

## POURQUOI LES MARGES CONTINENTALES À L'EST DES BASSINS OCÉANIQUES SONT-ELLES PLEINES DE POISSONS ?

Sara Miller<sup>1,2</sup>, Luisa Lopera<sup>3</sup> et Annalisa Bracco<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>École des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, Institut de Technologie de Géorgie, Atlanta, GA, États Unis

<sup>2</sup>Département d'Astronomie, Université Cornell, Ithaca, NY, États Unis

<sup>3</sup>Sciences et de l'Ingénierie de l'océan, Institut de Technologie de Géorgie, Atlanta, GA, États Unis

À l'est des océans Atlantique et Pacifique, la rotation de la Terre et les vents soufflant vers l'équateur éloignent l'eau des côtes. Les eaux profondes de l'océan remontent pour remplacer ce qui a été repoussé, un processus appelé upwelling. Ces eaux profondes, plus froides, qui remontent à la surface, sont riches en nutriments et maintiennent en bonne santé les écosystèmes marins. En d'autres termes, l'upwelling sur la côte est des océans se traduit par une abondance de poissons ! Il existe quatre régions où cet upwelling à l'est des océans est crucial. Ces régions couvrent moins de 3 % de la surface océanique mondiale, mais elles sont responsables de 20% des prises mondiales de poissons. Compte tenu de leur extraordinaire productivité biologique, il est très important de comprendre comment le réchauffement climatique peut les affecter. Dans cet article, nous décrivons ces régions et analysons comment le changement climatique peut affecter les populations de poissons de leurs écosystèmes.

### INTRODUCTION

"Petits, mais formidablement efficaces" est une bonne façon de décrire les tout petits poissons qui vivent dans les couches supérieures

**MARGES CONTINENTALES.** Zones sous-marines situées au bord des continents.

**UPWELLING.** Processus physique par lequel l'eau froide des couches profondes de l'océan, généralement enrichie en nutriments, remonte vers la surface.

**SYSTÈME D'UPWELLING CÔTIER.** Région de l'océan où l'eau à la surface de l'océan s'éloigne des côtes et est remplacée par de l'eau des profondeurs.

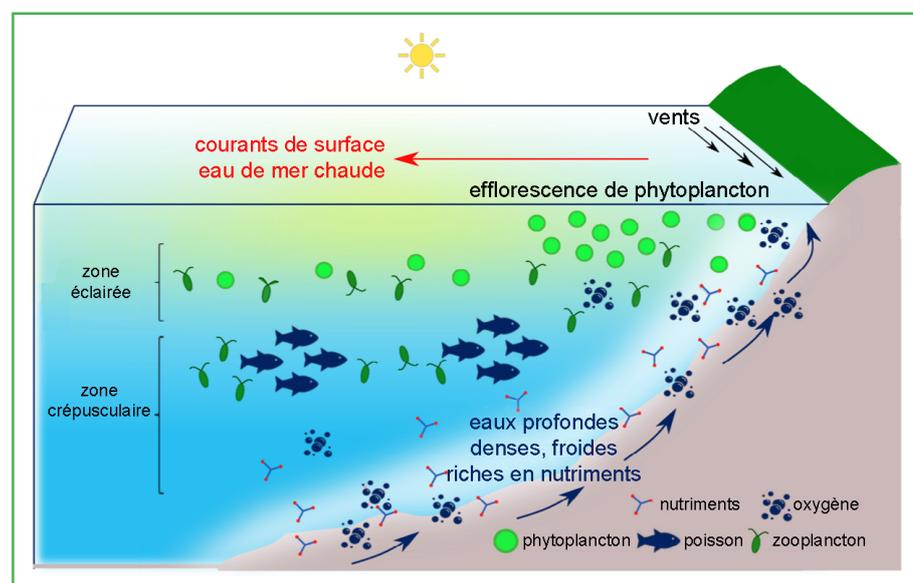
**PHYTOPLANCTON.** Organismes microscopiques réalisant la photosynthèse, comme de nombreuses plantes ; ils vivent à la dérive dans la zone ensoleillée de l'océan.

**EFFLORESCENCE.** Augmentation rapide du phytoplancton dans une région donnée, associée à des quantités élevées de nutriments et une abondance de lumière et d'oxygène.

**PHOTOSYNTÈSE.** Processus par lequel certains organismes, dont les plantes vertes, transforment la lumière du soleil pour synthétiser des nutriments complexes à partir de dioxyde de carbone et d'eau.

**ZOOPLANCTON.** Petits organismes aquatiques, y compris des crustacés et des larves, qui dérivent dans l'océan. Ils se nourrissent principalement de phytoplancton et sont mangés par des prédateurs plus gros comme les poissons.

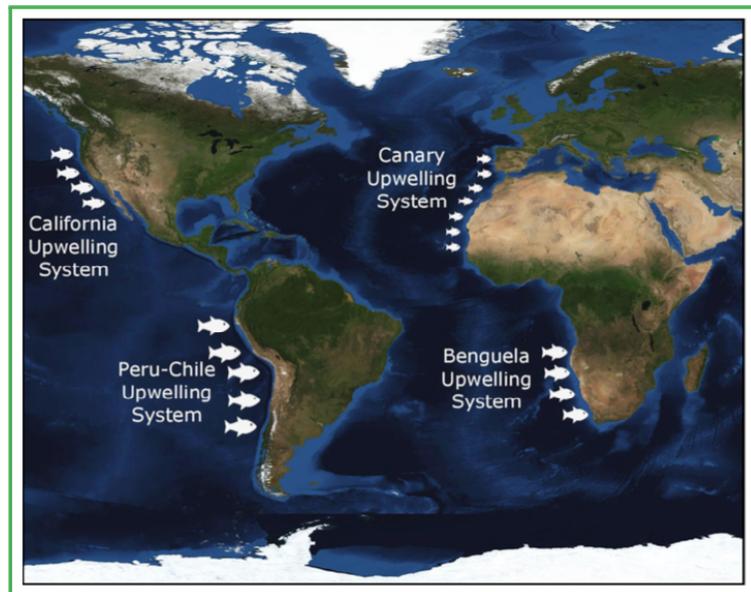
de l'océan. Les sardines et les anchois, par exemple, jouent un rôle essentiel dans la chaîne alimentaire des océans et dans l'écosystème marin. Ces petits poissons constituent la principale source de nourriture de poissons plus grands qui eux-mêmes sont une source de nourriture importante pour les humains du monde entier ! Les plus grandes populations de sardines et d'anchois vivent sur les **marges continentales** à l'est des océans où les eaux profondes remontent vers la surface. Le processus physique à l'origine de ce mouvement bénéfique de l'eau de mer s'appelle **upwelling** océanique (**Figure 1**). Dans ces régions, la remontée d'eaux profondes est due à un **système d'upwelling côtier**, résultat de l'action combinée de la rotation de la Terre et des vents de surface qui soufflent vers l'équateur le long de la côte. Ces deux facteurs poussent les eaux de surface loin des côtes et laissent un vide permettant la remontée des eaux profondes plus froides et riches en nutriments tels que l'azote et le phosphore. Lorsque ces eaux profondes atteignent la couche éclairée par le soleil, on assiste à une **efflorescence du phytoplancton**. Le phytoplancton est formé d'organismes minuscules à la dérive. Comme les plantes terrestres, le phytoplancton utilise la **photosynthèse** pour transformer l'énergie solaire, ce qui leur permet de fabriquer des nutriments complexes et libère de l'oxygène ; la prolifération du phytoplancton soutient l'ensemble de la chaîne alimentaire de l'océan. Le **zooplancton**, les plus petits animaux de l'océan, se nourrit du phytoplancton, tandis que le zooplancton lui-même est la nourriture préférée de poissons plus gros.



**Figure 1.** L'upwelling côtier est le processus par lequel l'eau de surface chaude de la partie supérieure de l'océan, éclairée par le soleil, est remplacée par de l'eau plus froide et riche en nutriments provenant des régions plus profondes de la zone crépusculaire. Il se produit à l'est des océans, provoqué par le vent qui souffle le long de la côte et vers l'équateur, combiné à la rotation de la Terre. Le vent éloigne les eaux de surface de la côte. Les flèches indiquent le mouvement des vents le long de la côte et des courants de surface et de l'eau des profondeurs. Le phénomène d'upwelling entraîne une efflorescence du phytoplancton.

## OÙ SE PRODUIT L'UPWELLING CÔTIER ET POURQUOI LES OCÉANOGRAPHE L'ÉTUDENT-ILS ?

Les océanographes étudient les systèmes d'upwelling côtier parce qu'ils génèrent les écosystèmes les plus productifs de l'océan et qu'ils sont très importants pour l'économie de nombreux pays. Il existe quatre principaux systèmes d'upwelling côtier dans le monde : les systèmes de Californie et du Pérou-Chili dans l'océan Pacifique, et les systèmes des Canaries et de Benguela dans l'océan Atlantique (Figure 2) [1]. Les oiseaux de mer comme les cormorans, les pélicans et les fous de Bassan, ainsi que les mammifères marins, y sont nombreux et diversifiés, car ces animaux sont attirés par la source de nourriture concentrée disponible. Les excréments accumulés et les restes d'oiseaux et de phoques morts forment un engrais très précieux pour le sol, appelé guano, qui est concentré en nutriments.



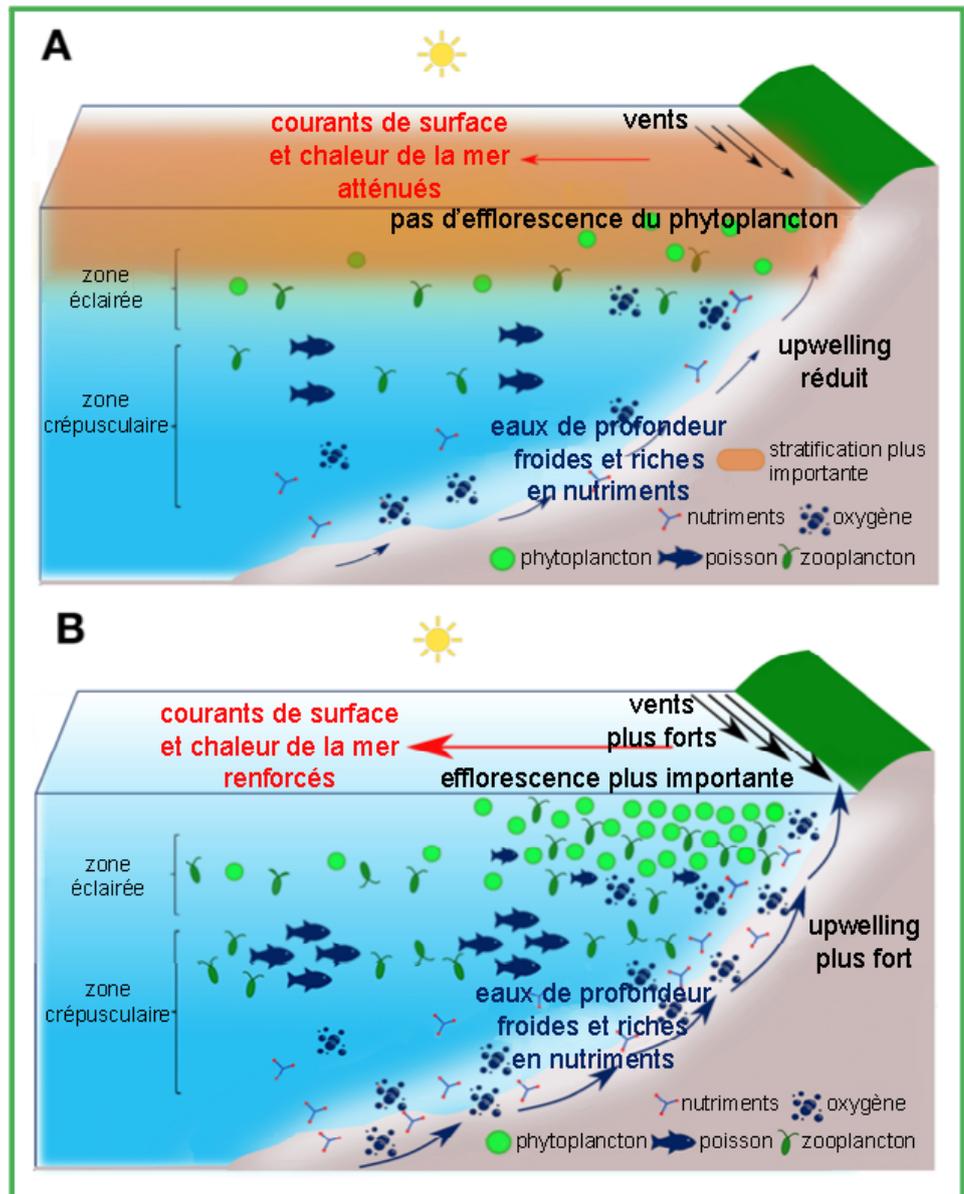
**Figure 2.** Emplacement des quatre principaux systèmes d'upwelling côtier. La taille des populations d'anchois et de sardines est représentée ici comme proportionnelle à la taille du symbole du poisson. La population la plus importante se trouve dans le système d'upwelling Pérou-Chili, et la plus petite dans celui des Canaries.

Non seulement ces systèmes d'upwelling côtier fournissent jusqu'à un cinquième du total des prises de poissons dans le monde [2] alors qu'ils ne représentent qu'une infime partie des océans de la planète, mais, grâce au guano, ils ont joué un rôle crucial dans le développement de l'agriculture intensive moderne au dix-neuvième siècle !

## SYSTÈMES D'UPWELLING CÔTIER ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Le poisson étant une source importante de nourriture et de revenus pour une grande partie du monde, les scientifiques aimeraient comprendre comment le changement climatique affectera les systèmes d'upwelling côtier. Ils pensent que le réchauffement climatique les affectera de deux manières : il modifiera les vents qui

alimentent les remontées d'eau et il modifiera la stratification de l'eau océanique (Figure 3).



**Figure 3.** Scénarios futurs possibles pour les systèmes d'upwelling côtier. (A) Sous l'effet du changement climatique, la remontée des eaux pourrait s'affaiblir en raison de la diminution des courants de surface et d'une augmentation de la stratification de l'océan. L'affaiblissement de la remontée d'eau se traduirait par une diminution des nutriments dans la zone éclairée par le soleil, ce qui entrainerait une diminution du phytoplancton et donc de la nourriture pour le zooplancton et les poissons. (B) À l'inverse, la remontée des eaux pourrait se renforcer en raison de vents plus forts et d'une faible variation de la stratification. Une remontée d'eau plus forte provoquerait une augmentation des nutriments dans la zone éclairée par le soleil, donc une augmentation du phytoplancton et de la nourriture disponible pour le zooplancton et les poissons.

Commençons par les vents. Si les vents faiblissent, moins d'eau est poussée vers le large et l'upwelling diminue. Au contraire, si les vents sont plus forts, l'upwelling sera plus important, car une plus grande quantité d'eau de surface est repoussée loin de la côte et la remontée d'eaux profondes augmente. Bien que tous les scientifiques ne soient pas d'accord, la plupart des experts pensent que les vents côtiers

## CAPACITÉ THERMIQUE.

Quantité de chaleur nécessaire pour réchauffer d'un degré une quantité fixe de matière. La capacité thermique de l'eau est supérieure à celle de la roche.

**STRATIFICATION.** Processus par lequel un fluide s'organise en couches en fonction de sa densité. Dans un océan stratifié, l'eau chaude, plus légère et moins salée, repose sur l'eau froide, plus lourde et plus salée.

deviendront plus forts et non plus faibles à l'avenir [3]. Cela pourrait se produire parce que le réchauffement climatique entraînera un réchauffement plus rapide de la terre que de l'océan. Si tu laisses un rocher et un verre rempli d'eau au soleil, au bout d'une heure, le rocher sera très chaud et l'eau ne sera que tiède. Cela s'explique par le fait que la terre et l'océan ont des **capacités thermiques** différentes. Si la terre se réchauffe plus que l'océan, le contraste de la température entre la terre et l'océan augmentera. Les scientifiques prévoient que cette différence de température accrue produira des vents plus forts le long des côtes et que ces vents augmenteront la remontée des eaux. L'augmentation de l'upwelling amènerait encore plus de nutriments près de la surface, ce qui favoriserait l'efflorescence bénéfique de phytoplancton [4].

Cependant, le réchauffement climatique entraînera également une augmentation de la température de l'air [5]. Lorsque l'air chaud réchauffe la couche supérieure de l'océan, il augmente ce que les scientifiques appellent la **stratification** de l'océan. Cette stratification se produit lorsque des eaux de densités différentes forment des couches empilées les unes sur les autres, de la plus légère en haut à la plus lourde en bas. L'eau chaude étant moins dense que l'eau froide, elle flotte sur l'eau froide. L'eau la plus légère et la plus chaude se trouve dans la partie supérieure de l'océan et chaque couche en dessous est plus lourde et plus froide. Bien que l'eau chaude de la couche supérieure de l'océan semble agréable pour la baignade, cette couche chaude agit comme une barrière à la remontée de l'eau profonde et froide. Plus l'eau de l'océan est stratifiée, plus le courant qui éloigne l'eau de surface de la côte est faible. Par conséquent, un océan plus stratifié pourrait réduire l'upwelling, diminuant ainsi la quantité des nutriments qui atteignent la zone éclairée par le soleil où se produit la photosynthèse.

Comment tout cela s'articule-t-il ? Bien que nous sachions que les écosystèmes des systèmes d'upwelling côtier peuvent bénéficier de vents plus forts et être affectés par une stratification accrue, nous ne savons pas si la somme de ces changements sera bonne ou mauvaise pour les organismes qui y vivent. Les scientifiques s'efforcent de prédire l'avenir des systèmes d'upwelling côtier à l'aide d'ordinateurs. Bien qu'il ne soit pas encore possible de modéliser tout ce qui se passe dans l'atmosphère et dans l'océan, nous avons fait d'énormes progrès en représentant le climat de la Terre de manière réaliste. Les résultats de ces modèles informatiques montrent que chacun des quatre principaux systèmes d'upwelling côtier réagira probablement différemment au changement climatique. Un groupe de chercheurs a par exemple constaté que les deux systèmes d'upwelling côtier de l'océan Atlantique pourraient être très sensibles au changement climatique, alors que ceux de l'océan Pacifique pourraient ne pas être

très affectés par ce changement [6]. Néanmoins, les modèles informatiques s'accordent à dire que le réchauffement climatique affectera davantage les systèmes d'upwelling côtier en été qu'en hiver. Le réchauffement climatique modifiera les endroits où les remontées d'eau les plus importantes se produisent pendant la saison estivale, tandis que les changements en hiver seront moins importants [3].

### À QUOI RESSEMBLERONT LES SYSTÈMES D'UPWELLING CÔTIER À L'AVENIR ?

Avec le réchauffement climatique, les scientifiques prévoient des changements au niveau des vents de surface, des températures océaniques et de la stratification des océans, entre autres [7]. Bien que les quatre principaux écosystèmes marins dus à l'upwelling côtier soient façonnés par des processus similaires dans l'océan et dans l'atmosphère, l'effet combiné des changements prévus sera unique pour chacun d'eux. Par conséquent, le changement climatique mondial aura un impact différent sur chaque système d'upwelling côtier. On ne sait pas encore comment ces changements climatiques et écosystémiques affecteront les poissons, les oiseaux de mer et les mammifères marins. Grâce à une combinaison de mesures océaniques et de prévisions informatiques, les scientifiques continueront à étudier les systèmes d'upwelling afin de comprendre comment nous pouvons limiter les effets néfastes du changement climatique. En attendant, choisir des produits de la mer durables (obtenus dans des conditions respectant l'environnement) est un moyen facile d'aider les sardines et les anchois de toutes les régions d'upwelling côtier à rester en bonne santé !

### REMERCIEMENTS

AB a été financée par la National Science Foundation (bourse OCE-1658174).

### RÉFÉRENCES

- [1] Checkley, D. M., Asch, R. G., and Rykaczewski, R. R. 2017. Climate, anchovy, and sardine. *Ann. Rev. Mar. Sci.* 9:469–93. doi: 10.1146/annurev-marine-122414-033819
- [2] Pauly, D., and Christensen, V. 1995. Primary production required to sustain global fisheries. *Nature*. 374:255–7. doi: 10.1038/374255a0
- [3] Rykaczewski, R. R., Dunne, J. P., Sydeman, W. J., García-Reyes, M., Black, B. A., and Bograd, S. J. 2015. Poleward displacement of coastal upwelling-favorable winds in the ocean's eastern boundary currents through the 21st century. *Geophys. Res. Lett.* 42:6424–31. doi: 10.1002/2015GL064694
- [4] Gruber, N., Lachkar, Z., Frenzel, H., Marchesiello, P., Münnich, M., McWilliams, J., et al. 2011. Eddy-induced reduction of biological production in eastern boundary upwelling systems. *Nat. Geosci.* 4:787–92. doi: 10.1038/ngeo1273

[5] Bakun, A., Black, B. A., Bograd, S. J., Garcia-Reyes, M., Miller, A. J., Rykaczewski, R. R., et al. 2015. Anticipated effects of climate change on coastal upwelling ecosystems. *Curr. Clim. Change Rep.* 1:85–93. doi: 10.1007/s40641-015-0008-4

[6] Bonino, G., DiLorenzo, E., Masina, S., and Iovino, D. 2019. Interannual to decadal variability within and across the major Eastern boundary upwelling systems. *Sci. Rep.* 9:19949. doi: 10.1038/s41598-019-56514-8

[7] Rykaczewski, R. R., and Dunne, J. P. 2010. Enhanced nutrient supply to the California current ecosystem with global warming and increased stratification in an earth system model. *Geophys. Res. Lett.* 37:L21606. doi: 10.1029/2010GL045019

## VERSION FRANÇAISE

Cet article d'accès libre est une traduction avec modifications d'un article publié par Frontiers for Young Minds (doi : 10.3389/frm.2022.704120 ; Miller S, Lopera L and Bracco A (2022) Why Are the Eastern Margins of Ocean Basins Full of Fish?. *Front. Young Minds.* 10:704120).

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

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

**MENTOR SCIENTIFIQUE** : Joseph Chamieh, Institut des Biomolécules Max Mousseron, Montpellier

## JEUNE EXAMINATRICE :

### ROSALIE, 17 ANS

Je m'appelle Rosalie, j'ai 17 ans et je suis passionnée par la lutte contre le changement climatique. Dans un futur proche, j'aimerais travailler en biologie marine environnementale et voyager dans le monde entier pour découvrir de nouveaux horizons.

## ARTICLE ORIGINAL (VERSION ANGLAISE)

**SOU MIS** le 1 mai 2021. **ACCEPTÉ** le 16 novembre 2022.

**PUBLIÉ EN LIGNE** le 2 décembre 2022.

**ÉDITION.** Sanae Chiba

**MENTORS SCIENTIFIQUES.** Josephine Jayworth, Madina Makhmutova

**CITATION.** Miller S, Lopera L and Bracco A (2022) Why Are the Eastern Margins of Ocean Basins Full of Fish? *Front. Young Minds.* 10:704120. doi: 10.3389/frm.2022.704120

**DÉCLARATION DE CONFLIT D'INTÉRÊTS** : 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'AUTEURS**

Copyright © 2022 Miller, Lopera and Bracco

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.

## **JEUNES EXAMINATEURS**

### **LUKE, 12 ANS**

Luke est passionné par l'apprentissage de l'histoire américaine. Partager son expertise avec ses amis et sa famille le motive. Il est un Scholastic Kid Reporter qui a eu le privilège d'interviewer l'ancien président Barack Obama et d'autres dirigeants. Il a également lancé une campagne de charité pour l'eau en 2019. Actuellement, Luke est membre du club de débat, club du gouvernement, du tableau d'honneur, de l'équipe d'athlétisme, du programme Yale Pathways to Science et un ancien élève du NYLF Pathways to STEM.

### **JAETHANIEL, 12 ANS**

Bonjour, je m'appelle Jaethaniel et j'aime la science et les super-héros Marvel. J'espère un jour devenir détective. Et j'aimerais aller à Yale pour mes études.

### **AVERY, 13 ANS**

Avery est une fervente adepte des sciences et de l'ingénierie. Elle allie créativité et logique lorsqu'il s'agit de résoudre des problèmes. Sa curiosité et sa forte éthique de travail la poussent à relever de nouveaux défis. Elle participe à des programmes scolaires et extra-scolaires en faveur de l'environnement et de la diversité. En outre, Avery nage dans deux équipes et joue à la crosse.

### **AVENTURA CITY OF EXCELLENCE SCHOOL (ACES), 11–12 ANS**

ACES est une école du sud de la Floride qui ajoute de la profondeur et un souffle du monde réel à son programme d'études en engageant ses élèves dans diverses activités communautaires et projets scientifiques. Ce fut un honneur pour la classe de sciences de 6e année de participer au processus scientifique en révisant ce manuscrit. Les élèves ont été ravis de voir que leurs suggestions ont été prises en compte et que l'article a été rendu plus compréhensible pour des collégiens comme eux.

### **ELENA, 14 ANS**

J'aime lire, regarder des films et la télévision, et faire du sport.

## AUTEURS

### SARA MILLER

Sara est doctorante au Département d'astronomie de l'université de Cornell. Avant de venir à Cornell, elle a obtenu un B.S. et un M.S. en ingénierie aérospatiale à Georgia Tech. Sara a grandi dans une communauté côtière du sud de la Californie et a développé un amour pour l'océan dès son plus jeune âge. Ses recherches portent sur les mondes océaniques du système solaire externe. Plus précisément, Sara s'intéresse à la modélisation de la dynamique des fluides d'un océan qui existe sous une coquille de glace sur la lune de Jupiter, Europe. Lorsqu'elle n'est pas en train de faire de la recherche, Sara aime courir, faire de la plongée sous-marine et faire de la randonnée avec son chien.

### LUISA LOPERA

Luisa est une chercheuse colombienne et adore les océans. Elle s'intéresse aux sciences de la terre depuis son plus jeune âge et se destine aujourd'hui à une carrière d'océanographe. Elle est actuellement doctorante dans le programme de sciences et d'ingénierie des océans à Georgia Tech. Son projet de recherche consiste à évaluer le degré de connexion des écosystèmes coralliens dans le golfe du Mexique, afin de fournir des informations pour l'aménagement du territoire.

### ANNALISA BRACCO

Annalisa est professeure à l'École des sciences de la Terre et de l'atmosphère de Georgia Tech. Passionnée de voile, elle a obtenu un doctorat en géosciences et s'est spécialisée dans l'océanographie physique après avoir obtenu une licence en physique théorique. Elle cherche à comprendre comment les écosystèmes marins interagissent avec les courants océaniques et utilise ces informations pour améliorer la durabilité et la résilience des océans face au changement climatique. Elle le fait en collaboration avec des océanographes chimistes et biologistes et des écologistes marins du monde entier. Lorsqu'elle ne travaille pas, elle s'occupe de ses deux enfants et de ses trois chiens. \*abbracco@gatech.edu