

Des mécanismes physiques interviennent dans des étapes clés de l'embryogenèse

Cet article est initialement paru dans le magazine *Reflets de la physique* : R. Clément, « Stéphane Leduc et la physique du vivant », n° 58, pp. 26-29, juin 2018.

BIBLIOGRAPHIE

R. Clément, **Stéphane Leduc and the vital exception in the Life Sciences**, arXiv, article 1512.03660, 2015.

S. Tirard, **La biologie synthétique : de Stéphane Leduc à Craig Venter... Le retour ?**, Cahiers François Viète, série II, vol. 6-7, pp. 137-150, 2012.

J. J. Kupiec et P. Sonigo, **Ni Dieu ni gène. Pour une autre théorie de l'hérédité**, Seuil, 2003.

E. Fox Keller, **Making Sense of Life**, Harvard University Press, 2003.

S. Leduc, **Théorie physico-chimique de la vie et générations spontanées**, A. Poinat, 1910.

biaisée par la spécificité du vivant. Cette révolution se dessine enfin aujourd'hui. Ces dernières années, la biologie a connu une explosion de l'utilisation de concepts issus de différents domaines de la physique comme la physique statistique, la mécanique ou l'étude des systèmes complexes.

LE RENOUVEAU DE LA PHYSIQUE DU VIVANT

En biologie du développement, l'utilisation de modèles physiques ou mécaniques pour comprendre l'émergence macroscopique de formes à partir de comportements cellulaires est devenue courante, pas seulement dans les revues de biologie théorique ou de biophysique, mais aussi dans les revues classiques de biologie ou les revues généralistes, y compris les plus prestigieuses. Des mécanismes physiques interviennent ainsi dans des étapes clés de l'embryogenèse des vertébrés comme la gastrulation (l'apparition dans l'embryon, à un stade où il ressemble à une boule de cellules, de feuillettes qui se spécialisent) et la formation du plan d'organisation, qui définit par exemple où pousseront les membres. Et la physique explique aussi en partie la phyllotaxie, la disposition des feuilles sur la tige des plantes. Leduc, en affirmant que le problème de la biologie devait être de comprendre « le jeu des forces physiques sur la matière vivante », et en mettant en lumière les considérables « facultés d'organisation » des forces physiques ordinaires, préfigurait cette évolution.

L'héritage de Stéphane Leduc ne se limite donc pas à ses expériences osmotiques parfois naïves, mais englobe son approche théorique très novatrice des questions d'organisation en biologie. Si certaines de ses idées semblent maintenant datées ou simplistes, comme l'a par exemple souligné en 2002 l'historienne Evelyn Fox Keller dans son livre *Making Sense of Life*, il a pourtant introduit l'idée remarquable, et des preuves de principe expérimentales, que les forces physiques ordinaires ont une « faculté d'organisation » largement sous-estimée jusqu'à très récemment en biologie, préfigurant ainsi le concept moderne d'autoorganisation. Comment alors expliquer que ses contributions aient été si largement oubliées ?

Certes, il a pu manquer à son travail expérimental, qui repose essentiellement sur des analogies de forme, un support théorique plus solide. Mais son éviction témoigne aussi de la réticence à adopter en biologie une démarche non spécifique au vivant. Pourtant, de plus en plus de travaux montrent aujourd'hui comment des principes physiques hérités de Leduc ou de D'Arcy Thompson peuvent aider à appréhender les mécanismes d'organisation de la matière vivante, apportant ainsi leur pierre à la grande quête des mécanismes de l'épigenèse. ■

rapidement éclipsé les approches physiques chères à Leduc. Avec la découverte de l'ADN comme base moléculaire de l'hérédité, et plus tard du rôle clé des gènes dans le contrôle des étapes de la formation d'un embryon, les biologistes se sont rapidement mis à considérer les gènes comme les blocs élémentaires de la vie et se sont focalisés sur l'influence de l'expression des gènes sur les processus cellulaires. Au-delà du monde scientifique, le gène s'est très vite installé dans l'imaginaire collectif et la culture populaire comme support de tout ce qui pouvait être spécifique au vivant, y compris à l'humain. James Watson, codécouvreur de la structure de l'ADN, déclara même en 2001 : « Nous pensions que notre destin était dans les étoiles, nous savons maintenant qu'il réside en grande partie dans nos gènes. »

À une époque où le vitalisme, du moins en science, avait complètement disparu, il est frappant de voir l'enthousiasme avec lequel le paradigme génétique et sa terminologie ont été adoptés, comme si leur caractère vital, spécifique du vivant, rendait plus facile à accepter la nature physicochimique de la vie. Malgré les progrès spectaculaires permis par la génétique, cette approche très microscopique peine pourtant parfois à établir une chaîne causale entre expression génique, comportement cellulaire et phénotype macroscopique. *Best is yet to come* (le meilleur reste à venir), titrait la revue *Nature* en 2011 dans un éditorial célébrant les dix ans du séquençage du génome humain. Et de fait, le séquençage relève encore plus « d'une prouesse de technologie que de compréhension scientifique », comme le soulignait en 2010 Philip Ball, éditeur pour *Nature* et journaliste scientifique, dans *Prospect Magazine*.

En 2003, face aux difficultés rencontrées par le paradigme du tout génétique, les biologistes Pierre Sonigo et Jean-Jacques Kupiec évoquaient, dans leur ouvrage *Ni Dieu ni gène* la nécessité d'une « révolution copernicienne » en biologie et l'adoption d'une vision moins

R

ENDEZ-VOUS

P.80 Logique & calcul
P.86 Art & science
P.88 Idées de physique
P.92 Chroniques de l'évolution
P.96 Science & gastronomie
P.98 À picorer

LE POTENTIEL DANGER DES INTELLIGENCES SURHUMAINES

Entre l'idée de superintelligences menaçantes et celle, plus sympathique, de machines qui ne seraient que notre prolongement, laquelle est la plus vraisemblable?

L'AUTEUR



JEAN-PAUL DELAHAYE
professeur émérite
à l'université de Lille
et chercheur au Centre
de recherche en
informatique, signal
et automatique de Lille
(Cristal)



Jean-Paul Delahaye a récemment publié : **Les Mathématiciens se plient au jeu**, une sélection de ses chroniques parues dans *Pour la Science* (Belin, 2017).

Un exploit étonnant vient d'être réalisé dans le domaine des recherches en intelligence artificielle (IA). Le programme AlphaZero, conçu et programmé par David Silver et son équipe de la société DeepMind, apprend seul, en jouant contre lui-même et en ne connaissant que les règles, à jouer aux échecs, au go ou au shogi (échecs japonais). Il a dépassé le niveau des meilleurs joueurs humains dans ces trois jeux.

L'exploit est un formidable progrès : l'ordinateur Deep Blue, qui a battu en 1997 le champion du monde d'échecs Gary Kasparov, combinait de bons algorithmes et une connaissance experte des ouvertures de jeu, des fins de partie et de l'évaluation des configurations, ces expertises provenant des meilleurs joueurs humains qui avaient en quelque sorte « instruit le programme ».

Avec AlphaZero, plus besoin d'experts humains transmettant un savoir patiemment acquis ; pour ce type de jeux, l'IA travaille seule et obtient mieux que ce à quoi aboutissent des siècles de concentration humaine. Les chercheurs qui ont mis au point AlphaZero précisent : « Nous avons appliqué AlphaZero aux jeux d'échecs, de shogi, ainsi qu'au go, en utilisant le même algorithme et la même architecture réseau pour les trois jeux. Nos résultats démontrent qu'un algorithme polyvalent d'apprentissage par renforcement [l'algorithme favorise les choix qu'il fait quand il gagne] peut apprendre, *tabula rasa*, sans connaissances ni données humaines spécifiques. »

À mesure que l'intelligence artificielle progresse, des questions de plus en plus pressantes sont formulées à son sujet. Certains chercheurs et philosophes qualifiés parfois de technoprophètes nourrissent le débat et proposent des visions du futur, variées et contradictoires. Qu'on s'en réjouisse ou qu'on le craigne, nul ne doute que les machines intelligentes, peut-être mises en réseaux ou fusionnées aux humains, façonneront notre avenir.

Parmi ces penseurs qui tentent de déchiffrer le futur, citons Nick Bostrom, Ray Kurzweil, Ben et Ted Goertzel, Hans Moravec, Francis Heylighen, Hugo de Garis, et Clément Vidal. Tous réfléchissent à ce que pourrait être une intelligence artificielle supérieure et à son attitude face à l'humanité.

EXCÈS D'HONNEUR ET INDIGNITÉ

Comme souvent quand on comprend mal un sujet, on procède par excès et, selon son tempérament, on voit exclusivement le verre à moitié vide ou le verre à moitié plein. Pour reprendre les mots que Racine met dans la bouche d'un de ses personnages, l'IA ne mérite cependant ni l'excès d'honneur qu'on lui accorde ni l'indignité liée à la crainte qu'elle suscite.

L'étonnement face aux succès obtenus et la prise de conscience des impacts que cela aura ne doivent pas faire perdre le sens de la mesure. L'IA réussit magnifiquement dans de nombreuses tâches spécialisées, mais reste encore démunie pour tout ce qui demande du sens commun, comme la traduction automatique