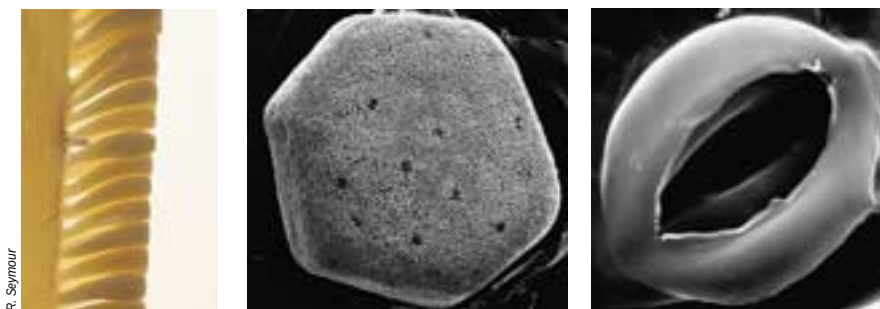




4. LES FLEURONS STÉRILES du *Philodendron selloum* (à gauche) laissent pénétrer l'oxygène par des pores appelés stomates. Plusieurs stomates (taches sombres) sont visibles sur la micrographie de gauche, qui montre la pointe d'un fleuron. La micrographie de droite est un agrandissement d'un stomate isolé.

leur réduite). Le comportement thermique des fleurons est réversible : un fleuron qui a réduit sa production de chaleur aux heures chaudes du jour reprend celle-ci lorsque la température diminue, la nuit venue.

Apparemment la production de chaleur diminue d'elle-même dans les fleurons déjà chauds, parce que la température élevée inhibe les voies métaboliques responsables de la production de chaleur. On ignore encore si la chaleur agit directement sur les enzymes qui gouvernent ces voies de production, ou indirectement, en perturbant la structure des membranes sur lesquelles se fixent ces enzymes.

Un rendement record

Ayant déterminé comment le thermostat des fleurons réglait la production de chaleur, nous avons cherché comment les fleurons obtiennent l'oxygène et les substances nutritives nécessaires à la production de chaleur, et quelle quantité de chaleur ils produisent. Nos études antérieures avaient donné une estimation de la quantité de chaleur produite sur la base de la consommation d'oxygène, mais nous avons confirmé que toute l'énergie investie dans le réchauffement de l'inflorescence de *Philodendron selloum* est présente dans les fleurons (pour d'autres plantes capables de régulation thermique, tel le chou aux mouffettes, le combustible est importé de la racine). Puis nous avons constaté que les fleurs « brûlent » des graisses plutôt que des sucres comme le font les autres arums : les observations au microscope électronique des fleurons mâles ont révélé que leurs tissus contiennent des gouttelettes de matière grasse et de nombreuses mitochondries ; ainsi leur

structure ressemble remarquablement à celle du tissu adipeux brun, un tissu des mammifères qui est spécialisé dans la production de chaleur (dans l'espèce humaine, ce tissu n'est abondant que chez le nouveau-né). Les animaux comme les plantes utilisent généralement les mitochondries pour convertir en ATP la majeure partie de l'énergie qu'ils dérivent des substances nutritives ; mais, comme la graisse brune, l'inflorescence de *Philodendron selloum* utilise directement les nutriments et l'oxygène pour produire de la chaleur.

La thermogenèse de *Philodendron selloum* a un rendement énergétique exceptionnel : un spadice de 125 grammes produit environ neuf watts pour maintenir l'inflorescence à 40 °C à une température ambiante de 10 °C, soit la même puissance que celle rayonnée par un chat de trois kilogrammes, placé dans les mêmes conditions. Un rat pesant 125 grammes ne rayonne que deux watts, parce que, bien isolé par sa fourrure, il perd moins de chaleur et peut consacrer son énergie à d'autres fonctions.

Rapportée à la masse de l'organe, la production de chaleur par les fleurons de *Philodendron selloum* rapproche ces derniers des oiseaux et des insectes volants : avec une masse de huit milligrammes, ils fournissent 0,16 watt par gramme de tissu, contre 0,2 à 0,7 watt par gramme chez les oiseaux et les insectes volants. D'autres arums sont encore plus efficaces : *Arum maculatum* produit 0,4 watt par gramme de fleurons, soit à peine moins que la puissance de un watt par gramme produite par le tissu adipeux brun du hamster de Sibérie, ou de 2,4 watts par gramme des muscles du vol chez l'abeille, champion de la thermogenèse animale.

MUSCLE DU VOL DE L'ABEILLE

2,4

TISSU ADIPEUX BRUN
DU HAMSTER

1,0



0,4



ARUM MACULATUM

0,237



COLIBRI

0,16



FLEURON DU PHILODENDRON

0,016



RAT DE 125 GRAMMES À 10 °C

5. LE RENDEMENT ÉNERGÉTIQUE (en watts par gramme) des arums – la famille de plantes à laquelle appartiennent *Philodendron selloum* et *Arum maculatum* – atteint des valeurs élevées, proches de celles qui caractérisent les muscles des ailes des abeilles ou les tissus de hamster spécialisés dans la production de chaleur (tissu adipeux brun).

Pour rayonner autant, *Philodendron selloum* doit s'approvisionner en oxygène : c'est un problème technique intéressant, car la plante n'a ni poumon, ni système circulatoire, ni régulation hormonale. Nous avons montré que les fleurons puisent l'oxygène par simple diffusion de l'air, qui en contient environ 21 pour cent. Comme la concentration en oxygène à l'intérieur des fleurons est inférieure à celle de l'air, l'oxygène diffuse des zones à forte concentration vers les zones à faible concentration. Nos expériences ont montré que la diffusion de l'oxygène ne ralentit que lorsque la concentration en oxygène, dans la couche d'air qui entoure le fleuron, devient inférieure à 17 pour cent. Cependant, en pratique, une telle concentration n'est jamais atteinte, même lorsque les fleurons ont une production maximale de chaleur.

Nos études anatomiques récentes ont indiqué comment l'oxygène pénètre dans les fleurons. Chacun d'eux mesure environ sept millimètres de long et 1,2 millimètre d'épaisseur

(soit environ la taille d'un grain de riz). L'oxygène s'introduit par quelque 170 pores ou stomates, puis se répartit dans un réseau de cavités interstitielles qui occupe moins de un pour cent du volume du fleuron. La distance de diffusion, entre la surface du fleuron et chacune des cellules, est un peu inférieure à 0,75 millimètre, ce qui est remarquablement proche de la longueur des canaux tubulaires remplis d'air qui assurent l'approvisionnement en oxygène des muscles de vol des insectes.

Nos travaux sur les plantes «à sang chaud» sont une excellente démonstration de l'intérêt de la pluridisciplinarité. Poussés par la curiosité, nous avons jeté un regard neuf sur des phénomènes inhabituels, sans être bloqués par les préjugés qui canalisent souvent la recherche. Sortant des sentiers battus, nous avons mis en évidence des ressemblances remarquables entre les animaux et les plantes, deux catégories d'organismes qui semblent n'avoir pas grand-chose en commun.

Roger SEYMOUR est professeur de zoologie à l'Université d'Adélaïde.

R.S. SEYMOUR, G.A. BARTHOLOMEW et M.C. BARNHART, *Respiration and Heat Production by the Inflorescence of Philodendron selloum*, in *Planta*, vol. 157, n° 4, pp. 336-343, avril 1983.

R.S. SEYMOUR, M.C. BARNHART et G.A. BARTHOLOMEW, *Respiratory Gas Exchange during Thermogenesis in Philodendron selloum Koch*, in *Planta*, vol. 161, n° 3, pp. 229-232, juin 1984.

B.J.D. Meeuse et I. RASKIN, *Sexual Reproduction in the Arum Lily Family, with Emphasis on Thermogenicity*, in *Sexual Plant Reproduction*, vol. 1, n° 1, pp. 3-15, mars 1988.

R.S. SEYMOUR, *Analysis of Heat Production in a Thermogenic Arum Lily, Philodendron selloum, by Three Calorimetric Methods*, in *Thermochimica Acta*, vol. 193, pp. 91-97, 14 décembre 1991.

R.S. SEYMOUR et P. SCHULTZE-MOTEL, *Thermoregulating Lotus Flowers*, in *Nature*, vol. 383, p. 305, 26 septembre 1996.

La ressemblance mathématisée

JEAN-PAUL DELAHAYE

Être intelligent c'est voir des ressemblances, mais qu'est-ce qu'une ressemblance ?

Que la tête de Louis Philippe ressemble à une poire, c'est ce que les caricatures ont montré. Que la carte de l'Italie ressemble à une botte, cela saute aux yeux. Que le bruit de la grosse caisse ressemble au tonnerre, le compositeur le sait et l'utilise. Que l'histoire de *La bicyclette bleue* ressemble à celle d'*Autant en emporte le vent*, c'est ce que les juges ont dû évaluer. La reconnaissance de la ressemblance est essentielle à notre survie : sans une notion instinctive de «situation équivalente», sans une maîtrise des «visages semblables», des «animaux de la même espèce», etc., nous ne pourrions nous orienter, nous reconnaître, identifier les aliments comestibles, les bêtes dangereuses.

La difficulté est que la même eau ne coule jamais deux fois sous le pont : deux situations ne sont jamais identiques en tout point, jamais deux animaux ne sont exactement pareils, jamais le visage de nos connaissances ne présente le même aspect à deux instants différents, etc.

Nous savons pourtant juger que deux situations, deux objets, deux images sont analogues, et cette capacité est une composante essentielle de l'intelligence. L'un des problèmes majeurs de l'Intelligence

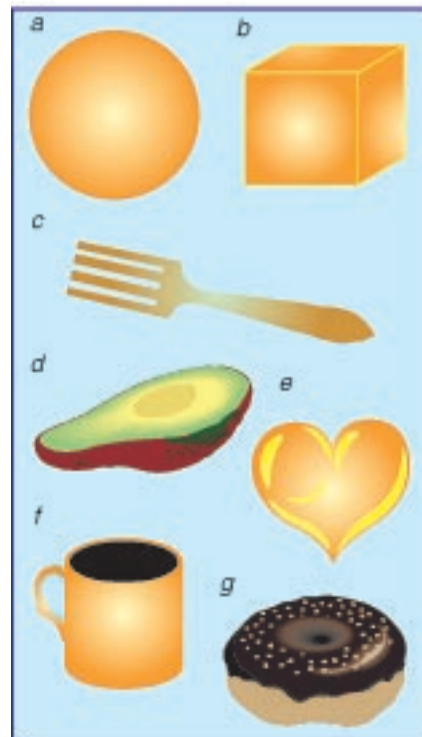
artificielle est de confectionner des programmes qui, au moins partiellement, reconnaissent des objets approchants. Le problème est difficile (et tout progrès en Intelligence artificielle est difficile), mais faut-il pour cela renoncer à le résoudre et penser qu'il est définitivement hors de portée ?

Les mathématiques qui prétendent fournir des outils pour comprendre le monde, le modéliser, le maîtriser proposent-elles de bonnes théories de la ressemblance ?

Nous verrons que oui en examinant plusieurs de ces théories. La dernière d'entre elles a été créée récemment par un groupe de physiciens, de mathématiciens et d'informaticiens : elle est fascinante par les liens qu'elle établit avec la thermodynamique et parce qu'on peut la considérer comme la théorie ultime de la ressemblance.

LES SEMBLABLES GÉOMÉTRIQUE ET TOPOLOGIQUE

L'idée mathématique la plus ancienne est celle de semblable géométrique : deux objets sont semblables si, en leur faisant effectuer des translations, des rotations, des symétries et des homo-



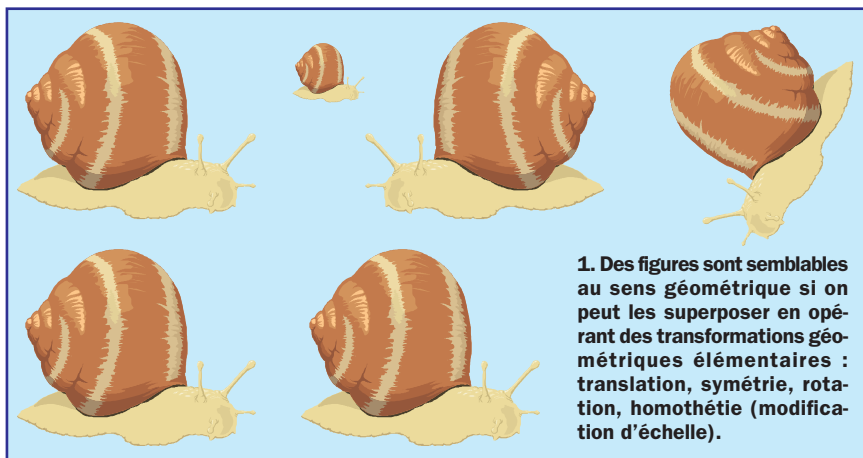
2. La surface d'un ballon peut se déformer continûment et prendre la forme d'un cube, d'un demi-avocat, d'un cœur, ou même d'une fourchette. Ces objets sont topologiquement semblables et pourtant, il est inacceptable de les considérer «semblables». La tasse et le gâteau torique sont topologiquement équivalents entre eux mais pas à la sphère.

thétiques (agrandissements et rapetissements bien proportionnés), on peut les superposer.

Cette notion de figures géométriques semblables est utile pour faire des plans de voitures ou de maisons, mais elle est trop limitée, car trop rigide. Ce n'est pas elle qui pourra, par exemple, nous indiquer si deux photographies différentes représentent le même visage. Les mathématiciens, conscients de cette limite, ont proposé une notion bien plus souple de ressemblance : l'homéomorphie.

Deux surfaces sont homéomorphes si, en imaginant qu'elles sont fabriquées avec un caoutchouc parfait, on peut déformer l'une en l'autre sans faire de déchirure. Cette fois, la notion de ressemblance obtenue est trop molle ! La surface d'un cube est topologiquement semblable à celle d'un ballon ou même d'une fourchette. La ressemblance topologique conduit d'ailleurs à des situations paradoxales : un système d'anneaux enlacés est transformable progressivement en le même système d'anneaux libérés. Bien d'autres notions de topologie généralisent et étendent celle d'homéomorphisme, mais chacune ne saisit qu'une part bien mince de l'idée d'analogie.

Une raison en est sans doute que,



1. Des figures sont semblables au sens géométrique si on peut les superposer en opérant des transformations géométriques élémentaires : translation, symétrie, rotation, homothétie (modification d'échelle).