



UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

COMMUNIQUÉ DE PRESSE

Genève | 7 avril 2017

ATTENTION: sous embargo jusqu'au 12 avril 2017 19h, heure locale

Quand un lézard réconcilie la biologie et les mathématiques



Swiss Institute of
Bioinformatics

Chez tous les animaux, du poisson clown au léopard, les changements de couleur de peau et les dessins qu'ils produisent sont dus à des interactions microscopiques qui se déroulent au niveau cellulaire et que décrivent parfaitement les équations du mathématicien Alan Turing. Mais chez le lézard ocellé, le mécanisme est différent, comme l'ont montré des chercheurs de l'Université de Genève (UNIGE) et du SIB Institut Suisse de Bioinformatique. Le passage de l'animal du brun, lorsqu'il est jeune, à un dessin vert et noir à l'âge adulte ne se produit pas seulement au niveau cellulaire, mais également à l'échelle des écailles toutes entières, qui changent de couleur une à une. Les équations de Turing sont impuissantes à modéliser ce phénomène. Pour le décrire, il faut se tourner vers un autre mathématicien, John von Neumann, et ses « automates cellulaires », un système de calcul ésotérique inventé en 1948. Pour la première fois, une recherche orientée vers la biologie permet de lier le travail de ces deux géants des mathématiques, à découvrir dans le journal *Nature*.

Une équipe multidisciplinaire de biologistes, physiciens et informaticiens dirigée par Michel Milinkovitch, professeur au sein du Département de génétique et évolution de la Faculté des sciences de l'UNIGE et Chef de Groupe au SIB Institut Suisse de Bioinformatique, montre la transformation graduelle de la peau du lézard ocellé (*Timon lepidus*), du brun chez le jeune lézard à un labyrinthe d'écailles vertes et noires chez l'adulte. Cette observation ne correspond pas au mécanisme découvert en 1952 par le mathématicien Alan Turing, impliquant des interactions au niveau cellulaire (ici pigmentaires). Pour comprendre pourquoi le patron de coloration s'organise à l'échelle des écailles plutôt qu'à celle des cellules biologiques, deux doctorantes, Liana Manukyan et Sophie Montandon, ont suivi la coloration de plusieurs lézards pendant quatre ans, depuis leur sortie de l'oeuf jusqu'à l'âge adulte. Elles ont reconstruit la géométrie 3D et la couleur du réseau d'écailles au moyen d'un système robotique à très haute résolution, développé précédemment dans le laboratoire de Michel Milinkovitch.

Des chaines d'écailles noires et vertes

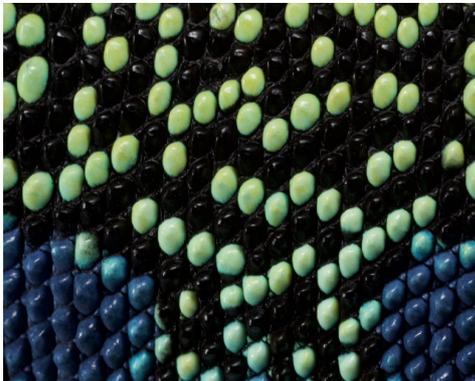
Les chercheurs ont observé que non seulement les écailles changent de couleur du brun au noir ou au vert, mais qu'elles continuent, une fois le lézard adulte, de passer du noir au vert et du vert au noir. Cette observation étrange a poussé le Professeur Milinkovitch à formuler une hypothèse : le réseau d'écailles forme un « automate cellulaire », un système computationnel ésotérique inventé en 1948 par le mathématicien John von Neumann. Les automates cellulaires sont des réseaux abstraits dans lesquels chaque élément change d'état (ici, la couleur verte ou noire) en fonction de l'état des éléments voisins.



Le changement de la couleur de la peau chez le lézard ocellé se fait écaille par écaille.

©UNIGE

Les éléments sont appelés «cellules» mais dans le cas des lézards, ils correspondent aux écailles et non aux cellules biologiques. Si ces automates ont été largement utilisés pour modéliser des phénomènes naturels, l'équipe de l'UNIGE a cette fois découvert ce qui semble être le premier cas de véritable automate de von Neumann apparaissant chez un être vivant. L'analyse du changement de couleur sur quatre ans a permis aux chercheurs suisses de confirmer l'hypothèse du professeur Milinkovitch: les écailles changent effectivement de couleur en fonction de la couleur des écailles voisines. Ce résultat est appuyé par des simulations informatiques utilisant cette règle mathématique et qui produisent des patrons de couleur identiques à ceux des vrais lézards.



Variations des couleurs des écailles chez le lézard ocellé.
©UNIGE

Il fallait alors comprendre comment les deux modèles mathématiques se retrouvent liés chez le lézard ocellé. En effet, comment des interactions microscopiques entre des cellules pigmentaires, décrites par les équations de Turing, peuvent-elles produire un automate de von Neumann exactement superposé aux écailles de la peau ? La peau du lézard n'est pas plate: très fine entre les écailles, elle est beaucoup plus épaisse en leur centre et, selon l'intuition du professeur Milinkovitch, cette variation d'épaisseur peut influencer sur le mécanisme de Turing. Par le biais de simulations informatiques tenant compte de la géométrie de la peau, les chercheurs ont fait émerger un comportement d'automate de von Neumann. Ils ont ainsi démontré que les «automates cellulaires» comme systèmes de calcul ne forment pas simplement un concept abstrait imaginé par John von Neumann, mais correspondent également à un processus naturel généré par l'évolution biologique.

De la biologie aux mathématiques... et retour

Malgré ce succès, les simulations restaient imparfaites, les mathématiques de Turing et celles de von Neumann étant très différentes. Michel Milinkovitch a fait alors appel au professeur de l'UNIGE Stanislav Smirnov, lauréat 2010 de la Médaille Fields. Le professeur Smirnov modifia alors les équations de Turing pour établir un lien mathématique formel avec les automates de von Neumann. Anamarija Fofonjka, doctorante dans l'équipe de Milinkovitch, a utilisé ces nouvelles équations de Smirnov dans des simulations informatiques, produisant un système indifférentiable d'un automate de von Neumann. L'équipe multidisciplinaire bouclait ainsi la boucle de cette aventure scientifique, de la biologie à la physique, aux mathématiques ... et retour à la biologie.

contact

Michel C. Milinkovitch

Tel: +41 22 379 3338

Mobile: +41 78 695 9522

michel.milinkovitch@unige.ch

UNIVERSITÉ DE GENÈVE
Service de communication

24 rue du Général-Dufour
CH-1211 Genève 4

Tél. +41 22 379 77 17

media@unige.ch

www.unige.ch