



Dessin tiré d'un ouvrage de Grandville, intitulé "L'Enfer", qui est une œuvre de vulgarisation des "Divines Comédies" de Dante. Cette gravure représente les mystères de l'enfer. Dieu se fait avoir par le Diable!

A. et G. Zimmermann, Genève

J'ai joué à Dieu et créé la vie dans mon ordinateur

Par **Thomas Ray**

Thomas Ray, docteur en biologie, spécialiste en écologie végétale, est professeur associé à la School of Life and Health Sciences de l'Université du Delaware, à Newark.

L'expérience renversante d'un biologiste évolutionniste

J'AI consacré toute ma vie, jusqu'ici, à l'étude de l'évolution, parce que je crois que l'évolution est le processus qui a permis la vie, créé les humains à partir de simples molécules, et

nous a donné la possibilité de comprendre un peu l'univers dans lequel nous vivons. La vie, je l'aime, et j'aime observer les organismes vivants en leurs formes innombrables. Certains étudiants de l'évolution examinent les fossiles pour essayer de connaître l'origine de l'homme. Si la paléontologie est une science fascinante, je préfère pour ma part travailler avec des organismes vivants.

Ce goût m'a conduit à passer seize années à étudier l'évolution, l'écologie et l'histoire naturelle des forêts tropicales humides du Costa Rica. La vie s'y exprime mieux que partout ailleurs, dans la chaleur,

l'eau qui dégouline, au milieu des oiseaux qui chantent, des insectes qui bourdonnent, et de milliers, de millions, de formes de vie, chacune d'elles unique et merveilleuse. La forêt humide est une cathédrale formidable, dont la structure même est vivante. Ces années, je les ai passées à observer et décrire des organismes dont les propriétés étaient inconnues de l'humanité – coléoptères, fourmis, papillons, plantes – et à publier les résultats de mes travaux. Mais après tout ce temps, j'éprouvai une sorte de frustration. J'avais toujours la même révérence pour les créatures que je décrivais, la même préoccupation pour leur destin fragile, mais elles m'étaient devenues trop familières, et mes observations restaient d'ordre purement sensoriel. Je ne faisais qu'étudier au fond quelques-uns des résultats de l'évolution, alors que ma curiosité véritable portait sur l'évolution elle-même. Mon intellect en voulait

davantage. Si toutes les formes de vie qui existent aujourd'hui sur la Terre nous paraissent découler d'un organisme unique très simple, une molécule peut-être, qui s'est copiée elle-même, c'est que toutes ces formes ont des traits héréditaires communs. Mais l'évolution des créatures organiques est d'une lenteur extrême, puisqu'elle dure depuis quatre milliards d'années, et il est donc difficile de l'observer en train de se produire.

L EN IRAIT autrement, bien sûr, si nous vivions à une autre échelle temporelle et spatiale. Imaginez un instant que nous puissions vivre assez longtemps pour observer l'évolution en train de se faire sur les millions de planètes qui peuplent l'univers. Que verrions-nous? La vie surgir toujours du carbone? Si tel était le cas, aurait-elle toujours un code génétique fait d'acides nucléiques? Les molécules enzymatiques chimiquement actives seraient-elles toujours des chaînes d'acides aminés? Les différentes planètes où aurait surgi cette vie à base de carbone connaîtraient-elles toutes une évolution obéissant à la même séquence, les reptiles finissant toujours par céder la place aux mammifères? Ou cette séquence est-elle au contraire le résultat d'un simple hasard, l'évolution de la vie dans l'univers pouvant se conformer dès lors à d'innombrables scénarios? Et la vie, conduit-elle inévitablement à des formes intelligentes? Si oui, celles-ci ont-elles toujours des traits humains? Existe-t-il d'autres formes de vie, qui n'aient pas surgi du carbone?

Les questions se pressent si nombreuses que l'on ne sait même plus lesquelles poser. On ne court pas grand risque à dire que les uns et les autres, nous mourrons sans pouvoir y répondre.

Pourtant, il est un moyen pour étudier l'évolution sans déborder les

limites de notre vie, et avec les outils dont nous disposons aujourd'hui: il suffit d'inoculer le processus d'évolution à un environnement artificiel, c'est-à-dire créé par nous, et d'observer ce qui se produit. Il n'y a pas si longtemps, un tel projet eût appartenu à la science-fiction, mais aujourd'hui, plusieurs personnes considèrent que je suis le premier à l'avoir réalisé pratiquement.

Je voulais voir l'évolution se faire sous mes yeux – oui, mais comment?

Je suis moi-même étonné de l'avoir fait, je l'avoue, étonné que personne ne l'ait fait avant moi, étonné surtout par l'extraordinaire puissance de l'évolution, une fois qu'elle eut été lâchée dans l'univers artificiel que j'avais créé. L'idée de ce projet m'est venue pour la première fois il y a douze ans, alors que je suivais des études «post-grade» à Harvard. Le Club de go de Cambridge se réunissait régulièrement au Centre des sciences de Harvard; je ne connaissais rien à ce jeu japonais, mais un soir, observant un homme qui jouait contre lui-même, je lui demandai de m'expliquer ce qu'il faisait. Sans doute lui avais-je dit que j'étais étudiant en biologie, parce qu'il commença à me parler du go avec des métaphores telles que «les groupes de pierres sur l'échiquier mourront si elles ne gardent pas le contact avec des espaces libres».

Bientôt, il cessa pourtant de me parler de go et me dit: «Savez-vous

qu'il est possible d'écrire un programme d'ordinateur qui se copie lui-même?» (mon nouvel ami travaillait au Laboratoire d'intelligence artificielle du Massachusetts Institute of Technology). A peine eut-il lancé cette question qu'en un éclair, j'imaginai tout ce que je faisais aujourd'hui. Je me dis: «Tu commences par faire un programme qui se copie lui-même, tu y ajoutes de la mutation, et paf, ça y est, tu obtiens de l'évolution!» Simple, non? Une copie, contenant des erreurs, provoquant une évolution, l'essence même de la vie! Fasciné, je demandai à mon nouvel ami comment m'y prendre. Il me lança: «C'est de la brouille!» Je crois que j'insistai, mais soit il ne voulut rien me dire de plus, soit je fus incapable de comprendre ce qu'il me disait – il faut dire qu'à l'époque, je ne connaissais rien aux ordinateurs.

L'idée de ce projet m'excitait alors autant qu'elle m'excite aujourd'hui. Mais je n'arrivais pas à me représenter physiquement ce qu'était un programme d'ordinateur, et ne comprenais donc pas l'intérêt de le faire se copier lui-même. J'utilisais des ordinateurs, comme tout le monde, mais n'avais aucune idée de ce qui se passait derrière l'écran.

Une dizaine d'années plus tard, en 1988, je me payai mon premier ordinateur, le portatif le moins cher que je pus trouver. Et encore ne m'étais-je résolu à cet achat que parce que je devais enseigner pendant un semestre au Costa Rica pour le compte de l'Université du Delaware. Lorsque je revins aux Etats-Unis, j'achetai le Turbo C Compiler et le Turbo Debugger de Borland. Le debugger (un programme utilisé pour faire la chasse aux erreurs de programmes, que l'on appelle aussi bugs, c'est-à-dire bestioles) fut une révélation. Il rendait visible sur l'écran le fonctionnement interne de mon ordinateur.

Je pouvais «voir» la mémoire de mon ordinateur et son système d'exploitation (central processing unit). Je pouvais «voir» les programmes qui se trouvaient dans la mémoire, ainsi que les données sur lesquelles ces programmes travaillaient. Je pouvais «me promener» à travers les programmes et «voir» ce qu'ils faisaient.

Brusquement, je me remémorai mes rêveries d'étudiant. Elles devinrent même irrésistibles. J'étais en train de me battre comme un démon afin d'obtenir à l'Université un poste fixe de professeur, mais cette bagarre m'apparut dénuée de tout intérêt soudain. J'avoue que cette période fut difficile pour moi.

AU DÉBUT, je me contentai de lire. Puisque j'avais en tête l'idée que l'ordinateur est un environnement pouvant être habité par la vie (c'est-à-dire par des programmes se copiant eux-mêmes), il importait que je comprenne cet environnement à fond, que je visualise les ressources dont les créatures auraient besoin pour y survivre et la manière dont elles pourraient se battre pour s'en emparer. Je me mis donc à étudier les architectures d'ordinateurs, les systèmes opératoires, les langages de programmation. Je lus en particulier presque tout ce qu'avait écrit à ce propos Peter Norton, un auteur d'une incroyable clarté.

Mais je portais évidemment sur ces choses un regard particulier. Je considérais l'architecture d'un ordinateur avec des yeux de biologiste évolutionniste et écologiste. Je voyais



L'Auteur des Figures à la Grecque

Gravure de E.A. Peltot, 1771. Coll. privée / A. et G. Zimmermann, Genève

dans cette architecture une jungle virtuelle, à laquelle j'allais pouvoir inoculer de la vie. Encore fallait-il que j' imagine la forme que cette vie pourrait prendre, puisque j'allais devoir la créer! Cela était très excitant.

J'essayai de savoir, bien sûr, si un tel projet avait déjà été envisagé. Hé bien non, à ma surprise. Au cours de ma quête, je découvris pourtant qu'un nouveau champ scientifique était en train de naître autour de projets de même nature que le mien: la vie artificielle. Je contactai Chris Langton, qui avait organisé la première conférence sur la vie artificielle et en avait publié les actes. Chris m'invita à rendre visite au groupe qui étudiait la vie artificielle aux National Laboratories de Los Alamos, en octobre 1989.

Des membres de ce groupe, seul Steen Rasmussen crut vraiment à la méthode que je proposais. Lui-même travaillait sur une «soupe primordiale» faite d'instructions données à un ordinateur, qu'il secouait énergiquement avec son unité centrale de traitement. La principale différence entre la méthode de Steen et la mienne était que moi, je voulais inoculer à mon univers virtuel un programme se copiant lui-même, alors que lui voulait que cette autocopie se produise spontanément.

Les autres membres du groupe, Chris Langton, Doyne Farmer, Walter Fontana et Stephanie Forrest, étaient sceptiques. Ils disaient que le problème fondamental de la méthode que nous propositions tenait à la fragilité, la friabilité, des langages standards utilisés par les ordinateurs. Ils disaient en particulier qu'en faisant muter ces langages au hasard, je ne réussirais à obtenir qu'un bric-à-brac inutilisable.

Ces objections m'impressionnaient, car elles venaient d'un formidable groupe de scientifiques. Et pourtant, je n'étais pas convaincu.

Car si ce qu'ils disaient était vrai, pourquoi les mutations de cet autre langage qu'est le langage génétique, au lieu de conduire à un infâme bric-à-brac, font au contraire évoluer les organismes vivants? Il est vrai que les altérations du code génétique qui se produisent par hasard ont presque toujours des conséquences désastreuses pour la créature qui en est porteuse. Mais dans un certain nombre de cas, tout à fait infinitésimal je le reconnais, ces mutations aléatoires du code génétique améliorent la qualité de la créature. C'est du moins ce qu'affirme la théorie de l'évolution, même si les preuves de ces mécanismes restent rarissimes.

DE RETOUR de Los Alamos, je remis mon dossier de candidature à l'Université et, laissant derrière moi quinze années de recherche sur le terrain, m'assis à table pour écrire le code créant l'univers de mes futures créatures. J'avais déjà écrit un programme se copiant lui-même, une brouille en effet, ainsi que mon mystérieux maître de go me l'avait dit une décennie plus tôt. Mon problème, maintenant, était de faire muter ce programme pendant qu'il travaillait, sans que pour autant il se détruise.

Les objections du groupe de Los Alamos me hantaient toujours. Je me disais: si le langage génétique est assez robuste pour résister aux



A. et G. Zimmermann, Genève

Dessin de Grandville, tiré de «Un autre monde» (1844). Gravure critiquant le goût des Français pour les décorations.

mutations et aux recombinaisons, pourquoi le langage des ordinateurs se briserait-il sous l'effet des mutations? Quelles différences y a-t-il entre ces deux langages qui expliqueraient que l'un puisse évoluer et l'autre pas? Deux idées notamment me vinrent à l'esprit.

La première à propos de la grandeur du «jeu d'instructions» donné à l'ordinateur. Le code génétique est fondé sur un alphabet de quatre caractères: les acides nucléiques. Ces acides, groupés par trois, sont le code qui définit un acide aminé. Ces trois acides nucléiques peuvent se combiner de 64 façons différentes (64 «codons»), mais il n'y a que 20 acides aminés, plusieurs «codons» désignant en effet le même acide aminé. Le code génétique est donc très redondant.

J'allais créer un programme d'ordinateur se copiant lui-même et le ferais muter

Les mutations entraînent le remplacement, l'insertion ou l'effacement d'un acide nucléique. Il se produit donc des échanges entre les 64 «codons», ou plus exactement entre les 20 acides aminés assemblés en protéines.

Si l'on applique la même analyse au langage des ordinateurs, on constate que dans ce langage, les mutations s'exercent sur un nombre d'objets possibles bien plus considérable. Dans la plus récente génération d'ordinateur RISC (*reduced instruction set*) par exemple, chaque unité d'information compte 32 bits. On trouve donc, dans le code bi-

naire de la machine, 2^{32} objets, c'est-à-dire plus de 4 milliards d'objets, sur lesquels peuvent jouer les mutations! Mon intuition me dit que la chance de trouver quelque chose d'utile en effectuant 4 milliards de combinaisons devait être plus faible qu'en procédant à des combinaisons entre 20 objets seulement.

Je m'attachai donc à réduire le nombre des objets d'information à 5 bits, en créant un code machine comprenant 32 (c'est-à-dire 2^5) instructions distinctes. On pourrait penser qu'en réduisant le nombre d'objets d'information de 4 milliards à 32, j'allais mutiler la machine. Tel ne fut pas le cas. Le nombre d'opérations réelles que réalisent les ordinateurs (additionner, soustraire, multiplier, etc.) est relativement réduit; en effet, il y en a moins d'une centaine si l'on va au fond des choses. C'est pourquoi la plupart des bits de l'unité d'information de 32 bits ne servent pas à déterminer le type d'opération à réaliser, mais désignent les nombres en train d'être traités (les opérandes).

J'enlevai donc du code les opérandes numériques, pour que, dans mon nouveau langage machine, toutes les instructions traitent les nombres se trouvant dans l'unité centrale de traitement et non ceux se trouvant dans le code lui-même. Cette modification réduisit automatiquement la grandeur du jeu d'instructions donné à la machine; je sélectionnai alors 32 instructions (32 est un nombre rond dans le monde binaire) pour lancer ma première expérience.

CETTE astuce provoqua cependant un nouveau problème, que je résolus avec ma deuxième idée. Les programmes d'ordinateurs ne traitent pas seulement les nombres qu'on leur fournit. Il est des cas où ils interviennent sur eux-mêmes.

D'ordinaire, l'ordinateur exécute les instructions machine en séquence linéaire, en suivant pas à pas les instructions figurant dans sa mémoire. Mais il arrive aussi que les programmes se ramifient ou fassent des boucles, en sautant d'un endroit à l'autre de la mémoire.

C'est que les pièces d'un code doivent parfois interagir avec d'autres pièces du code qui peuvent parfaitement se trouver à des endroits de la mémoire très éloignés. Dans les ordinateurs, les pièces de code portent avec elles «l'adresse» des pièces qu'elles doivent rejoindre, sous forme de coordonnées x, y, z. Mais, me dis-je, dans une cellule vivante, comment font les molécules? Elles ne portent pas d'adresses, mais présentent simplement une surface sur laquelle une autre molécule va se fixer ou non, comme la clé entre ou non dans une serrure. Les molécules se heurtent les unes aux autres par diffusion dans l'organisme et, selon que leurs formes sont complémentaires ou non, elles interagissent ou non. Je me dis que je pourrais utiliser une méthode du même genre dans mon code machine. Je développai donc un mécanisme pour que le code, au lieu de spécifier exactement au programme où il devait aller, l'incitât à se ramifier ou à faire une boucle chaque fois qu'il rencontrerait telle ou telle configuration particulière.

Bref, j'intégrai dans le code machine deux idées empruntées directement à la biologie: un nombre très limité d'objets d'information et un adressage par complémentarité de certaines formes. Sur ces bases, je dessinaï un nouvel ordinateur. Ici, le lecteur se demandera peut-être de quoi je parle!

Comment un biologiste évolutionniste pourrait-il dessiner un nouvel ordinateur? A dire vrai, sur le moment, je ne savais pas que j'étais en train de le faire, et pourtant...

Si l'on veut construire un nouvel avion, aujourd'hui, on ne le dessine pas en travaillant directement l'acier, ce serait bien trop cher, mais on en simule le dessin aussi longtemps que possible sur un ordinateur, dessin dont le même ordinateur teste les qualités d'aérodynamique et de résistance statique. C'est seulement lorsque l'on a atteint un degré de perfection élevé que l'on se met à construire l'avion physiquement pour procéder à des essais en grandeur réelle. Les ordinateurs, on les dessine de la même manière; les circuits électroniques sont d'abord simulés sur un ordinateur, puis testés virtuellement, avant d'être réalisés physiquement en silicium et testés en grandeur réelle.

J'écrivis donc un programme qui simulait le nouvel ordinateur que j'avais en tête, mon «ordinateur virtuel». J'appelai ce dernier «Tierra», du mot espagnol qui veut dire Terre. Mais pour faire tourner mon ordinateur virtuel et en tester le dessin, il me fallait encore un programme virtuel – évidemment un programme qui se copiait lui-même. Comme j'avais déjà écrit un programme autocopiant sur un ordinateur réel, je me contentai de le traduire en «Tierran», le langage machine de mon ordinateur virtuel.

DANS mon idée, cet ordinateur virtuel et son programme autocopiant rudimentaire ne devaient être qu'un point de départ, et je pensais qu'il me faudrait les perfectionner plusieurs années durant. Or, mes plans furent complètement bouleversés par ce qui se produisit dans la nuit du 3 janvier 1990, la première fois que je réussis à faire tourner mon programme autocopiant sur mon ordinateur virtuel sans provoquer, dans l'ordinateur réel qui réalisait ces simulations, bombes après bombes.

Instantanément se produisit le plus incroyable des charivaris. L'évo-

lution que j'avais inoculée à la machine se déchaîna, formidablement accélérée par la vitesse de l'ordinateur. Alors que mes recherches, à ce stade, portaient sur le dessin d'un ordinateur, je me transformai, par la force des choses, en observateur et me retrouvai dans la jungle, mais une jungle digitale cette fois, en train de décrire ce que l'évolution fabriquait sous mes yeux: une véritable ménagerie de créatures digitales, peuplant un univers étrange fondé sur la physique et la chimie, différant complètement des formes de vie que je connaissais et que j'aimais. Très vite, pourtant, mes yeux de naturaliste reconnurent certaines formes, certains processus.

Aussitôt ce fut la jungle! Mes créatures se battaient, gagnaient, crevaient

Le trait le plus étonnant de cet univers digital – mais pour moi le plus familier – était qu'au cours de leur évolution, les créatures découvraient sans cesse de nouvelles manières d'exploiter leurs voisins et de se défendre contre les tentatives lancées par ces dernières pour les exploiter. L'évolution est un processus fondamentalement égoïste, où chaque individu se préoccupe de lui-même et mesure son succès au nombre de gènes propres qu'il réussit à transmettre aux générations suivantes. Pour réussir cette transmission, l'organisme en train d'évoluer se montre extraordinairement inventif, utilisant sans état d'âme

tout ce qu'il trouve d'utile dans son environnement.

Une fois que l'environnement est rempli de créatures, ces créatures en deviennent la ressource principale. Cette première nuit, nombre de mes créatures découvrirent que leur environnement était si riche d'informations qu'elles n'avaient pas besoin d'emporter ces informations partout avec elles; pour survivre, il leur suffisait de regarder autour d'elles et de se servir; à peine étaient-elles nées qu'elles se mirent donc à vivre en parasites! D'autres créatures, plus stupides assurément, s'entêtaient en revanche à dupliquer toutes les informations dont elles avaient besoin. Les créatures parasites, petites et rapides, en vinrent à perfectionner la technique leur permettant d'utiliser les informations de leurs voisines, et très vite dominèrent cette soupe en se recopiant elles-mêmes en très grand nombre.

Pourtant, cette domination ne dura pas longtemps, les parasites devenant bientôt victimes de leur propre succès. Lorsqu'ils eurent fini de remplir l'environnement, ils eurent en effet de la peine à trouver autour d'eux les informations dont ils avaient besoin pour survivre. Privés d'informations, ils se mirent à crever.

La situation finit néanmoins par atteindre une certaine stabilité. A mesure que les parasistes mouraient, leurs hôtes stupides continuaient à copier pour eux-mêmes, laborieusement, les informations dont ils avaient besoin. Du coup, les parasites furent sauvés de l'extinction, parasites et hôtes entrant dès lors dans une relation oscillante, les premiers commençant par se reproduire aux dépens des seconds, les seconds reprenant de l'importance à mesure que les premiers mouraient. Ce type d'oscillations des populations de prédateurs et de proies (de parasites et d'hôtes) sont bien connues dans le monde vivant; elles ne

sont que l'une des nombreuses et mystérieuses manières dont l'évolution de l'univers digital reproduit celui de l'univers organique.

Hôtes et parasites ne se contentaient pas de croître et décroître suivant des cycles opposés, mais se livraient à une course aux armements jamais terminée. Les hôtes développèrent des mécanismes pour se défendre contre les parasites, et les parasites des techniques pour contourner les défenses de leurs hôtes. A ce point, néanmoins, les hôtes développèrent des mécanismes tirant avantage du fait qu'ils étaient parasités, en utilisant l'énergie des parasites pour assurer leur propre reproduction et se jouer ainsi de leur ennemi. En pratique, les hôtes laissaient les parasites les attaquer et se reproduire une fois, puis leur fournissaient une fausse information, laquelle conduisait les parasites à faire dès lors des copies de leurs hôtes!

Les hôtes devinrent en quelque sorte les parasites énergétiques de créatures qui, à l'origine, avaient joué envers eux le rôle de parasites d'informations. Un prêt pour un rendu, en somme. Mais le parasitage énergétique s'avéra plus meurtrier que le parasitage d'informations. Les hôtes réussirent en effet, par ce biais, à détruire complètement les parasites originels. C'est qu'ils n'avaient pas besoin de ces parasites pour survivre, et que l'énergie qu'ils réussissaient à leur voler était un simple bonus supplémentaire.

En réussissant à inciter les parasites à multiplier le génome de leurs hôtes et non le leur propre, les hôtes avaient donc mis au point un système de défense absolu, ils étaient

devenus intouchables, les véritables maîtres du monde. Ou plutôt: il n'y avait plus qu'eux dans le monde, personne ne pouvait donc les envahir. Evoluant désormais dans un univers où toutes les créatures faisaient partie de la même famille, les hôtes devinrent confiants et commencèrent à coopérer entre eux. Pourquoi pas? Si vous aidez votre sœur à se reproduire, elle réussira bien à passer aux générations futures quelques-uns de vos gènes!

Les hôtes devinrent des créatures sociales, interdépendantes, ne pouvant se reproduire que lorsqu'elles se trouvaient en groupes. Mais cette coopération impliquait confiance, or la confiance peut être trahie. De fait, peu après que les créatures furent devenues sociales, mais longtemps après que les parasites originels eurent disparu, une nouvelle espèce de parasites envahit la communauté. Ces nouveaux parasites, que j'appelle les tricheurs, se glissaient parmi les créatures vivant en

familles et coopérant entre elles et, ayant obtenu leur confiance, les trahissaient. Comment? En jouant à leurs confiantes victimes le même tour que celles-ci avaient joué auparavant aux premiers parasites, auxquels elles avaient fourni, vous vous en souvenez, de fausses informations pour les amener à dupliquer le génome de leur hôte et non leur propre. Nouvelle étape de la course aux armements!

Mais il y a plus: en cours de route, sans que j'y prenne garde, mes créatures avaient découvert le sexe. Je m'en rendis compte lorsque je mis fin aux mutations pour tenter de stopper leur évolution: mes créatures continuaient à évoluer quand même! A force de reprendre l'expérience et d'en observer le déroulement, je dus admettre qu'au moment de se recopier, les créatures mélangeaient leurs gènes, de sorte que leur descendance était différente de chacun des parents. Pour évoluer, mes créatures n'avaient donc plus besoin de mutations, elles avaient pris leur destin en main, la situation m'échappait complètement.

ENFIN je pouvais assister à l'évolution en train de se faire, au lieu de devoir en constater simplement les résultats! Mais évidemment, cette évolution prenait place dans un univers étrange, créé dans mon ordinateur, peuplé de créatures se transformant sous mes yeux, dans la jungle même qu'elles créaient en se transformant. Je me reculai un peu, observant, comme un dieu satisfait de sa création, la manière dont la vie que j'avais mise en route trouvait d'elle-même ses formes naturelles.

Ces formes, je les avais marquées d'une empreinte



très profonde au moment où j'avais créé mon univers et lui avais inoculé une première créature. Mais l'évolution avait peu à peu effacé cette empreinte, développant des formes naturelles adaptées à l'environnement physico-chimique de mon ordinateur.

La possibilité d'observer et de manipuler ces formes de vie a changé ma manière de penser. Certains concepts qui étaient à peine esquissés me sont devenus clairs. Quelles formes peut prendre la vie? Pourquoi les espèces sont-elles distinctes? Pourquoi ne présentent-elles généralement pas de formes intermédiaires? L'univers virtuel étant relativement simple, facile à créer et à manipuler, je disposais d'outils précis pour formuler de telles questions, et y réfléchir.

Elles découvrirent surtout le sexe et je ne pus plus en faire façon...

Pour décrire ce qui s'est produit cette première nuit et mettre à disposition d'autrui les méthodes que j'ai utilisées, comme les résultats que j'ai obtenus, il m'a fallu tout juste deux ans, et c'est maintenant seulement que je reprends mes recherches sur l'architecture de nouveaux ordinateurs.

Serai-je capable de dessiner demain de meilleurs univers? J'en suis convaincu. Mon premier essai était bricolé, mais j'ai beaucoup appris depuis et suis prêt à chasser plus gros gibier.

Le sexe que mes créatures ont découvert était fortuit, primitif,

désorganisé. J'aimerais arriver à ce qu'il soit semblable à celui des organismes supérieurs vivant sur la Terre, où chacun des deux parents fournit exactement la moitié du matériel génétique de ses descendants. J'aimerais obtenir des créatures multicellulaires, que plusieurs cellules naissent d'une cellule «œuf» unique, mais, à partir de là, qu'au lieu d'aller leur propre chemin en se souciant de leurs propres besoins, elles entreprennent de coopérer pour atteindre un objectif commun, la duplication de leur agrégat par le biais d'un autre œuf. J'aimerais que mes créatures multicellulaires acquièrent un système hormonal et un système nerveux qui coordonne leurs activités. Si je réussissais à fournir à l'évolution des systèmes nerveux pour qu'elle fasse joujou, peut-être réussira-t-elle à les rendre intelligents.

Mon rêve ultime serait de conduire mon univers virtuel jusqu'au seuil de la diversification explosive de l'ère cambrienne. Cette explosion s'est produite sur la Terre il y a six cents millions d'années. Certes, nombreux sont ceux qui considèrent que le début de la vie sur la Terre, il y a trois ou quatre milliards d'années, est l'un des événements les plus significatifs de l'histoire de l'univers (ou du moins de notre coin d'univers). Pour ce qui me concerne, je considère l'explosion du cambrien comme un événement d'une importance au moins égale.

Avant le cambrien, il n'existait sur la Terre que des créatures unicellulaires microscopiques. Mais au cambrien, soit plus de trois milliards d'années après que la vie est apparue sur la Terre, des formes de vie macroscopiques multicellulaires commencèrent à surgir, qui dès lors se diversifièrent tumultueusement. Le cambrien fut une époque de grande expérimentation. De nombreuses formes de vie bizarre furent essayées, puis abandonnées et, en

un temps relativement court, la plupart des groupes d'organismes qui habitent la Terre aujourd'hui échappèrent au chaos pour se stabiliser.

Je ne crois pas que dans mon univers virtuel je réussirai à créer jamais des girafes ou des gnous métaphoriques, ce sont des créatures bien trop compliquées. En revanche, je suis convaincu que je pourrai dessiner un univers suffisamment riche pour que l'évolution aille jusqu'au bout de sa course, pour donner naissance à des créatures intelligentes. Nous sommes nous-mêmes la preuve vivante que l'évolution est capable de créer de l'intelligence à partir de rien, ou presque rien. Les machines peuvent-elles devenir intelligentes? Je l'ignore, mais si la réponse est oui, l'évolution est la manière la plus sûre d'atteindre ce point nouveau. □

Pour en savoir plus

«Emergence and Artificial Life.»

Par P. Cariani.
In: *Artificial Life II*,
edited by C. Langton, D. Farmer and
S. Rasmussen.
Redwood City, CA, Addison-Wesley,
1991.

The Blind Watchmaker.

Par R. Dawkins.
New York,
W.W. Norton & Co, 1987.

«Computer Recreations: A Core War Bestiary of Viruses, Worms and Other Threats to Computer Memories.»

Par A.K. Dewdney.
In: *Scientific American*, N° 252, 1985,
(pages 14-23).

Artificial Life: The Coming Evolution.

Par J.D. Farmer & A. Belin.
Proceedings in celebration of Murray
Gell-Man's 60th birthday.
Cambridge, University Press, 1991.

«Artificial Life.»

Par C.G. Langton.
In: *Artificial Life: proceedings of an interdisciplinary workshop on the synthesis and simulation of living systems*.
Edité par C. Langton, vol. 6, dans
la série: Santa Institute Studies in the
Sciences of Complexity.
Redwood City, CA, Addison-Wesley,
1989.

«Simulations, Realizations and Theories of Life.»

Par H.H. Pattee.
In: *Artificial Life: proceedings of an interdisciplinary workshop on the synthesis and simulation of living systems*.
Edited par C. Langton. Redwood
City, CA, Addison-Wesley, 1989.

«The Coreworld: Emergence and Evolution of Cooperative Structures in a Computational Chemistry.»

Par S. Rasmussen, C. Knudsen,
R. Feldberg et M. Hindsholm.
In: *Physica*, N° 42, 1990, (pages 111-
134).

Pour se procurer le programme Tierra

Les lecteurs qui désirent se procurer le programme élaboré par Thomas Ray peuvent l'obtenir gratuitement par transfert de fichier anonyme en se connectant sur l'ordinateur de l'auteur. L'adresse informatique est: tierra.slhs.udel.edu, répertoire /tierra. Ceux qui n'ont pas la possibilité de se procurer le programme de cette manière pourront l'obtenir en écrivant à Thomas Ray. De septembre à décembre à: Virtual Life, P.O. Box 625, Newark, Delaware 19715, et de janvier à août au Santa Fe Institute, 1660 Old Pecos Trail, Suite A, Santa Fe, New Mexico 87501, en spécifiant les caractéristiques de la disquette désirée (3.5" ou 5.25") et en joignant un chèque de 65\$ pour les frais d'envoi et de disquette à l'ordre de Virtual Life.

Jargon de biologiste

Mutation

On appelle mutation toute transformation du matériel héréditaire. Les mutations spontanées sont des événements rares et la plupart sont néfastes car elles détruisent ou dérèglent le gène qu'elles touchent. Certaines mutations peuvent parfois être bénéfiques pour l'espèce, en favorisant l'apparition d'individus différents et mieux adaptés à leur milieu (nouveaux insectes résistant aux pesticides, par exemple).

Acides aminés

Éléments constitutifs des protéines, les acides aminés sont indispensables à la vie. Certains d'entre eux (les acides aminés essentiels) ne peuvent être synthétisés par les cellules des vertébrés et doivent être fournis par l'alimentation. Ils jouent un rôle important dans le métabolisme en se dégradant et en fournissant de l'énergie. D'autres acides aminés sont des neurotransmetteurs du système nerveux.

Acides nucléiques

Il existe deux sortes d'acides nucléiques dans le noyau des cellules: l'ADN (acide désoxyribonucléique) et l'ARN (acide ribonucléique). Ces acides sont des molécules très longues, à structure répétitive, formées d'un enchaînement de petites molécules. L'ADN contient l'information génétique des cellules alors que l'ARN est responsable de la transmission de cette information aux protéines.

Génome

Ensemble des gènes d'un individu. Le gène est responsable des caractères héréditaires de chaque individu, il est le support de leur transmission de génération en génération.

Ere cambrienne

Première période de l'ère primaire, qui a commencé il y a six cents millions d'années et a duré cent millions d'années. C'est de cette époque, où la vie n'existait que dans les mers (algues, invertébrés), que datent les plus anciens fossiles connus.

Voulez-vous comprendre en quoi la vie réelle et la vie artificielle diffèrent?

Alors suivez le guide.
A ma gauche, vous avez la vie réelle, à ma droite, la vie artificielle...

La vie biologique, organique, réelle

La vie organique utilise de l'énergie, dérivée du soleil pour organiser de la matière.

La vie organique évolue par sélection naturelle, les individus se battant entre eux pour accéder à des ressources limitées (nourriture, espace, lumière).

Les organismes vivants sont adaptés à l'environnement physique dans lequel ils vivent.

La vie artificielle, virtuelle, digitale (appelez-la comme vous voulez)

La vie digitale utilise l'unité centrale de l'ordinateur pour gérer de la mémoire.

Les algorithmes qui se reproduisent dans l'ordinateur se battent pour utiliser davantage d'unité centrale (d'énergie) et obtenir plus d'espace mémoire. Les créatures élaborent des stratégies pour s'exploiter entre elles.

L'environnement de Tierra est fait de la mémoire, de l'unité centrale et du système d'exploitation de l'ordinateur. Les créatures digitales sont adaptées à cet environnement.

Sautez de la niche à la soupe

Tout organisme vivant occupe une niche dans un écosystème.

Les créatures de Tierra vivent dans un espace baptisé la soupe, qui est un bloc de mémoire centrale de 60'000 bytes.

Les acides aminés forment la structure de base de tout organisme vivant. Les gènes sont formés d'un ensemble spécifique d'acides aminés constituant l'ADN. L'ensemble des gènes forme le génome de l'individu.

Les créatures de Tierra sont construites à partir d'instructions machine. Leur génome est constitué de 80 instructions machine.

Le code génétique est fondé sur un alphabet de 4 caractères, les acides nucléiques (exemple: ABCD). Il y a 64 combinaisons possibles (AABB, ADCC, etc.)
Un ensemble de 3 acides nucléiques forme un acide aminé, mais malgré l'ampleur des combinaisons possibles, il n'existe que 20 acides aminés.

Le langage Tierran est défini pour que sa taille soit du même ordre de grandeur que celle du code génétique. La puissance du système informatique a été réduite (de 4 millions d'instructions à 32). Le Tierran consiste en 5 bits qui se combinent en 32 instructions.



Attention les yeux!

Deux molécules interagissent si elles ont sur leur surface des loges qui sont complémentaires comme la clé et sa serrure. Lorsqu'elles se rencontrent, ces molécules s'accrochent alors l'une à l'autre.

Il existe des groupes de code complémentaires (NOP_0 NOP_0 NOP_0 NOP_1 est par exemple complémentaire de NOP_1 NOP_1 NOP_1 NOP_0). Le programme cherche (dans un temps limité) jusqu'à ce qu'il rencontre son complément. S'il ne le trouve pas, l'ordinateur affiche un message d'erreur et ignore l'instruction de recherche.

Les cellules des organismes vivants sont protégées par une membrane semi-perméable.

Les créatures de Tierra sont protégées par une membrane semi-perméable d'allocation de mémoire. Chaque créature détient des privilèges exclusifs sur le bloc de mémoire qui lui appartient. Une créature peut examiner le code d'une autre créature et même l'exécuter, mais ne peut pas l'effacer ou le modifier.

Les organismes vivants font partie d'une histoire familiale.

Chaque nouvelle créature informatique prend place dans une queue, juste derrière sa mère. Il y a donc un début et une fin de queue: les plus vieilles créatures sont à l'avant de la queue, les plus jeunes à l'arrière.

Découvrez l'art moderne de mourir

Les organismes vivants sont mortels.

Le système d'exploitation Tierran contient un *Faucheur* qui commence à tuer les créatures lorsque la mémoire est remplie à 80% de sa capacité totale. Il les tue en annulant l'espace mémoire qui leur est attribué, c'est-à-dire en les éliminant de la queue. Le Faucheur tue toujours les créatures du début de la queue.

L'évolution existe parce qu'il y a mutation.

Pour simuler l'évolution dans l'univers de Tierra, le système d'exploitation fait tomber au hasard des bits dans la soupe (1 bit toutes les 10'000 instructions exécutées par le système). Les instructions du langage sont alors exécutées imparfaitement, ce qui empêche que les créatures ne deviennent immortelles.

Mais au fait, avez-vous déjà rencontré une créature informatique?

Petit portrait en pied

Les êtres informatiques créés par Thomas Ray ne ressemblent pas aux bonshommes verts de notre imagination, dotés d'yeux fluorescents et couverts de pustules. Chaque créature informatique est un petit programme, écrit en assembleur (le langage de base de l'ordinateur), qui descend d'un seul programme mère. Le programme mère peut produire plus de 10'000 descendants. Portrait d'une créature:

```

genotype: 0022abn parent genotype:
oo22aak
1st_daughter: flags: 1 inst: 146 mov_
daught: 22 breed_true: 1
2nd_daughter: flags: 0 inst: 142 mov_
daught: 22 breed_true: 1
InstExecC: 437 InstExec: 625954 ori-
gin: 662865379 Wed Jan 2 20:16:19:
1991
MaxPropPop: 0.1231 MaxPropInst:
0.0568
nop_0 ;00 0
adrb ;1c 1 find beginning
nop_1 ;01 2
divide ;1f 3 fails the first time it is
executed
sub_ac ;07 4
mov_ac ;19 5
adrf ;1d 6 find end
nop_0 ;00 7
inc_a ;08 8 to include final
dummy statement
sub_ab ;06 9 calculate size
mal ;1e 10
push_bx;0d 11 save beginning
address on stack in order
to return there
nop_0 ;00 12 top of copy loop
mov_iab;1a 13
dec_c ;0a 14
if_cz ;05 15
ret ;17 16 jump to beginning,
address saved on stack
inc_a ;08 17
inc_b ;09 18
jmpb ;15 19 bottom of copy loop
(6 instructions
executed per loop)
nop_1 ;01 20
mov_iab;1a 21 dummy statement
to terminate template

```