



## LA SÉLECTION NATURELLE DES MOLÉCULES AUX ÉCOSYSTÈMES

César Marín<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherche et d'Innovation sur le changement climatique, Université Santo Tomás, Valdivia, Chili

<sup>2</sup>Institut pour la Vie et l'Environnement d'Amsterdam, Département d'Écologie des systèmes, Université Vrije d'Amsterdam, Amsterdam, Pays Bas

### MICRO-ORGANISMES.

Organisme invisible à l'œil nu. Ils sont représentés dans les trois domaines du vivant (bactéries, archées et eucaryotes). Les virus qui ne sont pas des organismes cellulaires sont souvent aussi considérés comme des micro-organismes/microbes.

Il existe une multitude d'êtres vivants sur la Terre, notamment des animaux, des micro-organismes, des plantes et des champignons. Toute cette diversité est principalement le résultat d'un processus d'évolution appelé sélection naturelle. Selon la sélection naturelle, les individus dotés de caractéristiques favorables se reproduisent davantage et ont plus de descendants que les individus dépourvus de ces caractéristiques. Mais sais-tu que la sélection naturelle ne se produit pas uniquement au niveau de l'individu ? Une théorie appelée sélection multi-niveaux explique comment la sélection naturelle se produit à différents niveaux de la vie, des molécules aux écosystèmes. Des individus égoïstes peuvent être plus performants (se reproduire plus) que des individus coopératifs, mais sur le long terme, les groupes d'individus coopératifs sont plus performants que les groupes d'individus égoïstes. Les scientifiques ont confirmé cette théorie en laboratoire et dans la nature, sur toutes sortes d'organismes. Dans cet article, j'explique la théorie de la sélection multi-niveaux et les faits qui l'étayent.

### L'ÉVOLUTION PAR SÉLECTION NATURELLE

La vie existe sur notre planète depuis longtemps — 3,7 milliards d'années, pour être précis. La Terre compte de nombreux animaux, plantes, champignons et **micro-organismes**. Pourquoi sont-ils tous si différents les

**ÉVOLUTION.** Processus qui modifie la composition des populations d'organismes au fil du temps.

**SÉLECTION NATURELLE.** Processus naturel par lequel la "survie du plus apte" conduit à des organismes mieux adaptés à leur environnement. Au fil du temps, les caractéristiques utiles sont conservées, les caractéristiques nuisibles disparaissent.

**SÉLECTION MULTI-NIVEAUX.** Sélection naturelle qui se produit à plus d'un niveau de la vie, des molécules aux écosystèmes.

uns des autres ? La réponse c'est l'**évolution** qui se produit, entre autres, par le biais d'un processus appelé **sélection naturelle**. Dans le processus de sélection naturelle, les individus qui présentent les caractéristiques les mieux adaptées à leur environnement sont ceux qui ont le plus de chances de survivre et de transmettre ces caractéristiques à leurs descendants. Avec les générations, les caractéristiques avantageuses deviennent plus communes.

Pour qu'il y ait sélection naturelle, trois conditions doivent être remplies. Premièrement, les individus d'un groupe doivent être différents les uns des autres. Par exemple, le bec de certains oiseaux peut présenter de légères différences de forme. Deuxièmement, ces différences doivent pouvoir être héritées, c'est-à-dire transmises des parents à leurs descendants. Troisièmement, certaines différences doivent permettre aux individus de mieux survivre et donc de se reproduire davantage [1]. Par exemple, certaines formes du bec d'un groupe d'oiseaux peuvent être mieux adaptées pour manger les graines présentes dans son environnement.

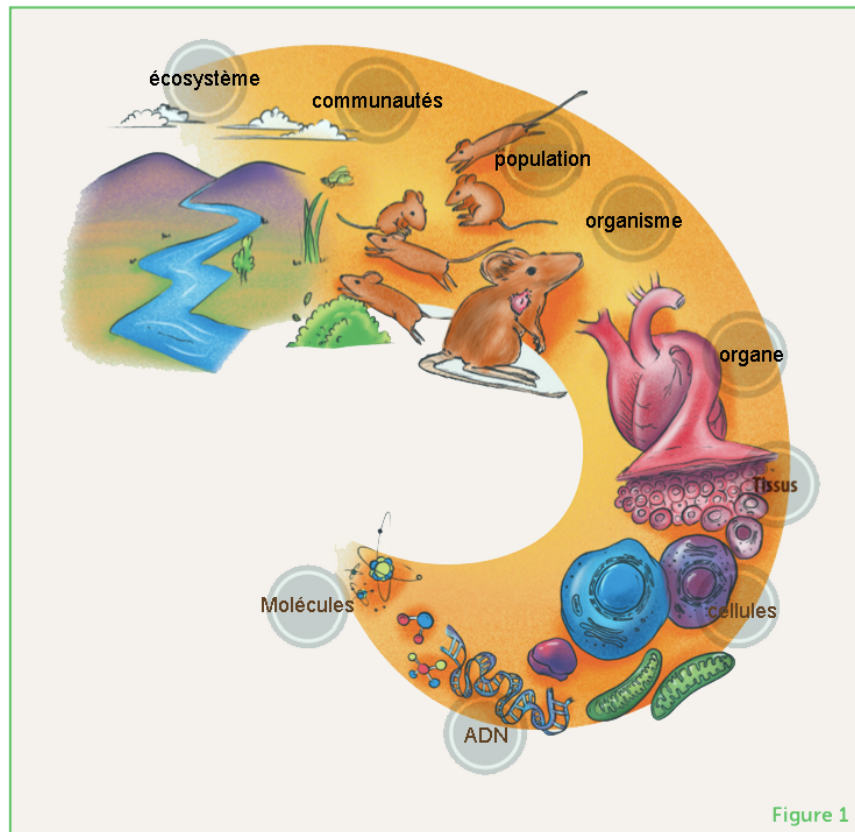
Les scientifiques ont observé des milliers d'exemples de sélection naturelle chez les êtres vivants. Par exemple, certains insectes développent rapidement une résistance lorsqu'ils sont exposés à des pesticides, car les insectes résistants, mieux protégés contre l'action du pesticide, survivent et se reproduisent davantage que ceux qui ne le sont pas. Les becs des pinsons des îles Galápagos, étudiés par Charles Darwin, sont adaptés aux types de graines que ces oiseaux mangent. La sélection naturelle permet d'expliquer l'impressionnante diversité des êtres vivants sur notre planète.

### SÉLECTION MULTI-NIVEAUX

Il est courant de penser que la sélection naturelle ne se produit qu'au niveau des individus, comme nous venons de le décrire. Or, tout ce qui existe dans la nature est une série de niveaux, du plus simple au plus complexe (Figure 1). De minuscules molécules forment les cellules, les cellules forment les organes des organismes, les organismes forment des groupes, les groupes forment des populations, les populations forment des communautés et les communautés forment des écosystèmes. La sélection naturelle opère à des niveaux beaucoup plus petits que l'individu (au niveau des cellules au sein d'un organisme, ou même des molécules...), et à des niveaux beaucoup plus grands (au niveau de groupes d'individus). C'est ce que l'on appelle la **sélection multi-niveaux**, et elle affecte tout, des molécules aux écosystèmes entiers [2] !

Au niveau des cellules, la sélection naturelle opère sur des cellules individuelles au sein d'un organisme. Par exemple, dans le cas du cancer, certaines cellules mutent, devenant ainsi différentes des cellules saines, et se reproduisent davantage. Il s'agit d'un exemple de sélection

naturelle, mais cette sélection n'est pas bonne pour les individus qui sont malades ; cette sélection ne bénéficie qu'aux cellules cancéreuses.



**ADN.** Molécule support de l'information génétique organisée en gènes et chromosomes qui sont transmis des parents à leurs descendants.

**Figure 1.** La vie sur Terre est organisée en niveaux. Chaque niveau est plus complexe que le précédent. Pour atteindre un niveau plus complexe, une transition majeure a dû se produire dans le processus d'évolution. Les niveaux considérés dans ce dessin sont : les molécules, l'**ADN**, les cellules, les tissus, les organes, les organismes ou individus, les populations, les communautés et les écosystèmes.

Dans le cas du cancer, la sélection naturelle se produit principalement au niveau d'une cellule. À une plus grande échelle, des groupes entiers peuvent évoluer selon la manière dont coopèrent les individus qui les composent. Ainsi, dans un même groupe, les individus égoïstes (qui coopèrent peu ou pas du tout) sont avantagés par rapport aux individus coopératifs en s'accaparant toutes les ressources ; mais si la population est composée d'un mélange de groupes égoïstes et coopératifs, ce sont les groupes coopératifs qui gagnent dans la compétition sur le long terme (**Figure 2**) [3].

Prenons l'exemple des poules. Leur agressivité se traduit en particulier par le fait de becqueter les autres poules (ce qu'on appelle le picage), ce qui nuit à la santé de ces dernières et à leur production d'œufs. Ainsi, au sein d'un même groupe, une poule agressive (égoïste) pond plus d'œufs que les poules moins agressives. Mais si on compare des cages contenant des poules pacifiques (très peu de picage) et des cages de poules agressives (beaucoup de picage), ce sont les cages des poules les plus pacifiques qui produisent le plus d'œufs au total. En fin de compte, la reproduction d'un organisme dépend donc de ses propres caractéristiques et de celles de ses voisins [4].

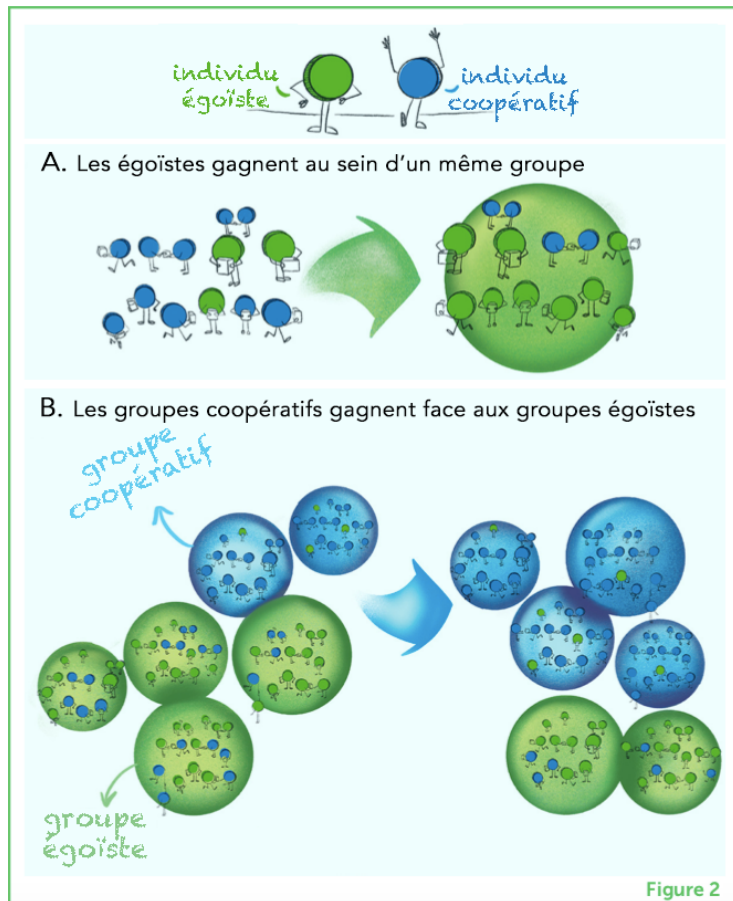


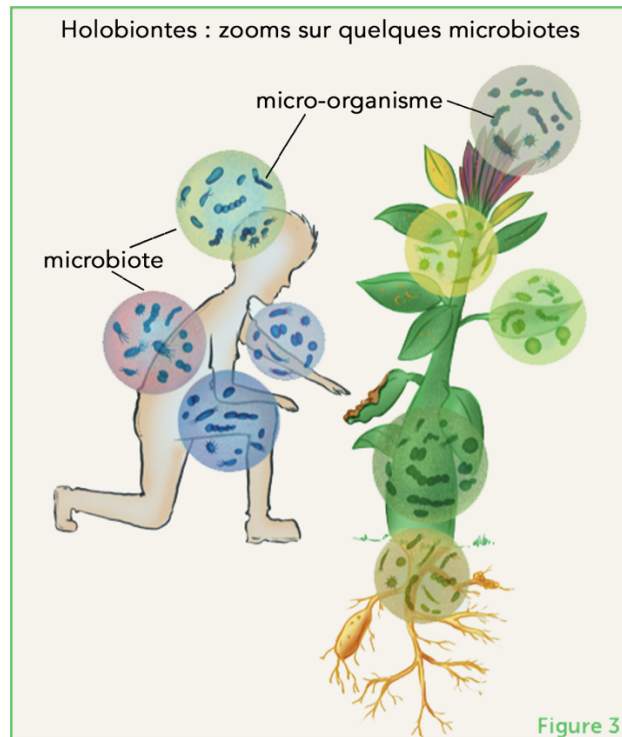
Figure 2

**Figure 2.** (A) Au sein d'un groupe, les individus égoïstes se reproduisent mieux que les individus coopératifs. Après plusieurs générations, le groupe lui-même devient plus égoïste (plus vert). (B) Si l'on compare un ensemble formé de groupes coopératifs et de groupes égoïstes, on constate, après plusieurs générations, que le nombre de groupes coopératifs augmente. C'est le résultat d'un processus de sélection multi-niveaux. Ce type de sélection s'est produit quand des colonies de cellules plus coopératives ont formé des organismes multicellulaires, mieux adaptés que leurs ancêtres plus égoïstes.

### LES HOLOBIONTES : DES ORGANISMES QUI ÉVOLUENT ENSEMBLE

Sais-tu que les animaux multicellulaires, comme les humains, ont besoin de minuscules micro-organismes pour survivre ? Beaucoup de ces micro-organismes vivent dans le système digestif, où ils aident à dégrader les aliments d'une manière dont les animaux ne sont pas capables. Des micro-organismes utiles vivent également sur ou dans d'autres parties d'un animal, comme la peau, les organes reproducteurs, et même les poumons (Figure 3). C'est également le cas de la plupart des plantes : des micro-organismes vivent à l'intérieur et autour des racines, des tiges et des feuilles, aidant la plante à obtenir des nutriments qu'elle ne peut pas se procurer par elle-même. Ces micro-organismes protègent également la plante contre les animaux mangeurs de plantes, la sécheresse ou les parasites. En échange, l'animal ou la plante dans lesquels vivent les micro-organismes leur fournit ce dont ils ont besoin, comme de la nourriture et de bonnes conditions de reproduction. Ainsi, un être vivant avec les micro-organismes qui vivent sur lui ou à l'intérieur de lui se reproduit mieux et est appelé **holobionte** (Figure 3).

**HOLOBIONTE.** Ensemble constitué d'un organisme hôte et des micro-organismes qui vivent sur lui ou à l'intérieur de lui, augmentant sa capacité de reproduction.



**Figure 3.** Les animaux et les plantes ont de nombreux micro-organismes qui vivent dans et sur eux, et dont certains les aident à survivre. La combinaison d'un organisme et de ces micro-organismes utiles est appelée holobionte. Les micro-organismes peuvent aider l'organisme à digérer la nourriture, à acquérir des nutriments ou à lutter contre des parasites. Chez un holobionte, la sélection naturelle opère à plusieurs niveaux (sélection multi-niveaux) : au niveau du micro-organisme, au niveau de la plante ou de l'animal hôte, et au niveau de l'holobionte tout entier.

Chez un holobionte, l'animal (ou la plante) et les micro-organismes évoluent ensemble grâce à la sélection multi-niveaux. Au fil du temps, ils deviennent plus aptes à survivre en équipe. Par exemple, il y a plus de 406 millions d'années, les plantes ont colonisé la terre avec l'aide de certains micro-organismes utiles vivant dans leurs racines, appelés champignons mycorhiziens. Aujourd'hui, plus de 90 % des plantes terrestres sont associées à ces champignons. La plupart des animaux et des plantes ne peuvent survivre sans micro-organisme et de nombreux micro-organismes ne peuvent survivre sans animal ni plante.

### LES GRANDES TRANSITIONS DE L'ÉVOLUTION

Au cours de l'évolution, il y a eu quelques **transitions** majeures, au cours desquelles la complexité des êtres vivants s'est considérablement accrue [2]. Tout d'abord, des molécules ont commencé à se copier elles-mêmes, pour finalement évoluer vers l'ADN. Plus tard, on est passé de cellules simples à des cellules plus complexes. On est ensuite passé d'organismes unicellulaires à des organismes pluricellulaires, puis d'organismes vivant indépendamment à des organismes vivant en petits groupes. Les petits groupes ont ensuite évolué vers d'énormes groupes, comme les colonies d'abeilles. Même les humains sont passés de petits groupes de chasseurs-cueilleurs à de grandes sociétés qui ont développé une culture et une langue commune.

**TRANSITION.** Passage d'une organisation biologique à une autre organisation plus complexe.

Ces transitions constituent un exemple clair de sélection multi-niveaux expliquant la complexité de la vie. Lors de ces grandes transitions, la première sélection naturelle se produit principalement au niveau de moindre complexité et, après un certain temps, principalement au niveau de plus grande complexité [2, 5]. Même pour arriver à quelque chose d'aussi complexe qu'un gène ou un organisme, la sélection naturelle s'est d'abord opérée sur des éléments moins complexes.

Une transition importante qui illustre ce concept est l'évolution des mitochondries et des chloroplastes. Ces structures cellulaires sont les usines des cellules animales et végétales ; elles fournissent l'énergie nécessaire à la survie, la croissance et la reproduction. Les mitochondries et les chloroplastes étaient autrefois des micro-organismes qui vivaient indépendamment. Au fil du temps, ils sont devenus partie intégrante des cellules et, aujourd'hui, ils ne subissent plus leur propre sélection naturelle ; ce sont les cellules dont ils font partie qui le font.

Un phénomène comparable s'est produit chez les abeilles. Toute la colonie d'abeilles travaille ensemble comme un grand organisme, avec des abeilles différentes qui font des tâches différentes. La sélection naturelle s'opère davantage au niveau de la colonie qu'au niveau de chaque abeille individuelle. Comme les organes d'un organisme pluricellulaire, certaines abeilles se spécialisent dans la reproduction et d'autres dans la défense de la colonie. Certaines sont même prêtes à mourir lorsqu'elles piquent. C'est le signe que la sélection naturelle se produit au niveau de la colonie.

### LES PREUVES DE LA SÉLECTION MULTI-NIVEAUX DANS LA NATURE ET AU LABORATOIRE

Au cours des 50 dernières années, des expériences en laboratoire et des observations de la nature ont montré que la sélection multi-niveaux se produit chez de nombreux types d'organismes : les plantes, les insectes, les poissons, les oiseaux et même les humains [5] ! Par exemple, l'évolution de certains groupes de plantes leur évite d'être mangés ou leur permet d'attirer les insectes qui les aident à disperser leur pollen. L'évolution de certains groupes d'oiseaux leur permet de mieux se cacher des prédateurs. Certains groupes de tamias (sorte de petits écureuils d'Amérique du nord) plus dociles se sont reproduits davantage que les groupes plus agressifs [6]. La même chose s'est produite avec des insectes appelés araignées d'eau [7]. Dans ces exemples, la reproduction d'un organisme augmente grâce aux caractéristiques utiles de ses voisins.

En laboratoire, les scientifiques ont modifié la façon dont différents organismes interagissent [8]. Ils ont fait pousser des plantes pendant plusieurs générations, en sélectionnant les meilleurs micro-organismes du sol vivant autour de leurs racines. Au fil du temps, ces micro-organismes et leur sol (un minuscule "écosystème" dans un pot) ont

permis à la plante d'avoir une taille plus grande et de mieux tolérer les agressions. Les scientifiques ont aussi cultivé des levures solitaires dans des tubes à essai en imposant certaines limites (comme l'absence d'oxygène) [9]. Chaque jour, pendant des mois ou des années, ils ont sélectionné les levures qui commençaient à s'agréger. Après des milliers de générations, ces levures ont formé des colonies si serrées qu'elles ressemblaient à des organismes pluricellulaires. Ces expériences viennent également étayer la théorie de la sélection multi-niveaux.

## EN CONCLUSION

Dans le processus de sélection naturelle, certaines caractéristiques utiles sont transmises par les parents à leur progéniture, ce qui conduit la progéniture elle-même à avoir plus de descendants. Mais la sélection naturelle se produit au niveau de l'individu et à d'autres niveaux de la vie, depuis les minuscules molécules jusqu'aux écosystèmes entiers. C'est la définition de base de la sélection multi-niveaux, et elle se produit parce que, des molécules aux organismes et aux communautés, beaucoup de choses ont des caractéristiques utiles qui les aident à se reproduire davantage.

L'évolution de la vie, des simples molécules aux sociétés complexes, ne peut s'expliquer sans le concept de sélection multi-niveaux. Ce processus se produit en permanence, tant dans la nature qu'en laboratoire. Il peut nous aider à comprendre beaucoup de choses importantes sur les organismes, comme la raison pour laquelle certains sont plus performants lorsqu'ils coopèrent en groupe. Dans l'ensemble, la vie semble être un équilibre constant entre la coopération et l'égoïsme à différents niveaux d'organisation, y compris pour nous.

## REMERCIEMENTS

CM remercie la Convocatoria Nacional Subvención a Instalación Academia Convocatoria Año 2021 + Folio SA77210019 (ANID-Chile). Je remercie vivement Felipe G. Serrano (<https://illustrative-science.com/>) pour la magnifique illustration de ce manuscrit.

## RÉFÉRENCES

- [1] Lewontin, R. C. 1970. The units of selection. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 1:1–18.
- [2] Okasha, S. 2006. *Evolution and the Levels of Selection*. New York, NY: Oxford University Press.
- [3] Wilson, D. S., and Wilson, E. O. 2007. Rethinking the theoretical foundation of sociobiology. *Q. Rev. Biol.* 82:327–48. doi: 10.1086/522809
- [4] Heisler, I. L., and Damuth, J. 1987. A method for analyzing selection in hierarchically structured populations. *Am. Nat.* 130:582–602.

[5] Marín, C. 2016. The levels of selection debate: taking into account existing empirical evidence. *Acta Biol. Colomb.* 21:467–72. doi: 10.15446/abc.v21n3.54596

[6] Warrington M.H., Beaulieu S., Jellicoe R., Vos, S. Bennett, N.C. Waterman J.M. 2024. Lovers, not fighters: docility influences reproductive fitness, but not survival, in male Cape ground squirrels, *Xerus inauris*. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 78:6. doi. 0.1007/s00265-023-03421-8

[7] Eldakar O.T., Wilson D.S., Dlugos M.J., Pepper J.W. 2010. The role of multilevel selection in the evolution of sexual conflict in the water strider *Aquarius remigis*. *Evolution* 64(11):3183-3189. doi 10.1111/j.1558-5646.2010.01087

[8] Ali S., Tyagi A., Mir R.A., Rather I.A., Anwar Y., Mahmoudi H. 2023. Plant beneficial microbiome a boon for improving multiple stress tolerance in plants. *Front. Plant Sci.* 14:1266182. doi: 10.3389/fpls.2023.1266182

[9] Hope E.A., Amorosi C.J., Miller A.W., Dang K., Smukowski Heil C. and Dunham M.J. 2017. Experimental Evolution Reveals Favored Adaptive Routes to Cell Aggregation in Yeast. *Genetics* 116:1153-1167. doi: <https://doi.org/10.1534/genetics.116.198895>

## VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (Marín C (2024) Natural Selection From Molecules to Ecosystems. *Front. Young Minds.* 12:1186583 ; doi : 10.3389/frym.2023.1186583)

**TRADUCTION** : Nicole Pasteur, Association Jeunes Francophones et la Science

**ÉDITION** : Catherine Braun-Breton, Association Jeunes Francophones et la Science

**MENTORS SCIENTIFIQUES** : [Marie Péquignot](#), Ula Hibner et Catherine Braun-Breton.

## JEUNES ÉDITEURS :

**MAÉLINE, SARAH, EWAN, WILLIAM, MATHIS, LISA, LUCAS, 16-17 ANS**

Nous sommes des élèves de Terminal générale avec des spécialités scientifiques dans un lycée de l'Hérault. Nous sommes très intéressés par la biologie et motivés pour apprendre de nouvelles choses ! Nous avons bien aimé ce travail d'édition pour améliorer cet article très intéressant.

**FAUSTINE, MAËLYS, ELIA, LOU, INÈS, CAPUCINE, 17 ANS**

Nous avons choisi les spécialités SVT et Physique-Chimie pour cette année de Terminale. Nous aimerions nous orienter vers des professions dans la recherche et la santé. Nous aimons comprendre le monde qui nous entoure. Nous sommes un groupe performant et coopératif, liés par notre goût pour le ski, les voyages, la nourriture et le rose.

**ESTEBAN, MANU, NATHAN, MAÉVA, FAUSTINE, NOËLIE, 17 ANS**

Pour cette année de Terminale, nous avons choisi des spécialités scientifiques avec comme projets d'avenir de travailler dans le domaine des Sciences. Participer à ce travail d'édition nous a bien intéressés.

### **ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)**

**SOUMIS** le 15 mars 2023 ; **ACCEPTÉ** le 8 décembre 2023

**PUBLIÉ EN LIGNE** le 3 janvier 2024

**ÉDITION** : Nathan Good

**MENTOR SCIENTIFIQUE** : Rashmi Panigrahi

**CITATION** : Marín C (2024) Natural Selection From Molecules to Ecosystems. *Front. Young Minds.* 12:1186583. doi: 10.3389/frym.2023.1186583

### **DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊT**

Les auteurs déclarent que les travaux de recherche ont été menés en l'absence de toute relation commerciale ou financière pouvant être interprétée comme un conflit d'intérêt potentiel.

### **DROITS D'AUTEUR**

Copyright © 2024 Marín

Cet article en libre accès est distribué conformément aux conditions de la licence Creative Commons Attribution (CC BY). Son utilisation, distribution ou reproduction sont autorisées, à condition que les auteurs d'origine et les détenteurs du droit d'auteur soient crédités et que la publication originale dans cette revue soit citée conformément aux pratiques académiques courantes. Toute utilisation, distribution ou reproduction non conforme à ces conditions est interdite.

### **JEUNE EXAMINATRICE**

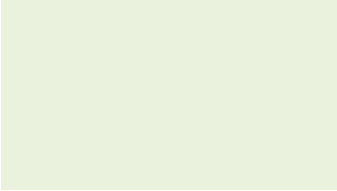
#### **ARADHYA, 11 ANS**

J'aime jouer, lire et danser. J'aime faire de la danse classique. J'aime voyager dans de nouveaux endroits et connaître leur histoire. J'aime peindre des formes de vie naturelles. J'aime jouer au volley-ball et au badminton. J'aime faire de la danse classique car elle représente ma culture.

### **AUTEUR**

#### **CÉSAR MARÍN**

César Marín est professeur à l'École des sciences de l'Université Santo Tomás, au Chili. Il est également chercheur invité à l'Université Vrije d'Amsterdam. Auparavant, il a effectué deux stages postdoctoraux au Chili et en République tchèque (2018-2021). Il est docteur en écologie et évolution (Université Australe du Chili), biologiste de l'environnement, et possède un diplôme en philosophie de la biologie. Il a reçu le prix



Afrocolombien de l'année (Académie) (journal El Espectador) et le prix Humberto Maturana (Société chilienne de biologie). Il est rédacteur en chef de plusieurs revues et coordinateur du réseau sud-américain de recherche sur les mycorhizes. \*cmarind@santotomas.cl