

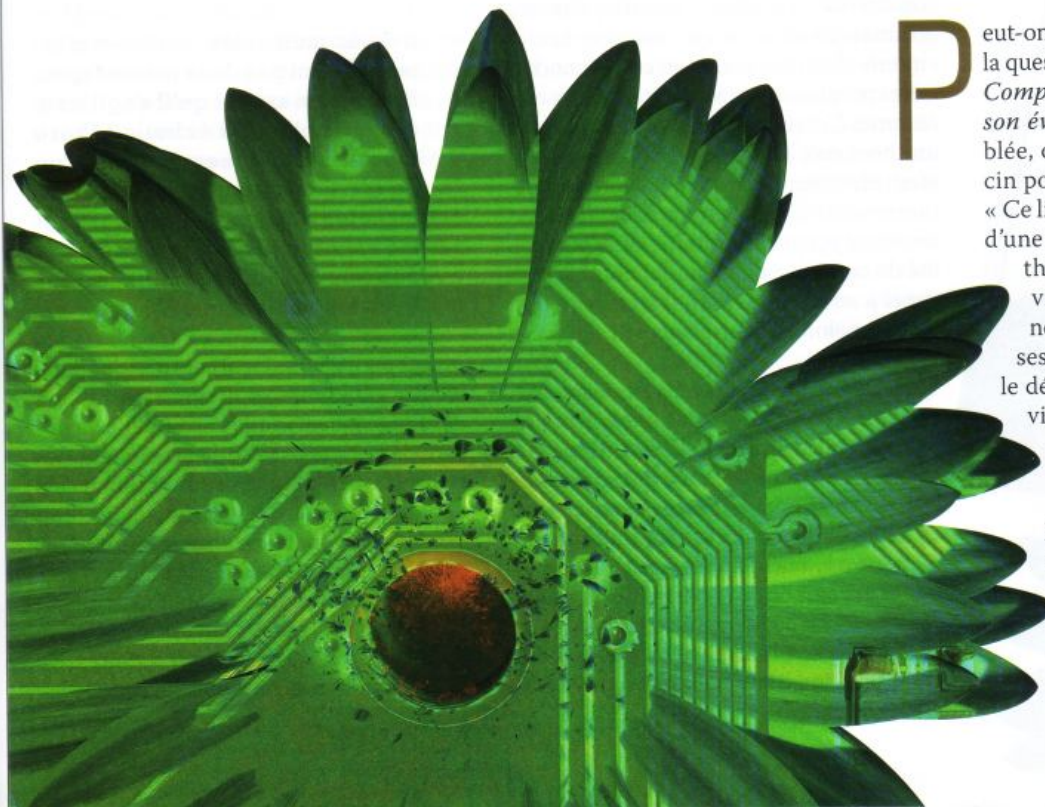
INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

Chercheur pluridisciplinaire, Gilbert Chauvet a construit une théorie brillante sur la modélisation du vivant, sur le principe d'intégration en opposition avec l'inanimé. Mais affleure toujours la notion de conscience, la primauté inaliénable de l'humain sur toute intelligence artificielle...

PAR CYRIL FIEVET

GILBERT CHAUVET

Créer une vie artificielle



Peut-on mathématiser la biologie ? Telle est la question que pose Gilbert Chauvet dans *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience*. D'emblée, ce mathématicien « devenu médecin pour modéliser le vivant », y répond : « Ce livre montre ce que l'on peut déduire d'une véritable intégration de nature mathématique : comment une nouvelle vision de la biologie conduit à une nouvelle interprétation des trois phases fondamentales de tout être vivant : le développement, la phase adulte, et le vieillissement... Je soutiens qu'il existe des propriétés spécifiques d'organisation de la matière vivante. Ces propriétés, qui s'ajoutent à celles connues des physiciens, font de la matière vivante une entité différente de la matière inanimée. Une matière constituée des mêmes molécules, mais avec une organisation particulière, qui fait que l'on peut

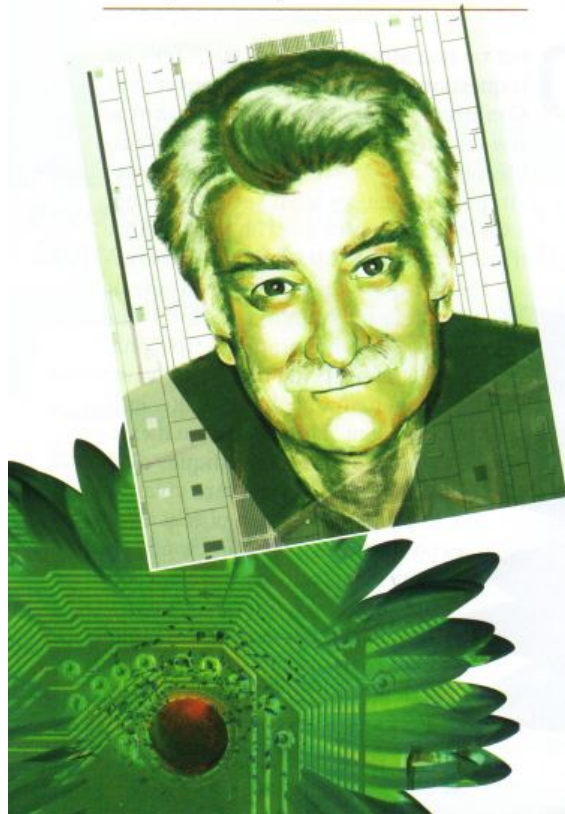
Le Monde de l'intelligence n° 3
mars/avril 2006

Mathématicien et physicien, **GILBERT CHAUVET** est chercheur en physiologie intégrative à l'École Pratique des Hautes Études. Également médecin et informaticien, il a publié de nombreux articles sur ses travaux dans le domaine de l'étude et de la modélisation des échanges neuronaux, en particulier au niveau du cervelet. Auteur de plusieurs ouvrages, dont un *Traité de Physiologie théorique* (trois tomes, éd. Masson) et de *La Vie dans la Matière: le rôle de l'espace en biologie* (ed. Flammarion), il est aussi fondateur

et rédacteur en chef depuis 2002 du *Journal of Integrative Neurosciences*. Il vient de publier *Comprendre l'organisation du vivant et son évolution vers la conscience* (éd. Vuibert, coll. Automates Intelligents).



<http://www.gilbert-chauvet.com>



➤ davantage considérer l'organisme vivant comme une machine conçue par un ingénieur que comme un système physique régi par des forces. »

Cette nouvelle vision de la biologie est largement basée sur le Principe d'Auto-Association Stabilisatrice (PAAS), placé au cœur de la démarche de l'auteur. Ce principe « décrit pourquoi deux structures physiques, en s'associant fonctionnellement, créent une structure plus stable, c'est-à-dire plus résistante aux effets destructeurs de l'environnement ». Et si ce principe existe, il est « mathématisable ». Pour Gilbert Chauvet, c'est la naissance d'un nouveau paradigme jetant un regard neuf sur la biologie, la modélisation, la simulation, et ce qui peut en découler.

Car établir une théorie mathématique applicable au champ de la biologie n'est pas la seule ambition de ce livre complexe, qui place les recherches pluridisciplinaires au cœur d'un tout plus global.

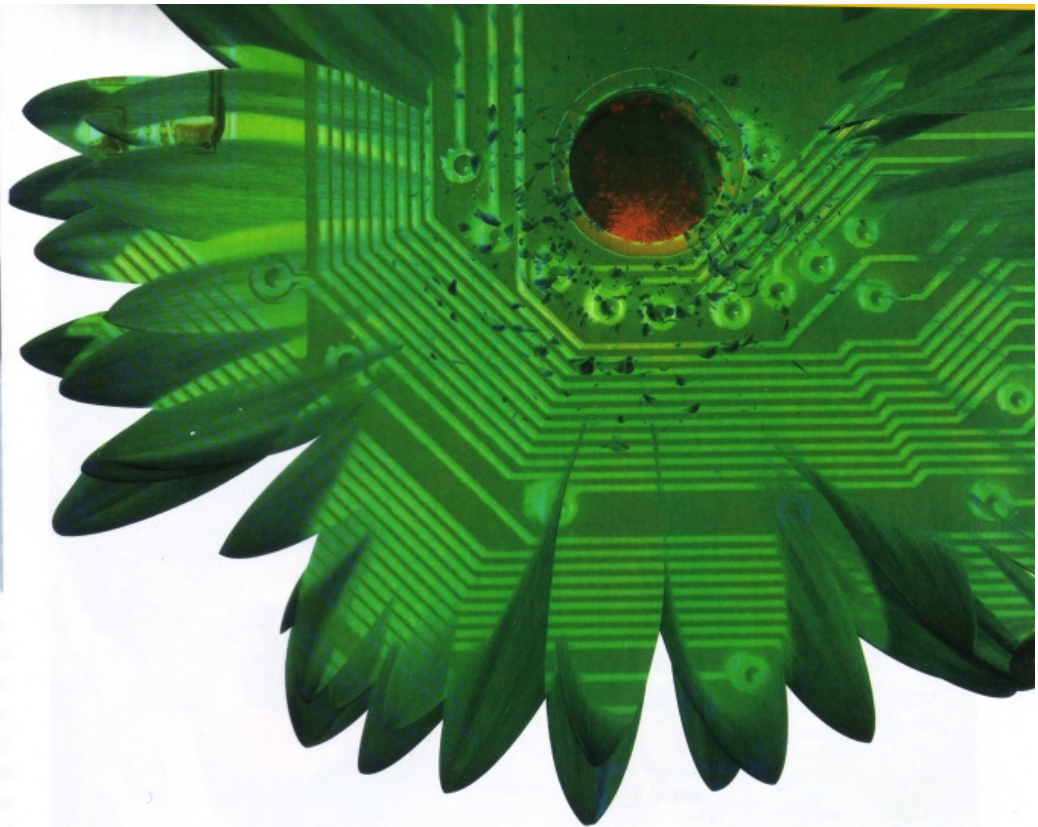
Qu'il s'agisse de définir le vivant, de proposer une nouvelle lecture du darwinisme, de s'opposer avec force aux inquiétants discours créationnistes, de montrer le fonctionnement du cervelet - siège d'une part essentielle de l'intelligence humaine - ou d'expliquer les limites théoriques que présentent des créatures artificielles, Gilbert Chauvet construit un raisonnement étayé. Avec toujours en ligne de mire la conscience. Pour lui, un distinguo très net doit être établi entre intelligence et conscience: « Nous ne sommes pas des ordinateurs, ni en ce qui concerne la circuiterie électronique, ni en ce qui concerne les programmes installés sur cette circuiterie. Correctement programmée par une personne humaine, une machine peut être intelligente [...] Mais la démonstration inventive, l'attention réfléchie, cette créativité propre à l'homme, cette possibilité de conceptualisation des choses, font appel à autre chose, sans doute à ce que nous appelons la conscience. »

LMI: Dans votre livre, vous expliquez qu'il serait impossible de reproduire un être vivant, même molécule par molécule, car cela supposerait de devoir connaître sa « structure atomique » à un instant donné, mais aussi à tous les instants qui ont précédé. Vous insistez aussi sur la différence entre le vivant et l'inanimé, en soulignant que si les deux sont composés des



mêmes molécules, celles-ci n'interagissent pas de la même façon. Ne peut-on arguer qu'il s'agit juste d'un problème d'échelle? Votre théorie s'appliquerait-elle si l'on ne considérait plus les molécules mais les atomes, ou des particules encore plus élémentaires, qui peuvent paraître identiques dans le vivant et l'inanimé?

GILBERT CHAUVET: Ce n'est pas exactement cela. La structure des molécules est la même, donnée par les lois de la physique. Ce que l'on appelle structure de la molécule est l'agencement des atomes qui la composent. La matière « inanimée » est faite de molécules. Elle est connue à partir du moment où l'on spécifie pour chaque molécule deux grandeurs physiques qui sont sa position et sa « quantité de mouvement » (c'est le produit de sa masse par sa vitesse). Que ce soit le vivant ou l'inanimé, les



« On peut toujours créer une machine qui aura un fonctionnement voulu, mais ce ne sera jamais un cortex vivant. La vraie question est de savoir si une machine pourrait avoir un meilleur fonctionnement qu'un cortex humain. »

molécules interagissent entre elles de la même façon, via des champs électriques qui créent des forces (selon une causalité que j'ai appelée « non événementielle »). Dans l'inanimé, ces seules forces sont à l'origine de l'organisation de la matière (au moins à ce niveau de description) car elles sont à l'origine d'interactions locales, c'est-à-dire les mêmes de point à point (seule leur valeur change). Dans le vivant, si je considère par exemple une molécule (disons le glutamate, cette molécule tellement fondamentale pour le système nerveux) qui va interagir avec son récepteur, je rejoins le cas de l'inanimé car cette interaction a lieu selon les lois de la physique. La différence se situe sur un autre plan, sur celui de l'organisation (globale) de la matière vivante. Ainsi, le glutamate est là parce qu'il a été émis comme résultat d'un grand nombre de processus, et il va agir comme point de départ d'un autre grand nombre de processus. Comment cela se fait-il ? Les

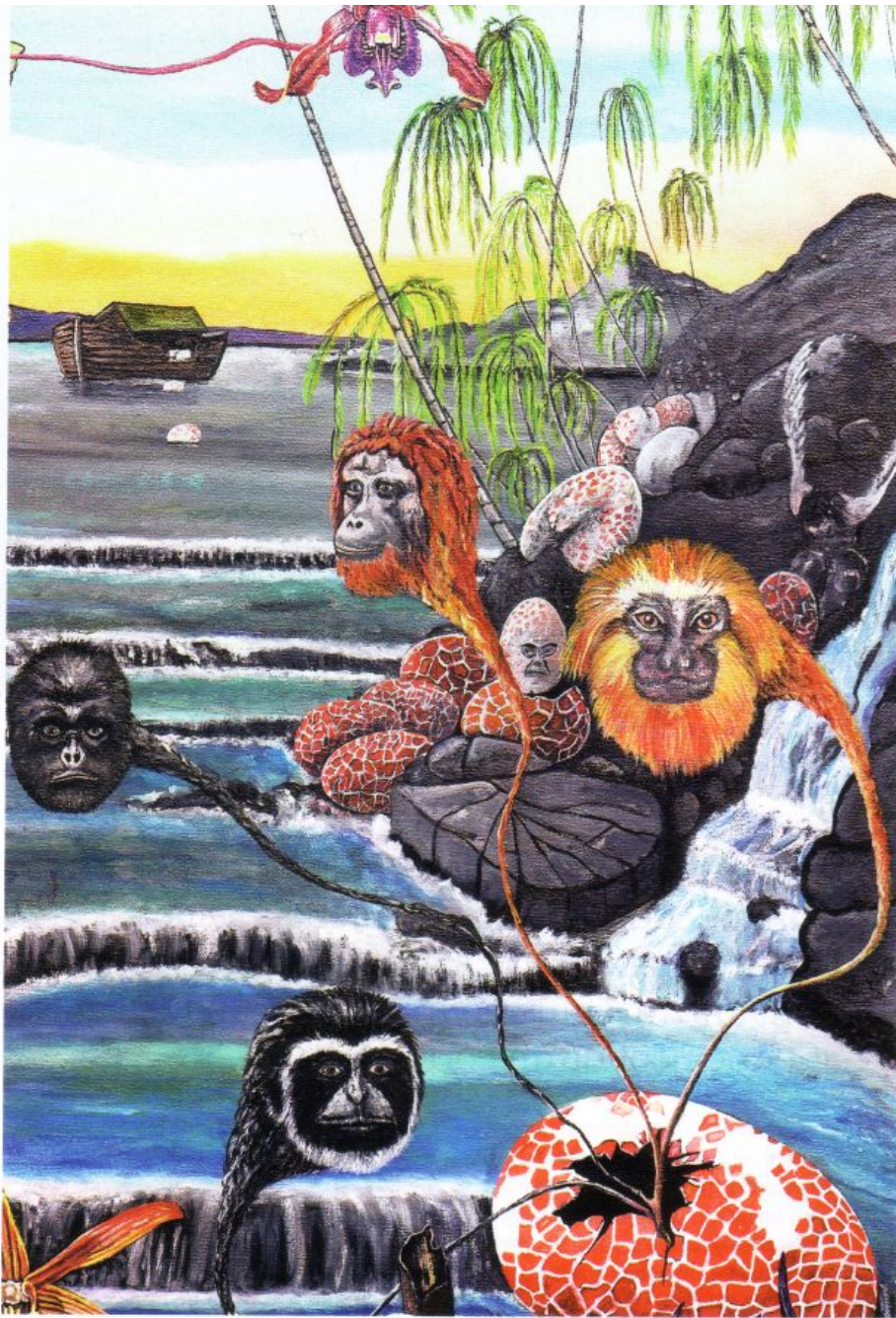
seules lois de la physique voudraient que toutes ces molécules qui sont dans un milieu très petit (par exemple la synapse) se mélangent. Le glutamate fait partie d'un système qui est ce que j'ai appelé une unité structurale pour bien montrer que ce système n'est pas seulement de la physique, car il possède plusieurs niveaux d'organisation. Cette unité structurale va interagir avec d'autres unités structurales selon un principe d'organisation qui est le PAAS. Pour résumer, les unités structurales sont constituées de molécules qui interagissent selon les lois locales de la physique (pour deux molécules il s'agit d'un principe de minimisation de leur énergie globale); ces unités interagissent de façon non locale pour augmenter leur domaine de stabilité fonctionnelle (il s'agit du PAAS, principe d'auto-organisation stabilisatrice).

Il ne s'agit donc pas d'un problème d'échelle mais d'un problème de relation entre l'organisation des structures physi-

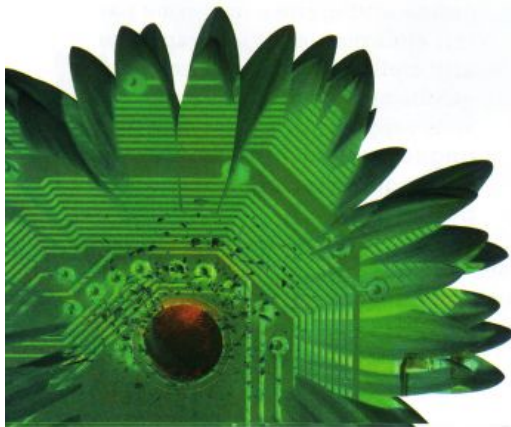
ques et celle des fonctions jouées par ces structures. Évidemment, le système biologique est, d'un point de vue énergétique, dans un état de non-équilibre thermodynamique. Mais ce n'est pas suffisant car un système physique peut aussi s'auto-organiser dans un état de non-équilibre. La vraie différence réside dans ces deux types d'interaction : locale pour les structures physiques, non locales pour les unités structurales.

Vous semblez opposer « intelligence artificielle » (qui vous paraît atteignable) et « conscience artificielle » (dont vous démontrez qu'elle ne peut exister). Pourriez-vous rappeler brièvement le distinguo que vous faites entre les deux notions, et leurs limites respectives ?

C'est exact, de mon point de vue il paraît vain de discuter de concepts qui sont mal définis. Qu'est-ce que l'intelligence



« L'intelligence est de nature algorithmique, c'est-à-dire une succession d'opérations raisonnées (...) alors que la conscience de soi est beaucoup plus difficile à définir. »



> (naturelle ou artificielle)? Qu'est-ce que la conscience (naturelle ou artificielle)? Si nous pensons la biologie « en mathématique », l'intelligence et la conscience doivent être définies dans un cadre théorique. Ce que j'ai fait dans ce livre en me fondant sur ma propre théorie qui est biologique (fondée sur l'anatomie et la physiologie) et de nature mathématique. Pour moi, l'intelligence est de nature algorithmique, c'est-à-dire une succession d'opérations raisonnées, ce qui est vrai aussi bien pour le mouvement que pour la cognition, alors que la conscience de soi est beaucoup plus difficile à définir (« qui regarde la télévision? »). J'ai tenté d'analyser dans mon cadre théorique les conséquences des propriétés de la conscience, celles qui sont admises par la communauté scientifique. Ainsi, la conscience serait analogue à une propriété de la matière physique, contrairement à l'intelligence.

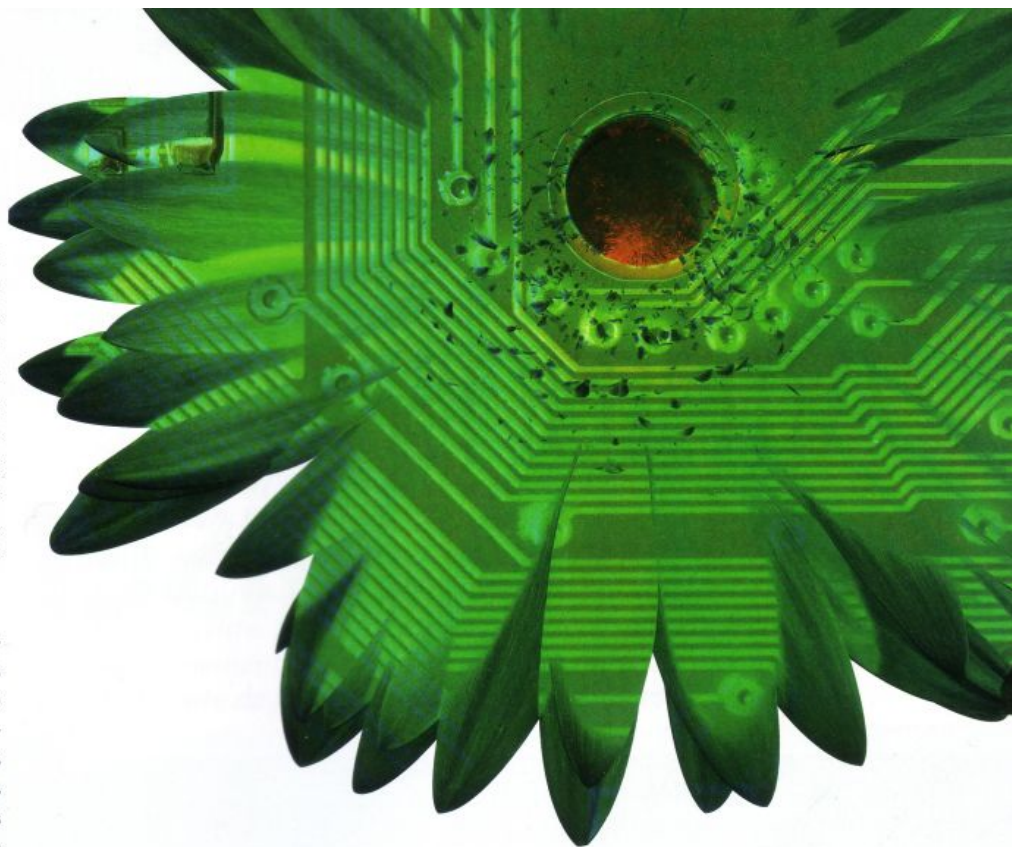
Donc, vous admettez qu'une machine puisse être intelligente, mais pas qu'elle puisse être dotée de créativité. Ce qui pose la question des limites de la simulation : jusqu'à quel point une machine peut-elle simuler la créativité de façon convaincante? Une imprimante programmée pour tracer des lignes sur du papier ne démontre aucune créativité. Une autre imprimante, mue par un logiciel plus complexe, pourrait tracer les contours d'un paysage imaginaire, qui n'existe pas sous cette forme dans l'ordinateur. Serait-ce une forme de créativité?

Là aussi, qu'est-ce que la créativité? Comment la définir rigoureusement? Vos deux exemples relèvent d'un programme d'ordinateur, même si le second est beaucoup plus complexe que le premier. Pour moi, la créativité provient de la conscience de l'individu, qui ne dépend pas seulement d'opérations raisonnées, donc de la seule intelligence. On peut évidemment faire apprendre à une machine parce que l'on a mis des algorithmes d'apprentissage à l'intérieur de la machine. Le cerveau humain utilise-t-il seulement les algorithmes qu'il a appris? Bien d'autres choses interviennent, com-

me les émotions, la personnalité, l'état hormonal. Je me référerai à la création mathématique : suffit-il d'être capable de mettre en relation de nombreuses données, propriétés ou théorèmes pour créer une théorie mathématique ? Sûrement pas, car il faut aussi se poser les bonnes questions à un niveau de complexité formidable. Si la machine est capable de vérifier qu'un théorème est vrai ou faux, elle n'est capable ni de le démontrer ni de l'énoncer a priori.

Qu'en est-il au plan comportemental ? Aujourd'hui, des robots domestiques (le robot-chien Aibo par exemple) sont dotés d'une faculté d'apprentissage basique mais suffisante pour que deux machines évoluant chez deux propriétaires distincts présentent, au bout de quelques mois, des différences comportementales assez nettes. Ne verra-t-on pas des robots capables de simuler des comportements humains (émotions, par exemple), de façon tellement fine que nous deviendrons incapables de reconnaître qu'ils ont été simulés ?

Bien sûr, si vous le placez dans une situation environnementale qu'il aura préalablement apprise. Il n'y a rien d'étonnant à cela. Nous sommes capables de faire apprendre beaucoup de choses par de simples réseaux de « neurones » (ou n'importe quel système dit « adaptatif »), et nous ferons beaucoup plus lorsque les états hormonaux pourront être pris en compte. Mais là, le niveau de complexité sera incomparablement plus grand. La question est surtout de savoir si un réseau d'objets mathématiques (ou informatiques) peut reproduire un comportement comme le fait un organisme vivant. Je préfère utiliser cette terminologie car les machines dont vous parlez n'ont pas de « cerveau », elles ont des programmes d'ordinateurs qui simulent des réseaux de soi-disant « neurones » mais qui n'en sont pas. Ce n'est pas parce qu'un robot a un comportement identique à un organisme qu'il est un organisme. Placez le robot dans une situation radicalement imprévue. Que fera-t-il ? Rien, puisqu'il ne peut pas créer !



Que pensez-vous du livre de Jeff Hawkins, Intelligence (cf. Le Monde de l'intelligence n° 1), et de son entreprise Numenta, qui veut réaliser des machines reproduisant le fonctionnement du cortex humain ?

À mon avis, les questions sur ce genre d'entreprise reposent sur un malentendu. Je ne peux que répéter ce que je disais précédemment : avec du temps et de l'argent, on peut toujours créer une machine qui aura un fonctionnement voulu ! Mais ce ne sera jamais un cortex vivant. Le challenge est plutôt de savoir si une machine pourrait avoir un meilleur fonctionnement qu'un cortex humain. C'est le problème de l'oiseau et de l'avion ! C'est d'ailleurs ce que dit Hawkins lui-même. Mais, selon ma théorie, on ne pourra pas créer de novo un cortex, humain ou non, en raison des interactions fonctionnelles non locales dont je parlais plus haut. Ce cortex vivant devrait tenir compte de l'histoire de sa création, tant au cours de son développement qu'au cours de l'évolution. Néanmoins, je suis d'accord avec ce que dit Hawkins, qui reprend la théorie des neurobiologistes et que j'approuve : l'apprentissage se fait par l'acquisition de représentations mentales (issue des capteurs), la mémoire est hiérarchisée et l'intelligence est de nature algorithmique. C'est ce que j'ai montré

pour l'intelligence du mouvement. Le challenge est pour moi de démontrer tout cela mathématiquement.

Une entreprise doit être créée pour mettre en pratique votre théorie. Pouvez-vous en dire plus ?

Bien sûr. Mon objectif est de mettre en œuvre un logiciel qui permette d'intégrer (au sens mathématique) tous les mécanismes physiologiques connus. Bref de faire une véritable bio-ingénierie, de faire passer la biologie au statut de science « dure » comme l'on dit. Puisque l'intégration repose sur le niveau moléculaire, on pourra entre autres choses déterminer les meilleures molécules ayant une action physiologique donnée, comme la mémorisation ou, pourquoi pas, l'intelligence... Mais pour cela, il faut de l'argent, beaucoup moins que ce que l'on dépense actuellement pour ne rien obtenir, mais il en faut quand même. Pour conclure, je voudrais insister sur l'intérêt d'une théorisation mathématique de la biologie. Pour moi, avoir créé une théorie biologique de nature mathématique a pour intérêt essentiel de conduire à des développements futurs prédictifs, notamment en médecine, à des réfutations, à de nouvelles explications de ce vivant mystérieux, de sorte que l'on puisse enfin voir l'avantage décisif à penser la biologie en mathématique comme on le fait en physique. ■