

écologique et culturelle des littoraux du vieux continent. Cette approche innovante est assumée par l'Office national des forêts, qui, jusqu'à présent, contrôlait strictement le déplacement des sables sur les rivages maritimes. Cette perception renouvelée de la valeur des espaces littoraux conduit à restituer à la mer des terrains autrefois conquis par l'homme. Ainsi, deux polders, l'un dans l'Aber de Crozon, en Bretagne, l'autre dans la baie des Veys, en Normandie ont déjà été «rendus» à la mer par le Conservatoire du littoral.

Roland PASKOFF,
Université Lumière, Lyon



Roland Paskoff

Près de Merlimont, sur le littoral du Pas-de-Calais, on laisse les dunes se déplacer à leur gré, à condition que cela ne menace pas les aménagements côtiers. Des langues de sable vif s'avancent aujourd'hui sur des dunes que l'homme avait naguère stabilisées par des plantations.

Un rat artificiel

En prenant le rat comme modèle, biologistes, et «roboticiens» créent des animaux artificiels.

Les robots des premières générations étaient limités à des tâches répétitives, par exemple, peindre une portière de voiture ou visser un boulon. Ces machines n'avaient rien de commun avec les êtres vivants. Aujourd'hui, les biologistes, les informaticiens et les roboticiens s'associent pour créer des «animats», c'est-à-dire des animaux artificiels simulés sur ordinateur ou des robots réels, qui ont des comportements adaptatifs. Il s'agit en somme de construire des machines dont le comportement est proche de celui d'animaux vivants. Différents travaux semblent prouver que ce n'est pas de la science fiction.

Une nouvelle espèce est née : le *Ratus computatrix* issu des connaissances acquises sur la neurophysiologie et le comportement du rat. Cela ne signifie pas que la fabrication d'un robot, dont le système de contrôle et le comportement seraient identiques à ceux de l'animal, sera possible dans un avenir proche. En revanche, la combinaison de mécanismes et de capacités souvent étudiés isolément contribue à une meilleure compréhension des synergies et des compromis que l'évolution a inventés et mis en œuvre pour faire du rat l'un des animaux les mieux adaptés.

Angelo Arleo et Wulfmar Gerstner, de l'Institut fédéral de technologie de Lausanne, ont élaboré un système de navigation pour un robot autonome fondé sur l'utilisation de «cellules de lieu» et de «cellules de direction de la tête». De telles cellules s'activent respectivement selon le lieu et la direction de la tête. Le robot miniature *Khepera*, doté d'une caméra, de capteurs infrarouges et de deux roues, est commandé par deux

modules ; l'un permet la représentation spatiale et sert au robot à rejoindre un lieu où il a déjà été «récompensé» (l'expérimentateur lui a octroyé une «valeur» élevée parce que c'était le «bon chemin»), tout en évitant les obstacles et les endroits où il a été «puni». Mouvements propres du robot et informations visuelles externes se complètent.

Ce résultat conforte celui qui a été obtenu par l'équipe d'Alain Berthoz, du Laboratoire de physiologie de la perception et de l'action, du Collège de France. L'équipe a montré que chez le rat les cellules de direction de la tête sont principalement sensibles aux informations visuelles, mais qu'elles dépendent également d'informations internes lorsque les informations visuelles ne sont pas fiables.

Jean-Arcady Meyer et David Filliat, de l'AnimatLab au Laboratoire d'Informatique de l'Université Paris 6, ont étudié les stratégies de déplacement utilisées par des rats. Leur robot explore son environnement et en élabore une carte cognitive, constituée des informations topologiques et des informations métriques. À partir d'une telle carte, lorsqu'un robot est transporté d'un endroit à un autre, il se trompe temporairement sur sa localisation, mais se repositionne vite. Pour ce faire, il utilise un système de vision active et oriente sa caméra, soit vers les endroits où il a enregistré la présence de certains éléments caractéristiques qui lui servent de repères, soit vers les endroits qu'il n'a pas encore explorés visuellement.

Enfin, l'organisation des neurones que le rat utilise lorsqu'il doit choisir une action parmi plusieurs a inspiré l'équipe de Fernando Montes Gonzales, de l'Université de Sheffield, dans la conception d'un système de contrôle de robot. Muni d'un tel système, un robot *Khepera*

équipé d'un bras préhensile choisit correctement quelle action effectuer : à l'image d'un rat placé dans un environnement inconnu et capable d'alterner de façon pertinente des déplacements exploratoires, des déplacements destinés à consommer de la nourriture et des retours vers une zone sombre sécurisante, leur robot, doté de motivations codées, tels la «faim» et le «stress», décide d'aller chercher de la nourriture (saisir un cylindre), de consommer cette nourriture (déposer le cylindre), et d'aller explorer l'environnement (déplacement aléatoire).

Ainsi, *Ratus computatrix* combine plusieurs sources d'informations sensorielles pour élaborer une représentation interne de son environnement. Il exploite cette information pour rejoindre des lieux où il peut satisfaire de façon cohérente des motivations simples, et choisir l'action la plus pertinente. Dans une prochaine étape, les relations sociales des rats seront appliquées à une collectivité de robots. Nous sommes, d'ores et déjà, dans l'ère de l'informatique murine.



Angelo Arleo et T.J. Prescott

Grâce à une caméra, un robot *Khepera* explore son environnement. Il en établit progressivement une représentation spatiale interne.

Les mathématiques, science de l'infini

JAVIER DE LORENZO MARTÍNEZ

L'infini, sous ses aspects potentiel et actuel, semble assurer une fonction régulatrice dans la formalisation mathématique.



Faites l'expérience. Déclenchez la trotteuse de votre montre au début d'un exposé de mathématiques : il ne s'écoulera pas cinq minutes avant que l'orateur prononce le mot infini. Cette omniprésence de l'infini en mathématiques est étonnante car l'homme est un être fini, limité, embarqué sur un vaisseau, la Terre, limité et fini. Pourtant cet être fini examine l'infini et (s')en joue, au point que l'infini lui est indispensable pour appréhender le fini.

L'étude de l'infini est l'apanage du mathématicien, dont le travail consiste, pour l'essentiel, à répéter, comparer, ordonner et classer. L'itération et la comparaison conduisent à deux infinis différents, l'infini potentiel et l'infini actuel.

L'infini potentiel

Le marcheur, dans la succession de ses pas – un pas, puis un autre et encore un autre – saisit que sa (dé)marche peut se répéter indéfiniment. En principe, il peut toujours faire «un pas de plus» dès lors qu'il vient d'en faire un. Cette répétition sans limitation conduit à l'intuition première d'un indéfini sans fin, l'infini potentiel ; il y a toujours un (dé)pas (sement) possible. L'infini potentiel, la faculté d'aller «un peu plus loin», est ainsi lié à la notion de successeur d'un entier naturel. À un nombre succède

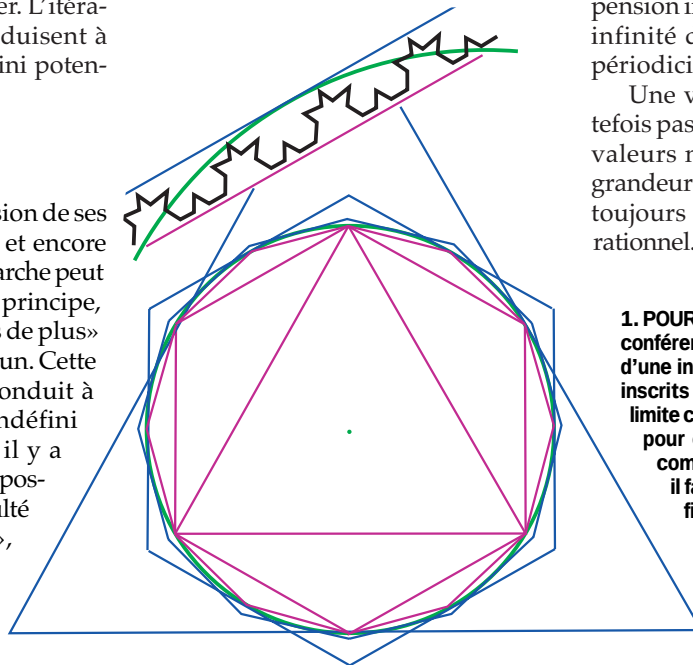
toujours un autre nombre et il n'en existe pas de dernier, car ce dernier nombre... a un successeur.

Les entiers permettent d'énumérer, c'est-à-dire de savoir combien de pas ont été faits. En comptant ou en mesurant, on associe une valeur numérique à une grandeur spatiale ou à une quantité. On compte les brebis d'un troupeau, les grains de sable du désert ou la longueur d'un bâton. Souvent ce décompte utilise implicitement un principe dit archimédien qui, comme nous le verrons, autorise les comparaisons : quelles que soient les valeurs

numériques x, y telles que x est inférieur à y , il existe un entier naturel n tel que nx est plus grand que y .

Pour comparer deux grandeurs de même nature, l'une étant prise comme unité de référence, il est pratique de leur associer un nombre. Le rapport de ces deux valeurs numériques associées pourra être entier, mais sera plus souvent rationnel, c'est-à-dire une fraction comme un huitième, un cinquième, etc. Dans cette comparaison, on opère une division où tout nombre est exprimable sous forme décimale. Ainsi, on écrit $9/10 = 0,9$; $1/3 = 0,333...$, où les points de suspension indiquent que l'écriture a une infinité de chiffres où apparaît une périodicité de certains blocs.

Une valeur numérique n'est toutefois pas toujours le quotient de deux valeurs numériques associées à des grandeurs, c'est-à-dire qu'elle n'est pas toujours représentée par un nombre rationnel. Un nombre irrationnel s'écrit



1. POUR CALCULER π , la longueur de la circonférence, Archimède considère la limite d'une infinité de polygones circonscrits et inscrits dans le cercle et calcule la valeur limite comprise entre ces polygones. Ainsi, pour calculer une longueur finie, mais comportant une infinité de décimales, il faut utiliser un processus infini. L'infini est cependant plein de pièges : même dans ce cas simple, on peut construire des fonctions de type fractal, de longueur infinie, qui restent comprises entre les polygones.