle de communautés en réseau*, Laboratoire d'informatique fondamentale de Lille (LIFL), 2006, <http://www.lifl.fr/SMAC/>
J. BRIFFAUT, *Mémoire de DEA*, LIFL, 2004.

D. HRUSCHKA et J. HENRICH, *Friendship. Cliquiness and the emergence of cooperation*, in *Journal of Theoretical Biology*, 239, pp. 1-15, 2006.

R. AXELROD, *The evolution of cooperation*, Basic Books, New York, 1984.

M. NOWAK et R. MAY, *Evolutionary games and spacial chaos*, in *Nature*, 359, pp. 826-829, 29 octobre 1992.

S. BOWLES et H. GINTIS, *Optimal parochialism : The dynamics of trust and exclusion in Network*, 2000 : Santa-Fee Working Paper <http://www.santa-fe.edu/research/publications/wpabstract/200003017>

La cougourdette se dévoile

Les espèces américaines du genre *Cucurbita* étaient connues en France dès 1503, soit à peine dix ans après le voyage de Christophe Colomb.

Environ 19 millions de tonnes de citrouilles, de potirons et de courges sont produits chaque année de par le monde, et pour la plupart en Europe et en Asie. Pourtant, le genre *Cucurbita* (il regroupe les trois végétaux mentionnés) est né sur les continents américains, à l'instar du maïs, et n'a pu traverser l'Atlantique qu'après le voyage de Christophe Colomb en 1492. Avant cette époque, les Européens ne pouvaient pas se régaler de ces fruits, même s'ils connaissaient depuis longtemps les gourdes du genre *Lagenaria*, que Pline nommait... *cucurbita*.

Les botanistes distinguent trois espèces de *Cucurbita*. *Cucurbita pepo*, l'espèce la plus répandue, à laquelle on peut rattacher toutes les variétés de courgettes, ainsi que les pâtissons. *Cucurbita maxima* rassemble les potirons, les potimarrons, et bien d'autres. Enfin, *Cucurbita moschata* et ses variétés telle la courge *Butternut*.

L'iconographie est le meilleur moyen d'établir et de dater la présence d'une espèce dans une région donnée. Ainsi, pour *Cucurbita*, les premières images connues ont longtemps été celles qui apparaissent dans *De historia stirpium* du botaniste Leonhart Fuchs (1501-1566). Ce catalogue de la flore allemande a été publié en 1542, soit 50 ans après la découverte du Nouveau Monde. Plus récemment, des espèces nord-américaines, telle *Cucurbita pepo* et sud-américaines comme *C. maxima*, ont été reconnues dans les ornements de la Villa Farnese, à Rome, réalisés entre 1515 et 1518. S'agit-il de la plus ancienne preuve de *Cucurbita* en Europe ? Non, il y a plus vieux, dans les *Grandes heures d'Anne de Bretagne*.

Anne de Bretagne fut deux fois reine de France, d'abord en épousant Charles VIII, en 1491, puis en épousant son successeur, Louis XII, huit ans plus tard. Elle commanda à l'artiste Jean Bourdichon (1457-1421) de décorer un livre de prières pour son usage personnel. L'ouvrage, réalisé en Touraine entre 1503 et 1508, contient, outre des prières, des calendriers mensuels et des peintures religieuses en pleine page. Chaque prière est ornée d'un décor végétal, parfois accompagné d'insectes ou d'autres petits animaux, faisant des *Grandes heures* un catalogue de plus de 300 espèces végétales. Chaque dessin est complété du nom latin de la plante au-dessus et du nom vernaculaire en dessous.

La prière du folio 161 (voir page ci-contre) est associée à une plante qui se déploie sur un fond doré. On y distingue

trois fleurs ouvertes dont les stigmates (les organes femelles qui reçoivent le pollen) ressemblent à ceux de *Cucurbita pepo*. Les corolles jaune-orangé sont peu évasées, fuselées à la base, et séparées en pétales seulement à l'extrémité terminale. Cette corolle est découpée en six parties. Bien que cinq soit le nombre typique de *C. pepo*, certaines variantes ont six, voire sept, pétales soudés à la base. Le calice est court et constitué de sépales qui s'affinent vers leur pointe. Les ovaires sont situés en dessous de la corolle : ce sont les renflements en forme de poire et qui, après fécondation, donneront les fruits. Ces caractères, ainsi que la forme des feuilles confirment l'identification du végétal : Bourdichon a peint *C. pepo*, dix ans après qu'un Européen l'a vue pour la première fois. Le nom latin, *Colloquitida*, n'a pas survécu aux nouvelles classifications. Le nom français était, à l'époque, *cougourdette*.

Les deux fruits de *Quegourdes de turquie*, le nom vernaculaire inscrit sur le folio (au XVI^e siècle, l'expression « de turquie » traduisait une origine exotique quelconque), sont semblables aux fruits, pourtant protéiformes, de *C. pepo*, mais ressemblent aussi à ceux de *Lagenaria siceraria*. Toutefois, les fleurs de cette dernière plante sont blanches, écartant les *cucurbita* de Pline.

Un examen détaillé révèle que les fruits peints sont rayés longitudinalement : de larges bandes vert-jaune alternent avec de fines bandes bleu-vert. Ce motif n'existe pas chez *L. siceraria*, mais est commun chez les variétés sauvages ou cultivées de *C. pepo*. Le doute n'est plus permis.

Nous pouvons même pousser l'identification jusqu'à la sous-espèce. En effet, la plupart des *Cucurbita* sauvages ont des fruits ronds, à l'exception de *C. pepo texana*, dont certaines variantes ont des fruits rayés en forme de poire. Ces fruits restent néanmoins non comestibles. Aussi, le plant représenté dans les *Grandes heures d'Anne de Bretagne* ne trahit pas un échange transatlantique entre agriculteurs, mais peut-être la cueillette d'un matelot de la *Santa Maria* pendant que le capitaine se croyait aux Indes.

Harry PARIS travaille au Centre de recherches Neveh Ya'ar, en Israël. Michel PITRAT et Marie-Christine DAUNAY travaillent à l'INRA, à Montfavet. Jules JANICK travaille à l'Université Purdue, aux États-Unis.

H. PARIS et al., *First known image of Cucurbita in Europe, 1503-1508*, in *Annals of Botany*, vol. 98, pp. 41-47, 2006.