

COMMUNIQUÉ DE PRESSE

Toulouse, le 29/01/2026

La vie terrestre représente seulement une infime fraction des formes biologiques possibles

Quelles formes prend le vivant sur Terre ? C'est la question que se sont posée des scientifiques toulousains de l'Université de Toulouse et du CNRS, qui explorent pour la première fois les limites morphologiques de la vie à grande échelle. Grâce à un nouveau cadre mathématique, ils démontrent que la vie tend plutôt à produire des formes peu complexes et à évoluer sur le très long terme selon une trajectoire dictée par des contraintes physiques, métaboliques et développementales. Leurs résultats, publiés dans *Science Advances* le 7 janvier, pourraient offrir de nouvelles perspectives pour la recherche de vie potentielle dans l'univers.

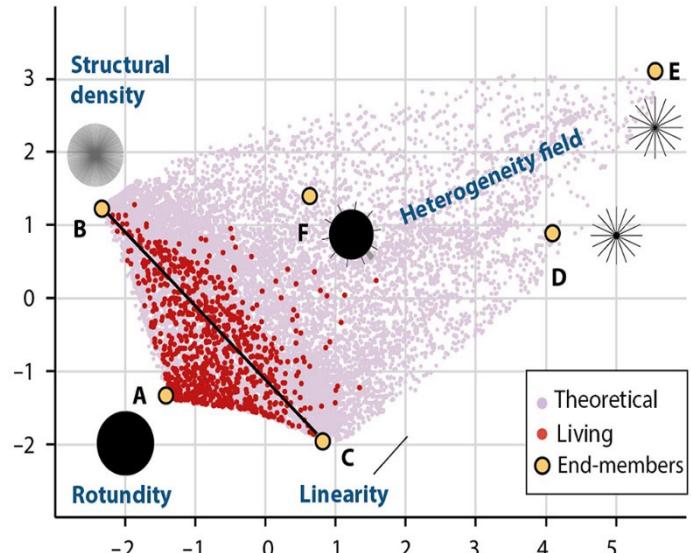
Les recherches sur l'origine de la vie et sa possible présence dans l'Univers n'ont jamais été aussi actives. Pour la détecter, la science convoque des spécialistes de plusieurs disciplines – biologie, paléontologie, génétique, physique et chimie – et tente de définir ses propriétés en termes de composition chimique, de fonctions, de capacités et d'organisation par rapport au monde inerte. Cependant, l'aspect le plus évident et tangible de la vie n'a paradoxalement jamais été évalué de façon formelle : sa forme.

« À première vue, on pourrait considérer cette question de façon triviale parce qu'on peut quotidiennement observer des structures biologiques en forme de boules, ramifiées ou symétriques », estime Guillaume Dera, maître de conférences à l'Université de Toulouse au sein du laboratoire Géosciences environnement Toulouse (GET, CNES/CNRS/IRD/UT). « Pourtant, nous avons constaté qu'il n'existant pas d'inventaire complet de la complexité morphologique pour en définir les propriétés fondamentales et universelles. »

Ainsi, des questions aussi basiques que « quels types de géométries les êtres vivants peuvent-il produire ? » ou « y a-t-il des limites générales ou des règles à l'évolution des formes vivantes ? » ne trouvent actuellement aucune réponse satisfaisante à l'échelle de la biosphère. La raison en est toute simple : il n'existe aucun cadre théorique permettant de comparer et de quantifier de manière rationnelle des géométries et structures aussi complexes et diversifiées que celles des êtres vivants peuplant la Terre.

C'est précisément ce à quoi se sont attelés les scientifiques en créant la première "carte géométrique" de toutes les formes de vie actuelles sur Terre. Pour comparer des organismes aussi différents qu'une bactérie et un séquoia, ils ont utilisé l'analyse fractale, une méthode mathématique qui mesure comment les formes remplissent l'espace à différentes échelles.

Les chercheurs ont appliqué cette méthode à 944 organismes représentant tous les grands groupes du vivant, puis les ont comparés à plus de 15 000 "biomorphes", des formes artificielles théoriques générées afin de définir l'espace des possibles pour le vivant. Résultat : les organismes vivants n'occuperaient que 0,04 % du champ des formes théoriquement possibles ! La vie se concentre sur des formes relativement simples et homogènes (filaments, sphères, structures ramifiées et toutes leurs formes intermédiaires), tandis que les formes très hétérogènes et complexes sont quasi absentes. Avec tout de même quelques rares exceptions comme les radiolaires, des organismes unicellulaires, ou certains oursins avec leurs longues épines.



^ La distribution restreinte des organismes dans le champ des possibilités. La ligne noire sépare les formes isomorphes (en bas à gauche) des formes hétéromorphes (en haut à droite).

Cette proportion infime de formes que prend le vivant soulève une question : pourquoi si peu ? Les auteurs ont identifié trois contraintes complémentaires. D'abord, les contraintes métaboliques : « *un organisme doit équilibrer ses échanges avec l'environnement et sa circulation interne. Cet équilibre est très dépendant de la taille, ce qui limite des formes à certaines échelles. Par ailleurs, les appendices trop fins ne sont pas forcément fonctionnels* », précise Guillaume Dera. « *Ensuite, les contraintes physiques : à petite échelle, la tension de surface favorise les sphères ; à grande échelle, la gravité limite les formes massives qui s'effondreraient. Enfin, les contraintes développementales : les formes complexes nécessitent des instructions génétiques sophistiquées et, statistiquement, les mutations pourraient plus facilement produire des formes simples, que l'on appelle biais de simplicité algorithmique.* »

En croisant leurs résultats avec le registre fossile, les chercheurs reconstituent le scénario évolutif en quatre étapes : allongement des cellules bactériennes (il y a plus de 2,5 milliards d'années), apparition d'appendices plus complexes avec les eucaryotes (vers 2 milliards d'années), développement de l'hétérogénéité de masse grâce à la biométabolisation (vers 750 millions d'années), et développement de l'hétérogénéité des structures avec la diversification des plantes modernes (de -250 à -65 millions d'années). Cette progression suit la logique dictée par l'augmentation de la taille des organismes et les contraintes physiques associées.

Ces principes fondamentaux de directionnalité et de complexification géométrique pourraient être applicables à l'évolution de toute vie potentielle dans l'univers. Si les mêmes contraintes physiques, métaboliques et développementales s'appliquent ailleurs, la vie extraterrestre pourrait présenter des formes étonnamment similaires à celles observées sur Terre, du moins dans leurs grandes lignes géométriques.

Contact presse

Valentin Euvrard

Chargé de communication scientifique

Université de Toulouse

valentin.euvrard@utoulouse.fr

+33 5 61 55 76 03