

ploration à l'aide de programmes est bien un outil essentiel pour ces découvertes, mais c'est à l'aide d'algorithmes subtils qu'on progresse. Ces algorithmes que les passionnés s'échangent entre eux et ajustent année après année, entre autres choses, analysent les essais infructueux déjà tentés pour ne pas rechercher dans des directions peu prometteuses, et essaient des configurations ressemblant à des configurations déjà connues pour être intéressantes.

Le nombre de configurations à explorer est bien trop grand pour que même les plus rapides des ordinateurs puissent découvrir des objets intéressants en procédant bêtement au hasard : le nombre de configurations différentes possibles contenues par exemple dans un carré de 10 cases sur 10 cases est de $2^{100} \sim 10^{30}$, ce qui est bien plus que ce qu'ils pourraient explorer même si on confiait aux passionnés du jeu tous les ordinateurs de la terre pendant un an.

C'est donc en perfectionnant programmes et algorithmes, en y intégrant des configurations déjà trouvées, en décomposant les figures intéressantes connues et en les recomposant différemment, bref c'est en utilisant toute l'ingéniosité dont un informaticien peut être capable que les ingénieurs-biologistes du *Jeu de la vie* trouvent ces machines étranges adaptées à la physique simplifiée du monde de Conway (n'oubliez pas que tout est toujours régi uniquement par «naissance si 3 voisins ; survie si 2 ou 3 voisins»). Peut-être que du génie est parfois utile.

LANCE-GLISSEURS ET LANCE-NAVIRES

Un glisseur est une configuration de cinq cellules (voir la figure 2) qui se déplace en quatre générations d'une case en diagonale (c'est le plus simple des navires et sa vitesse est $c/4$). Les lance-glisseurs sont des configurations qui restent fixées à un endroit, mais qui périodiquement engendrent un ou plusieurs glisseurs qui constituent alors des «courants» de glisseurs et s'éloignent indéfiniment du lance-glisseurs.

Il existe aussi des lance-navires et des pousseurs lance-glisseurs ou lance-navires, et ce sont toutes ces configurations dynamiques qui constituent les composants élémentaires qu'on assemble pour construire les objets ayant un taux de croissance «en $\log(t)$ » ou autre.

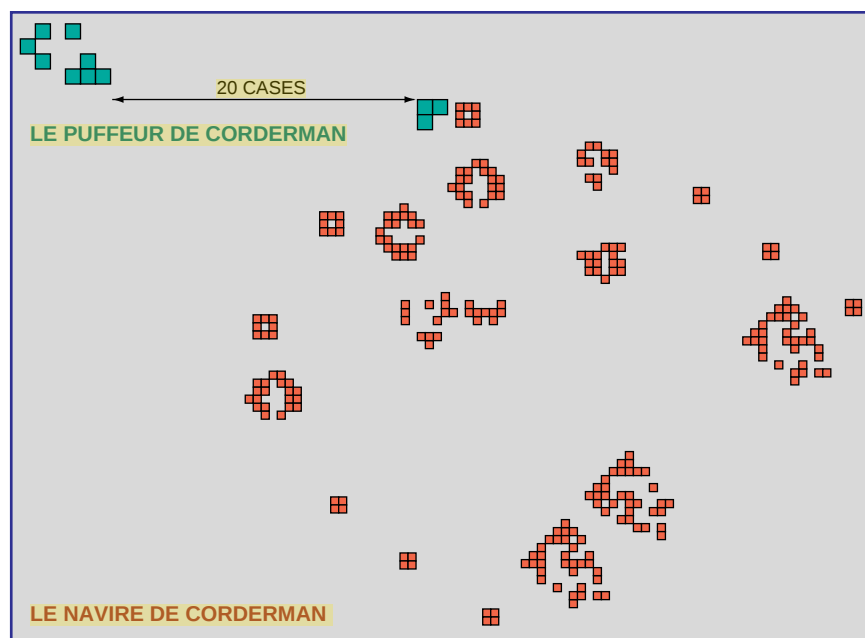
Il existe, par exemple, des lance-glisseurs qui émettent un glisseur toutes les 30 générations (le premier découvert est de cette catégorie), d'autres toutes les 23 générations. Il en existe aussi de

plus compliqués qui émettent toutes les 15 générations (celui-là est assez gros). D'autres émettent un courant irrégulier, car résultant d'une interaction complexe et difficile à analyser ; on les appelle *lance-glisseurs aléatoires*. D'autres émettent très rarement, par exemple toutes les 360 générations ou plus rarement encore.

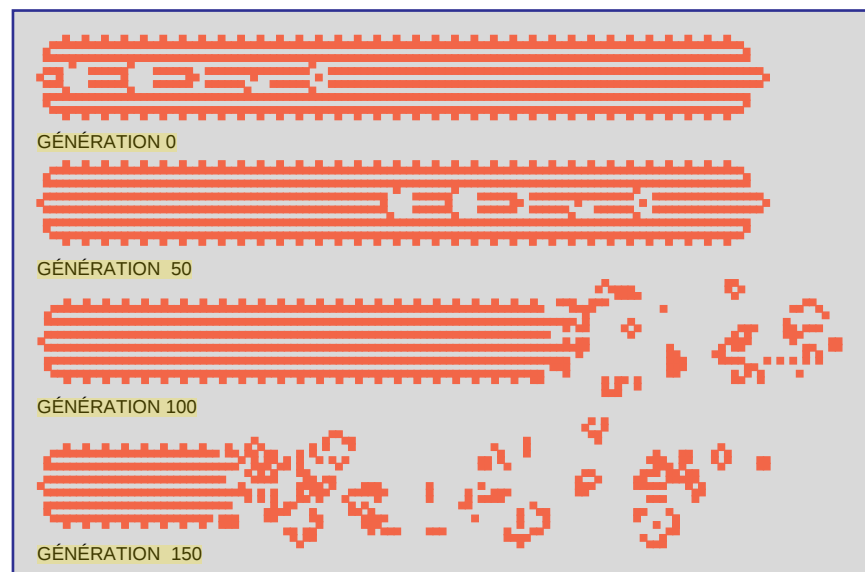
La configuration la plus extraordinaire que j'ai vue est construite à partir de navires lance-glisseurs et de navires

lance-navires. Elle synthétise une suite de navires exactement espacés comme la suite des nombres premiers : il y a un navire pour 2, un pour 3, un trou pour 4, un navire pour 5, un trou pour 6, un navire pour 7, des trous pour 8, 9, 10, etc. Ce calcul des nombres premiers par une machine du *Jeu de la vie* était prévu par la théorie.

En effet, en analysant certains des composants disponibles, dès les années 1970, John Conway a réalisé qu'on pou-



5. Le *puffeur de Corderman* est la plus petite configuration dont on est certain que l'effectif augmente indéfiniment. Le *navire de Corderman* a été tiré du *puffeur de Corderman* ; contrairement à tous les navires connus jusqu'en 1989, sa vitesse $c/12$ est différente de $c/2$ et de $c/4$.



6. La configuration *Zip* illustre le déplacement (à la vitesse c) d'une perturbation dans un fil. Pour exploiter ce genre de fil (plus rapide que les classiques courants de glisseurs qui avancent à la vitesse $c/4$), il faudrait en stabiliser les extrémités, concevoir des portes ET, OU, NON, dessiner des branchements et des angles droits, toutes choses qu'aujourd'hui personne n'a réussi à obtenir.

vait créer des courants de glisseurs et les faire interagir entre eux pour obtenir des portes logiques ET, OU, NON, comme dans un circuit électronique. Les éléments de base pour construire un ordinateur universel (c'est-à-dire capable de calculer toute fonction calculable) étaient donc présents et on en a déduit alors qu'en s'y prenant bien il était possible de faire calculer les nombres premiers à une configuration, ou les coefficients du binôme ou tout ce qui vous intéresse et qu'un ordinateur sait calculer.

Mais du résultat mathématique, «on peut construire une configuration qui calcule les nombres premiers» à la réalisation pratique d'une telle configuration avec vérification qu'elle fonctionne, il y a un pas énorme qui a demandé plus de 20 années.

On a là un exemple de la différence entre *l'existence mathématique* et *l'existence pratique*. Le mathématicien, même lorsqu'il donne explicitement les règles qu'il faut employer pour obtenir tel ou tel objet (c'est ici le cas), ne se préoccupe pas nécessairement de mener le travail jusqu'à son terme : il sait que c'est possible, il a des arguments abstraits qui l'en persuadent et ça lui suffit. Aux ingénieurs de terminer le travail si ça les amuse !

De la même façon, les mathématiciens du *Jeu de la vie* ont établi depuis longtemps qu'il était possible de construire des navires de type $A - B$ avec A et B quelconques. Pourtant, ainsi que nous l'avons déjà dit, on n'en connaît aujourd'hui que de type $A - B$ avec $A = 0$ (déplacement vertical) ou $B = 0$ (déplacement horizontal) ou $A = \pm B$ (déplacement diagonal), et donc en particulier aucun navire de type $1 - 2$ n'a jamais été vu. Un lecteur saura-t-il en découvrir un ?

De même encore, on sait prouver mathématiquement qu'il existe des configurations autorépliquantes – qui se dédoublent au bout d'un certain nombre de générations –, mais jamais personne jusqu'à présent n'en a aperçu sur son écran d'ordinateur. On le voit, les bâtisseurs d'empires imaginaires que sont les ingénieurs-biologistes du *Jeu de la vie* ont encore du travail devant eux.

FOLIE OU SAGESSE ?

Les gens qui s'occupent du *Jeu de la vie* sont parfois l'objet de railleries : pour mener toutes ces expériences de biologie imaginaire, ne faut-il pas être fou et irresponsable (car bien sûr les ordinateurs utilisés sont coûteux, et le temps passé à ces recherches pourrait l'être à des calculs plus productifs).

Mais après tout... est-ce si fou que cela d'étudier l'un des plus simples

mondes possibles ? N'est-ce pas le seul moyen pour évaluer ce qui est nécessaire, comme concepts, comme mécanismes de base, comme chimie minimum, pour faire «fonctionner un monde». Ce que nous voyons se produire dans le plan de Conway nous apprend que, même si notre Univers nous apparaît complexe, cela n'entraîne pas que ses lois le sont.

Le principe du rasoir d'Occam veut qu'on minimise ce qu'on fait intervenir dans une explication ou un modèle : cette exploration du minimum générant la complexité qu'est l'étude du *Jeu de la vie* peut donc être vue comme une physique ultra-fondamentale ou une biologie théorique ultime. C'est donc un travail scientifique aussi important que bien d'autres menés ici ou là dans les milliers de sous-disciplines scientifiques existant maintenant et qui ne sont pas toujours aussi amusantes et esthétiques !

Le logiciel *LifeLab* pour Macintosh (en shareware pour 50F) est livré avec des centaines de configurations, dont les plus belles de Dean Hickerson et Alan Hensel et toutes celles mentionnées dans l'article. Pour l'obtenir, adressez-vous à Andrew Trevorrow, 19 Abbott Lane, North Adelaide, 5006 Australia (e-mail: akt@kagi.com). Les propriétaires de PC peuvent s'adresser à l'adresse ftp :

ftp://life.anu.edu.au/pub/complex_systems/alife/life/lifep.zip

Un serveur Internet à l'adresse :

<http://www.cs.jhu.edu/~callahan/lifepage.html>

vous fournira bien d'autres informations encore sur le *Jeu de la vie*.

Jean-Paul DELAHAYE est professeur d'informatique à l'Université des sciences et techniques de Lille et chercheur au laboratoire d'informatique fondamentale de Lille du CNRS.

D. I. BELL, *Spaceships in Conway's Game of Life*, NEC Information Systems, Canberra, Australie, dbell@pdact.necisa.oz.au, 1993.

J. H. CONWAY, E. R. BERLEKAMPS et R. K. Guy, *WINNING, Ways for your mathematical plays*, Academic Press, 1982.

M. GARDNER, *The game of life*, *Mathematical Games*, in *Scientific American*, 10-1970, 11-1970, 12-1970, 1-1971, 2-1971, 3-1971, 4-1971, 11-1971, 1-1972, 12-1975.

M. GARDNER, *Wheels, Life and other Mathematical Amusements*, W. H. Freeman, New York and San Francisco, 1983.

W. POUNDSTONE, *The Recursive Universe. Cosmic complexity and the limit of scientific knowledge*, Oxford Univ. Press. 1985.

Les sons naturels

SHAWN CARLSON

Comment enregistrer et analyser les sons émis par les animaux.

L'évolution est le plus grand des compositeurs. Vous en doutez ? Arrêtez-vous sur une plage déserte et écoutez : le vent, les vagues et les mouettes font une symphonie plus majestueuse et plus belle – à mon goût – que celles que l'on entend dans les salles de concert. Et les plages ne sont pas les seuls lieux enchanteurs : toute la surface de la Terre retentit de dizaines de millions de sons émis par les oiseaux, par les amphibiens, par les mammifères ou par les insectes. Bien qu'ils nous charment souvent, un pour cent seulement de ces sons ont été correctement enregistrés et archivés. Bien moins encore ont été analysés. Avec un peu de soin, vous pouvez capter des sons qui n'ont jamais été enregistrés et étudier leurs structures.

Vous pouvez même contribuer à enrichir les bibliothèques de sons naturels des laboratoires de zoologie. Les matériels professionnels de prise de son coûtent plusieurs milliers de francs, mais des découvertes sont possibles avec un budget bien inférieur. Avec l'aide de quelques logiciels spécialisés et d'un petit matériel d'enregistrement, vous pouvez faire un travail de recherche original.

Avant les prises de sons, apprenez à reconnaître les animaux à leurs cris : lisez des guides, renseignez-vous auprès de naturalistes, partez en visite commentée avec des gardes forestiers ou avec des guides de parcs naturels avertis et, surtout, écoutez des enregistrements. De nombreux disques présentent les chants des oiseaux, et la rubrique *Analyses de livres de Pour la Science* a récemment présenté *Entomophonia*, un disque compact qui présente les chants d'insectes. Consultez également les enregistrements de cris d'animaux à la médiathèque du Muséum national d'histoire naturelle de Paris.

Pour enregistrer correctement les sons de la nature, vous devrez apprendre à les isoler de tout le fond sonore. Vous y parviendrez en utilisant un réflecteur parabolique, qui éliminera tout son qui ne proviendra pas de son axe. Si vous placez un microphone à son foyer, celui-ci ne captera que le son vers lequel pointe la parabole. N'utilisez pas un réflecteur trop grand, car vous ne pourriez plus le transporter commodément dans la nature (limitez son diamètre à un mètre). Pour être réfléchi, une période de l'onde sonore doit tenir à l'intérieur de la parabole ; aussi vous ne pourrez pas amplifier d'onde sonore de longueur d'onde supérieure à un mètre, ce qui correspond

à des fréquences supérieures à 344 hertz. Heureusement la plupart des animaux produisent des sons de fréquence supérieure à 344 hertz. Par exemple, les chants d'oiseaux ont des fréquences comprises entre 2 000 et 6 000 hertz. Vous trouverez facilement votre réflecteur parabolique, soit dans des magasins de hi-fi, soit dans les magasins de surplus militaires, soit encore dans les magasins qui vendent des ustensiles de cuisine. Certains chaudrons chinois ou de grands saladiers donnent d'étonnants résultats ; de petits parapluies bien tendus, une luge en plastique, des réflecteurs de lampe ou même le fond d'un barbecue rond font également l'affaire.

Une fois le réflecteur parabolique trouvé, vous devrez vous procurer un microphone, un magnétophone et des écouteurs. Au centre de la parabole, percez un trou assez large pour y faire passer le fil du microphone. Un cintre en fil de fer rigide fait un bon support. Enroulez en spirale l'extrémité du fil de fer à la base de la parabole et boulonnez une plaque de métal par-dessus pour maintenir le fil fixé à la parabole (voir la figure 1).

Avec du ruban adhésif fort, fixez le microphone à l'autre extrémité du fil de fer ; le microphone doit faire face à la parabole. Procédez par essais successifs pour déterminer la meilleure position du microphone, puis raccordez ce dernier au magnétophone portable. Ces deux appareils peuvent être simples : vous apprendrez déjà beaucoup avec un microphone qui coûte moins de 200 francs et avec un minicassette banal.

Pour vous entraîner, allez d'abord au zoo, où les animaux sont nombreux et confinés, et où vous pourrez effectuer d'éventuels rafistolages de dernière minute.

