

HÉLOÏSE
CHOCHOIS

L'eau dans tous ses états

SCIENCES EN BULLES



fête de la
Science



Sciences
pour tous

L'eau dans tous ses états

SCIENCES EN BULLES

Sciences
pour tous

 GOUVERNEMENT
Liberté
Égalité
Fraternité

fête de la
Science



HÉLOÏSE CHOCHOIS

J'ai suivi des études d'Arts appliqués à l'école Estienne, puis je me suis spécialisée dans la bande dessinée et la vulgarisation scientifique parce que je trouve que les deux sont, il faut l'avouer, sacrément chouettes.

<https://heloisechochois.tumblr.com/>

Scénario, dessin et mise en couleurs des BD : Héloïse Chochois

Direction artistique : offgraphisme.paris

Rédaction et édition : Nathalie Brousse

Révision des textes avant scénarisation : Annalisa Plaitano

Relecture : Laurence Godec

© 2024, groupe Sciences pour tous, Syndicat national de l'édition

ISBN : 978-2-494623-05-7

Préface

Mettre la science en bulles

Cette 6^e édition de Sciences en bulles vous invite à explorer « l'eau dans tous ses états ». Dans un format revisité qui laisse une plus large place à la narration, l'ouvrage réunit sept bandes dessinées autour de l'eau et de l'océan.

Les personnages principaux, sept doctorants et doctorantes, se sont prêtés au jeu de vous raconter leurs travaux de recherche en images. En parcourant la mise en bulles de leurs thèses, c'est un véritable voyage au cœur de la science en train de se faire que nous vous proposons d'effectuer.

Destinés à un large public, ces récits illustrés, passerelles entre art et science, mettent en lumière combien créativité et recherche sont intimement liées. Afin d'accompagner et de prolonger votre lecture, un kit d'activités pour s'initier à l'art de la bande dessinée scientifique vous est proposé : rendez-vous à la fin de l'ouvrage pour le découvrir.

Grâce à notre bédéiste Héloïse Chochois, qui manie avec talent ce formidable outil de médiation scientifique, laissez-vous guider au fil des cases et plongez dans un « Océan de savoirs », le thème de l'édition 2024 de la Fête de la science !

La Fête de la science : toutes les sciences, partout, pour tous

Organisée par le ministère chargé de l'Enseignement supérieur et de la Recherche depuis 1991, la Fête de la science, ce sont dix jours de manifestations gratuites en France métropolitaine, dans les Outre-mer et à l'international.

Chaque automne depuis plus de trente ans, des milliers de scientifiques et de médiateurs partagent avec les citoyens les résultats de la recherche et la façon dont elle s'élabore, afin de mettre en débat les enjeux sociétaux des sciences et des innovations technologiques.

Océan de savoirs, une thématique qui a le vent en poupe!

En choisissant la thématique *Océan de savoirs*, l'édition 2024 de la Fête de la science s'inscrit dans le calendrier des temps marquants de l'Année de la mer qui se déroulera de septembre 2024 à septembre 2025. Elle est notamment en lien avec la troisième Conférence des Nations unies sur l'océan, qui se tiendra à Nice en juin 2025.

Cette année, la Fête de la science invite le public à découvrir l'océan, véritable laboratoire à ciel ouvert. Ce milieu complexe mobilise un champ important de la recherche, des sciences fondamentales et appliquées aux sciences humaines et sociales. De tout temps, l'océan a suscité notre fascination et stimulé notre imaginaire. Longtemps redoutée pour sa puissance et son caractère imprévisible, la mer apparaît aujourd'hui comme un bien précieux dont il faut prendre soin.

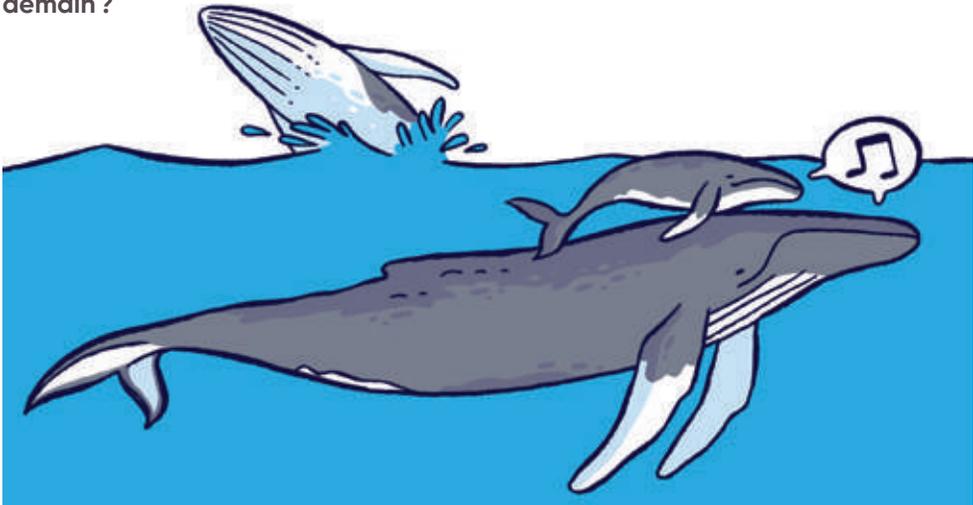
Au-delà du maritime, la thématique *Océan de savoirs* est donc une invitation à repousser l'horizon de nos connaissances scientifiques et à expérimenter l'étendue de tous les savoirs.

Sommaire

À la fois ressource, milieu et élément vital, l'eau est au cœur de nombreux défis auxquels l'humanité est confrontée aujourd'hui. Elle est aussi le fil conducteur qui relie les récits des sept doctorants et doctorantes qui vous ouvrent les portes de leurs laboratoires pour présenter leurs travaux.

Géoarchéologie, chimie des matériaux, bioacoustique, économie écologique, écologie et génie des procédés, océanographie et optique ou encore sciences de l'environnement : la diversité des disciplines scientifiques concernées révèle l'extraordinaire richesse des recherches menées sur « l'eau dans tous ses états ».

L'exploration ne fait que commencer! Et qui sait : en partageant leur expérience, ces jeunes chercheuses et chercheurs susciteront peut-être les vocations de demain ?



1

Sous les pavés, la plage (étrusque)

p. 9

Amber Goyon
Géoarchéologie



Les origines mystérieuses de l'eau sur Terre

2

Sylvain Laforet
Chimie des matériaux

p. 15

3

Choc des titans en mer : baleines contre bateaux

p. 21

Loanne Pichot
Bioacoustique



Les stations de ski se jettent à l'eau

4

Jonathan Cognard
Économie écologique

p. 27

5 De nouveaux héros face à la crise de l'eau ?

p. 33

Alexandre Lacou
Écologie et génie des procédés



Cinquante nuances de bleu : la vie cachée du phytoplancton

6

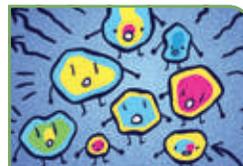
Lou Andrès
Océanographie et optique

p. 39

7 Les secrets d'une forêt aux pieds dans l'eau

p. 45

Nàina Mouras
Sciences de l'environnement



Présentation des autrices et des auteurs	p. 51
Et pour en savoir plus	p. 53
... sans oublier l'actualité du livre de science	p. 55
À vous de dessiner!	p. 62

Sous les pavés, la plage (étrusque)

1

Notre planète est recouverte aux trois quarts par l'océan. De nombreuses sociétés se sont ainsi épanouies sur les côtes, y profitant de nombreuses ressources et d'un accès vers le monde extérieur. C'est le cas des Étrusques, qui ont vécu dans le centre de la péninsule italienne entre les IX^e et I^{er} siècle avant notre ère. Fins connaisseurs de la Méditerranée, ils y navigaient pour commercer avec les autres civilisations.

Quelle relation entretenaient-ils avec la mer et le littoral? Comment géraient-ils le trafic maritime? Quelles formes prenaient leurs ports? Il n'est pas facile de répondre à ces questions, car les archéologues n'ont retrouvé aucun vestige de port étrusque. Ni quai, ni débarcadère ne subsiste. D'autres méthodes viennent alors à la rescousse...

Pour aller plus loin



Amber Goyon

QUI ÉTAIENT LES ÉTRUSQUES ?

Voilà les réponses qui reviennent le plus quand on questionne des passionnés d'histoire antique à leur sujet :

« Les Étrusques ?
Ils étaient très
religieux. »



« Savants
et raffinés! »

« Superstitieux... »



« Les
Romains
leur ont
tout
piqué! »



Des affirmations un peu caricaturales...

De fait, on ne connaît pas grand-chose du peuple étrusque, qui est progressivement assimilé par les Romains entre les III^e et I^{er} siècle avant J.-C.



Peu des textes écrits par les Étrusques sont parvenus jusqu'à nous, et leur langue n'a pas encore été entièrement déchiffrée.



Nous avons étudié leurs temples et leurs tombes qui ont résisté au temps, mais leur vie quotidienne nous reste en partie inconnue.



RAFFINÉS, LES ÉTRUSQUES ?

Si on avait posé la question à des voyageurs grecs du V^e siècle av. J.-C., on aurait entendu un tout autre son de cloche.



Ils auraient qualifié les Étrusques de...



Mais les auraient aussi traités de...



Et leur auraient reproché de façon virulente leur domination par les mers!



On attribue d'ailleurs à cette civilisation le qualificatif de

THALASSOCRATIE

mer

nouveau



C'est là que réside un des grands mystères étrusques : on a beau accumuler les preuves de leur utilisation des voies maritimes, impossible de retrouver leurs ports.



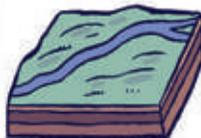
Port?

Ma thèse a pour but de résoudre une partie de l'énigme.



Pour cela, je fais appel à la géoarchéologie.

La démarche consiste à reconstruire les paysages dans lesquels vivaient les populations qui nous intéressent.



PLAINE

TRACE D'ACTIVITÉ HUMAINE

VILLE ANTIQUE



POURQUOI MENER CETTE ÉTUDE ?

Le territoire étrusque est habituellement séparé en douze cités. J'ai choisi de concentrer mon travail sur la ville de Populonia.

● Cité étrusque
■ Territoire étrusque en 750 av. J.-C.

Elle se situait sur le littoral, contrairement aux autres cités étrusques, et accueillait un centre dédié aux activités maritimes...



POPVLONIA

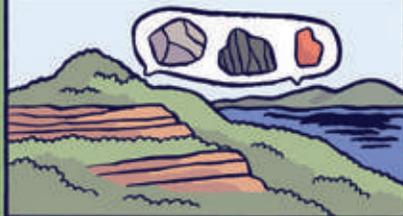
ELBE

CORSE

SARDAIGNE

... et elle se trouvait juste en face de l'île d'Elbe, de la Corse et de la Sardaigne (aujourd'hui), ce qui en faisait un carrefour d'échanges maritimes.

Les Étrusques extrayaient le fer, le plomb et le cuivre depuis les monts avoisinant Populonia, sur le continent, ou depuis l'île d'Elbe.



Ils transportaient ensuite ces métaux par bateau sur la côte pour les travailler et en faire des armes ou des bijoux, ou pour les vendre bruts.



La cité possédait donc forcément un ou plusieurs ports!



Ø LE PORT SE SITUAIT-IL ?

GOLFE DE BARATTI

1. Un golfe où étaient menées les activités métallurgiques.



Nécropoles



Acropole de Populonia

Deux emplacements probables ressortent de l'analyse.

PLAINE DE PIOMBINO

2. Une plaine où se trouvait une grande lagune reliée à la mer durant l'Antiquité.

Nous y avons donc prélevé des échantillons du sous-sol. On appelle ça un carottage.



Cela fait, je n'ai plus qu'à disséquer les carottes au laboratoire!



Je passe tout au peigne fin.

Taille des sédiments

Type de coquillages

Familles de pollens

Pollutions métalliques (plomb, cuivre, ou fer)?

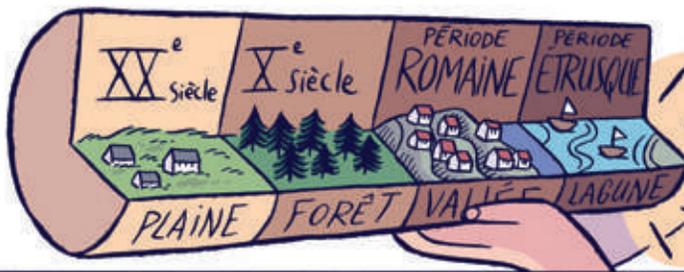
J'en profite aussi pour prélever des éléments organiques...

... afin de dater chaque couche au carbone 14.



ET DU
CŒUR ?

Je croise ensuite toutes ces données pour reconstruire une sorte d'échelle chronologique, où chaque environnement est associé à une période de temps.



Découvrir les traces d'un port serait magique!



Mais ne pas en trouver serait aussi un résultat utile!

Rien déso...

Cela pourrait signifier que le modèle du « port antique » ne s'applique pas aux Étrusques.

Grâce à mes recherches, les relations entre ce mystérieux port, la ville et ses habitants se dévoilent peu à peu...



Les origines mystérieuses de l'eau sur Terre

2

Ah, la Terre... Vue depuis l'espace, notre planète ressemble à un joyau bleu posé sur un écrin noir. L'omniprésence de l'eau liquide saute aux yeux. Pourtant, cette eau n'a pas toujours été là : il fut un temps où la Terre était une véritable fournaise. Alors, d'où provient-elle ? La réponse se niche peut-être du côté... des astéroïdes !



Ces petits corps rocheux n'ont que très peu évolué depuis la naissance du Système solaire ; ce sont donc de véritables machines à remonter le temps.

Par chance, en 2020, une sonde spatiale, *Hayabusa 2*, nous a rapporté quelques grains de poussière d'un de ces astéroïdes.

Ces grains microscopiques nous révéleront-ils les origines de l'eau sur notre Terre ?

Suivez-moi pour un voyage où l'infiniment grand côtoie l'infiniment petit...

Sylvain Laforet

Pour aller plus loin



Il y a environ 4,5 milliards d'années naissait le Système solaire, à partir d'un nuage de gaz et de poussières en rotation autour du jeune Soleil.

Au fil du temps, sous l'effet de la gravité...

... et de collisions multiples,

cette matière s'est peu à peu...

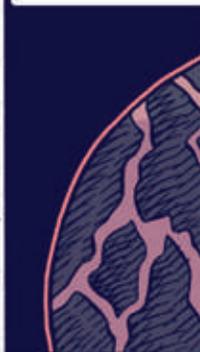
... agglomérée...

pour former différentes planètes...

... dont la Terre!

Les conditions régnant sur notre planète étaient alors infernales, et sa surface en fusion était bien trop chaude pour y abriter de l'eau à l'état liquide.

Peu à peu, la Terre s'est refroidie, et l'Océan s'est formé.



Mais d'où peut bien provenir toute cette eau ?



Une partie était probablement piégée à l'intérieur de la Terre et a été relâchée dans l'atmosphère au cours d'épisodes volcaniques anciens.



Et si le reste venait d'ailleurs ?



Des objets rocheux en orbite autour du Soleil détiennent peut-être la réponse :



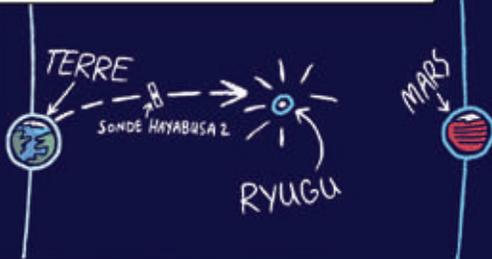
Ils n'ont jamais assez grossi pour devenir des planètes et sont restés relativement froids et intacts depuis leur formation.

LES ASTÉROÏDES



Ils sont donc détenteurs de précieux indices concernant la genèse du Système solaire et de la Terre !

En 2014, l'Agence spatiale japonaise (JAXA) a envoyé une sonde spatiale à destination de Ryugu, un astéroïde large d'un kilomètre seulement.



La sonde l'a étudié de près et a collecté des échantillons avant de repartir.



Fin 2020, quelques grammes de poussière ont été livrés sur Terre, et c'est avec joie...

... que nous avons reçu à l'université de Lille une petite partie de ce trésor!



Ici!

Vous ne voyez pas?

Là!

Mais si, là!

Quelques grains à peine visibles à l'œil nu.

C'est beau.

Pour manipuler ces grains d'astéroïde, pas question de se servir d'une pince.

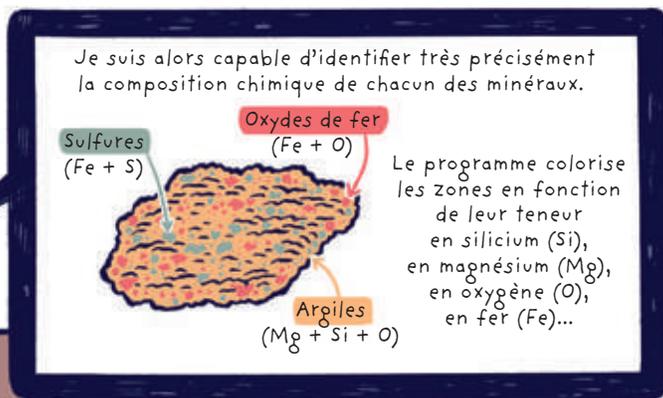
On utilise un poil de bras!

Tel un détective, je vais scruter cette matière céleste à la recherche du moindre indice! Et ce...

Et voilà! Les forces électrostatiques font adhérer les grains au poil...

... et on les déplace facilement sans risquer de les abîmer.





Parmi les minéraux de Ryugu, on trouve des **argiles** en grande quantité.



Elles apparaissent ici sous forme de fibres orientées dans toutes les directions.

Leur structure microscopique en feuillets superposés est bien connue pour accueillir beaucoup d'eau.



Or la Terre a subi de nombreux impacts d'astéroïdes dans ses jeunes années!



De l'eau pourrait donc y avoir été apportée par des objets tels que Ryugu. Ils auraient ainsi participé à la formation de l'Océan, et par la suite...



... à l'éclosion de la vie, il y a 3,4 milliards d'années.



Plus largement, mes recherches portent sur les interactions entre les différents minéraux présents dans Ryugu.



Nous en apprenons chaque jour un peu plus sur l'histoire de cet astéroïde, et donc sur le passé de notre planète...



Les échantillons de Ryugu nous réservent sûrement encore bien d'autres surprises!



Choc des titans en mer : baleines contre bateaux

3

Pêche, tourisme, transport de voyageurs et de marchandises, exploitation pétrolière... Nos activités en mer constituent une source de pollution importante, notamment sonore!

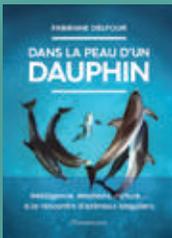
Or la survie des baleines dépend presque exclusivement de l'utilisation de sons que ce vacarme rend parfois inaudibles. En outre, paradoxalement, de nombreuses baleines ne réussissent pas à éviter les bateaux malgré le bruit qu'ils produisent.

C'est alors la collision entre deux géants des mers, animal contre machine. Collision qui blesse la baleine plus ou moins grièvement... L'augmentation continue du trafic maritime est donc très préoccupante pour la vie marine. Il est urgent de comprendre les causes des collisions et de trouver des solutions pour les éviter. C'est une de mes missions!



Loanne Pichot

Pour aller plus loin



Les navires font un sacré boucan dans l'air...



Or de nombreux navires sillonnent les océans!



Ils y perturbent la vie sous-marine et sont aussi à l'origine de collisions mortelles avec les cétacés.



... mais aussi sous l'eau.



Mon équipe et moi étudions la baleine à bosse, une espèce connue pour les chants majestueux qu'émettent les mâles lors de la période de reproduction.

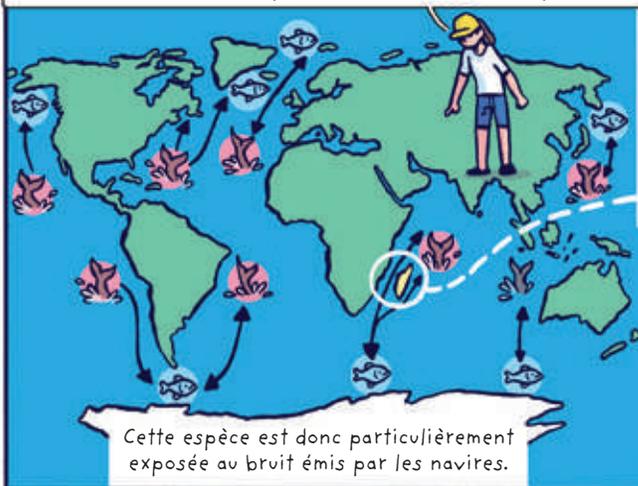


11 à 15 mètres de long

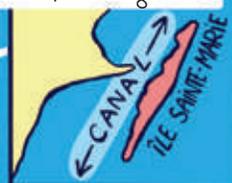
25 à 30 tonnes

Cette espèce protégée est l'une des plus touchées par les collisions avec les bateaux.

La baleine à bosse migre deux fois par an. Elle effectue des milliers de kilomètres pour aller se nourrir et se reproduire.



J'étudie la population qui fréquente le canal de Sainte-Marie, à Madagascar.



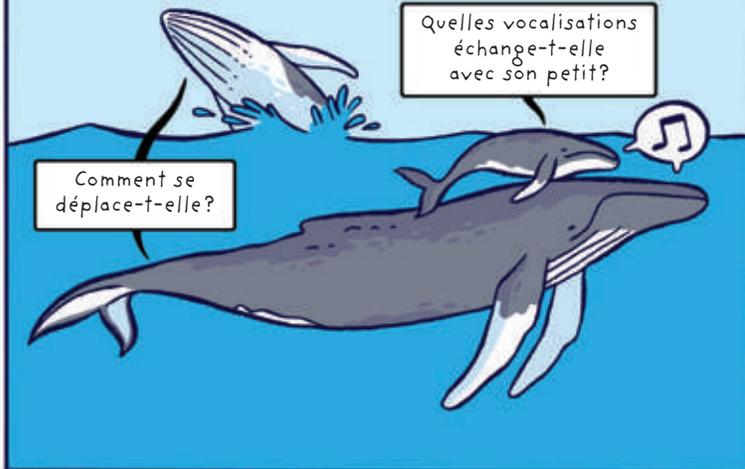
C'est l'une des zones de reproduction les plus importantes de la baleine à bosse dans l'océan Indien.



En premier lieu, nous allons y caractériser le comportement de la baleine en présence de baleineau.

Quelles vocalisations échange-t-elle avec son petit?

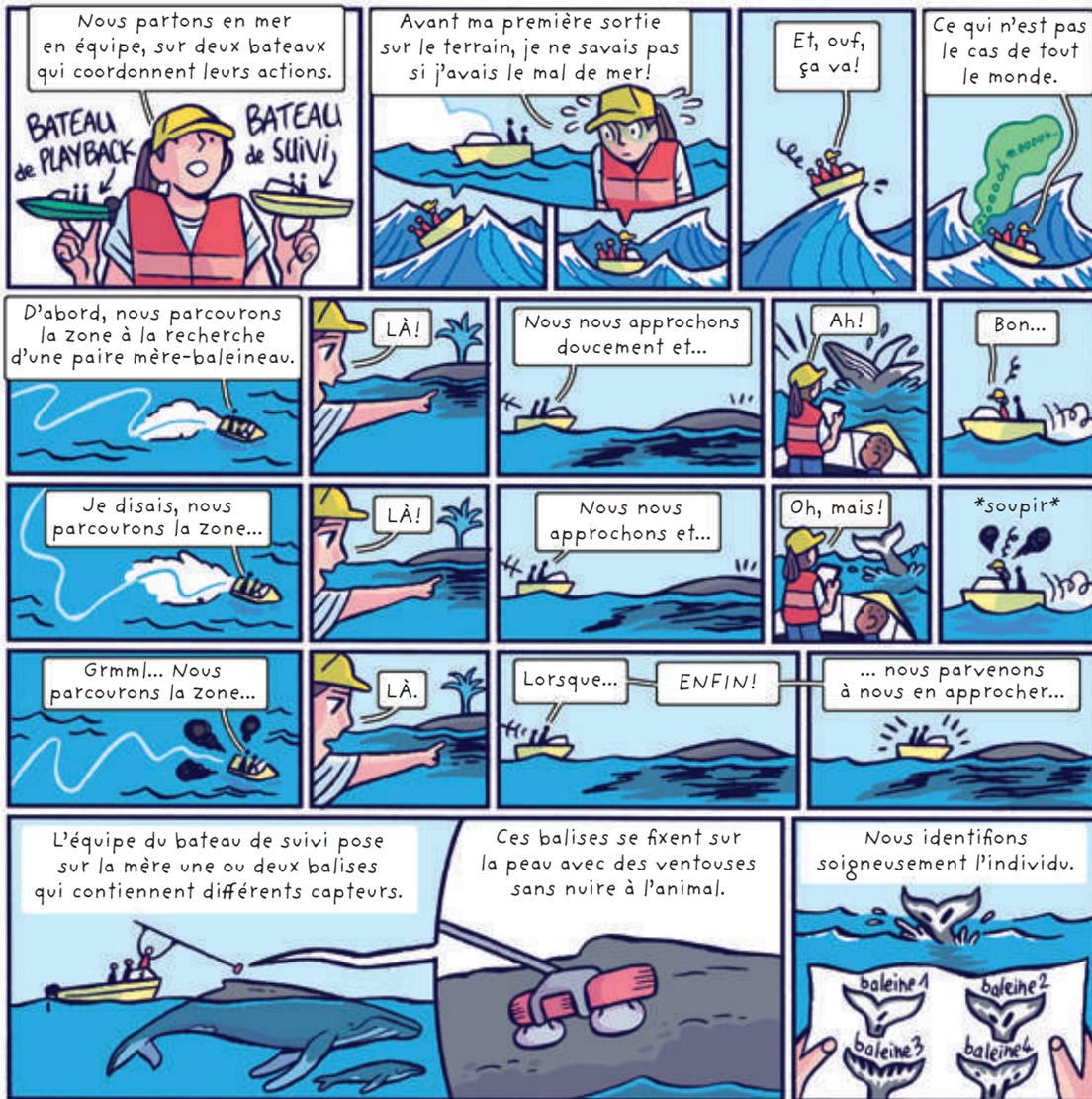
Comment se déplace-t-elle?



Puis nous chercherons à mesurer les modifications de comportement provoquées par certains sons.



* Expériences de diffusion de leurres acoustiques.



Une fois la balise posée, nous observons la baleine afin de noter son comportement « normal ».

Le bateau de playback reste à l'arrêt, moteur coupé.

Le bateau de suivi se tient prêt à suivre les baleines au besoin.



Ensuite, place au playback : nous diffusons du son sous l'eau. D'abord un bruit neutre pour la baleine.



Puis un signal d'intérêt – ici des vocalisations d'orques, prédatrices des baleines, pour étudier sa réaction face à une menace.



Nous testons également des bruits de moteur : ceux de cargos et de ferries, responsables de la majorité des collisions.

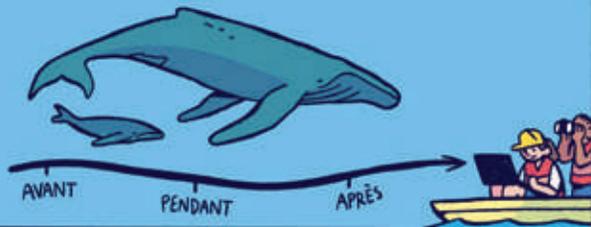


Enfin, nous testons l'efficacité de signaux d'avertissement.



L'objectif : voir si les baleines s'éloignent, et donc s'il est possible de les avertir d'un danger!

À la fin de la diffusion, nous observons la baleine encore quelque temps. Nous obtenons ainsi un relevé global de son comportement en surface.



Quant aux données sous-marines, il n'y a plus qu'à attendre que la balise se décroche pour les récupérer!



À la fin de l'hiver austral, les baleines repartent en Antarctique. Tout comme elles, je quitte Madagascar et rentre en France, où se trouve mon laboratoire de thèse.



Là-bas, j'écris des programmes sur mon ordinateur dans le but d'analyser les données recueillies.



Cette étape de dépouillement est primordiale et tout aussi stimulante que le terrain.



Si un signal fonctionne pour éloigner la baleine à bosse, il sera ensuite testé chez d'autres espèces.

Mon espoir : que l'on mette au point un dispositif sonore qui serait fixé à la coque des bateaux pour avertir les cétacés... sans ajouter au vacarme, bien sûr!



Les stations de ski se jettent à l'eau

4

À partir des années 1960, la pratique du ski se développe en France, et les stations de sports d'hiver fleurissent dans nos montagnes. Tandis que petits et grands s'initient aux plaisirs de la glisse, l'économie des territoires de montagne se structure autour du tourisme hivernal. Il y a cependant une ombre au tableau : à cause du changement climatique, la neige n'est souvent plus au rendez-vous. Que ce soit dans les Pyrénées, dans les Alpes ou ailleurs, l'industrie du ski a donc de plus en plus recours à la neige de culture, ce qui nécessite d'importants volumes d'eau.

Cette stratégie est-elle pérenne ? Ne risque-t-elle pas de créer des conflits avec les autres usages de l'eau ou de perturber les écosystèmes ? J'ai mené l'enquête...

Jonathan Cognard

Pour aller plus loin





Pour assurer la saison de ski, la majorité de ces prélèvements ont lieu en HIVER. Or, en montagne, il s'agit d'une période critique, où les cours d'eau sont au plus bas.

Au PRINTEMPS, la neige fond, et la majeure partie de l'eau prélevée retourne dans les cours d'eau, à une période où la ressource ne manque pas.



En outre, avec la montée des températures, les besoins des stations vont continuer à augmenter...



D'où des conflits potentiels avec les autres usagers de l'eau, dont les écosystèmes!



Les stations répondent à ces problèmes en construisant un nombre croissant de retenues d'eau. L'idée est simple :



il s'agit d'y stocker de l'eau lorsqu'elle est abondante, en prévision de l'hiver.

Mais ces stratégies mises en place par l'industrie du ski sont-elles vraiment efficaces?



Pour y répondre, j'ai réuni des données sur une soixantaine de stations des Alpes françaises, couvrant une période d'une décennie environ.

Recettes et dépenses des stations,

enneigement naturel,

volumes d'eau prélevés, etc.



Pour faire le lien entre ces données, j'ai exploité des logiciels de statistiques.

Et j'ai trouvé que les investissements dans la production de neige ne suffisent pas à sauver l'économie du ski. Le climat dicte sa loi!



De plus, paradoxalement, la mise en place de retenues d'eau ne réduit pas les prélèvements en hiver.

Ces résultats suggèrent que ces stratégies pourraient constituer une « maladaptation » au changement climatique.

En clair : elles augmentent la vulnérabilité des territoires face à ce dernier, au lieu de la réduire!



Une fois vidées, elles sont re-remplies...



À l'horizon : des conflits potentiels autour des usages de l'eau.

Pour évaluer ce risque, nous devons examiner chaque territoire, en tenant compte des spécificités locales.

J'ai donc développé, avec l'aide de mes collègues, une méthode d'évaluation originale que j'ai appliquée au cas de Gresse-en-Vercors.

Dans cette station comme ailleurs, il s'agit d'analyser un système à plusieurs éléments interconnectés.

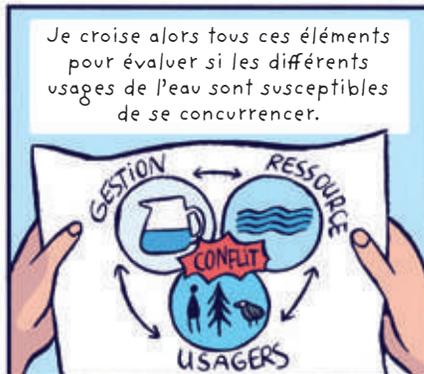
D'abord, on doit comprendre les besoins des usagers de l'eau.

Pour les humains, c'est assez facile : on s'entretient avec eux.

Pour les autres êtres vivants, c'est plus difficile !

Pas le choix, il faut...





De nouveaux héros face à la crise de l'eau ?

5

L'eau de nos douches et de nos toilettes est en général traitée avant d'être rejetée dans les cours d'eau. Mais, au niveau mondial, environ 80% de ces eaux usées ne sont pas traitées faute de moyens. Le résultat : des crises sanitaires frappent régulièrement les régions défavorisées. De plus, les écosystèmes aquatiques, dont dépendent souvent les populations locales, sont fortement perturbés. Il existe pourtant une solution : les « filtres plantés ».

Ces derniers, en combinant l'action de plantes, du sol et des micro-organismes, purifient les eaux presque gratuitement ! Ma thèse a pour but de les améliorer. Nous cherchons notamment à réduire leur taille, afin qu'ils soient adaptés à un usage en ville. Et pour cela, nous avons notre petite idée : y introduire des vers de terre...

Alexandre Lacou



Pour aller plus loin





L'eau parvient en bas nettoyée!

Les eaux usées contiennent des contaminants sous forme de **grosses** et de **petites** particules.

Une grande partie des particules qui s'accumulent est organique.

Cette matière représente un mets de choix pour divers organismes vivants, qui vont la transformer et réduire son volume, comme dans un composteur.



Le sable agit comme un filtre à café et retient les grosses particules à la surface.

Pour mémoire, la matière organique est essentiellement constituée de quatre éléments chimiques : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote.



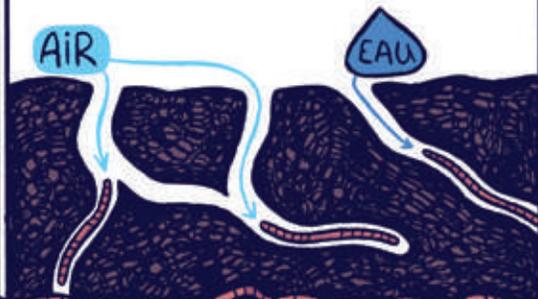
En somme, nous avons un filtre qui a la capacité de se nettoyer seul!



Afin de pallier ces deux problèmes, nous testons l'introduction de vers de terre dans le filtre.



En creusant des galeries, les vers débouchent le filtre.



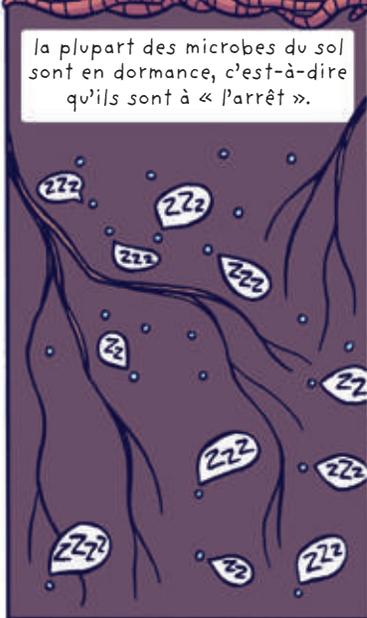
Ils content aussi un phénomène qu'on appelle le

Paradoxe de la Belle au bois dormant :

la plupart des microbes du sol sont en dormance, c'est-à-dire qu'ils sont à « l'arrêt ».

Or les vers sécrètent un mucus riche en éléments nutritifs qui, combiné à l'oxygène de l'air, stimule les microbes.

Ces derniers, tels la Belle ayant reçu un baiser du Prince charmant, s'activent donc à leur passage !



On espère ainsi que la présence des vers accélère le compostage et la dégradation des petits contaminants dissous dans l'eau.





J'y teste différentes conditions expérimentales :



En parallèle, je mesure combien de temps l'eau reste à l'intérieur.

Cela m'aide à comprendre comment les galeries creusées par les vers modifient l'écoulement de l'eau.



Enfin, je regarde comment évolue la vie dans le filtre : je surveille les racines des plantes et les animaux du sol grâce à des photos...



Les premiers résultats sont encourageants. Grâce à l'activité des vers, les filtres ne se bouchent plus, tout en nettoyant l'eau aussi bien qu'avant.



Cinquante nuances de bleu : 6 la vie cachée du phytoplancton

L'océan stocke 30% des émissions de dioxyde de carbone (CO_2) dues aux activités humaines. En piégeant ce gaz à effet de serre, il joue un rôle clé dans la régulation du climat. Or les mécanismes de ce stockage dépendent de l'activité d'algues microscopiques qui constituent ce qu'on appelle le « phytoplancton ». Celles-ci sont également responsables... de la couleur de l'eau! La couleur de l'océan est donc une information cruciale pour les scientifiques. Une flottille de robots bardés de capteurs, déployée depuis les années 2010, est déjà capable de mesurer cette couleur.

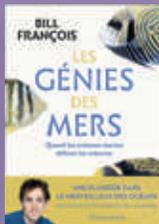
Mon rôle dans tout cela? Aider à mettre en place une nouvelle génération de capteurs qui distingueront un plus grand nombre de nuances! Ils nous révéleront les secrets du phytoplancton et nous renseigneront ainsi sur le potentiel

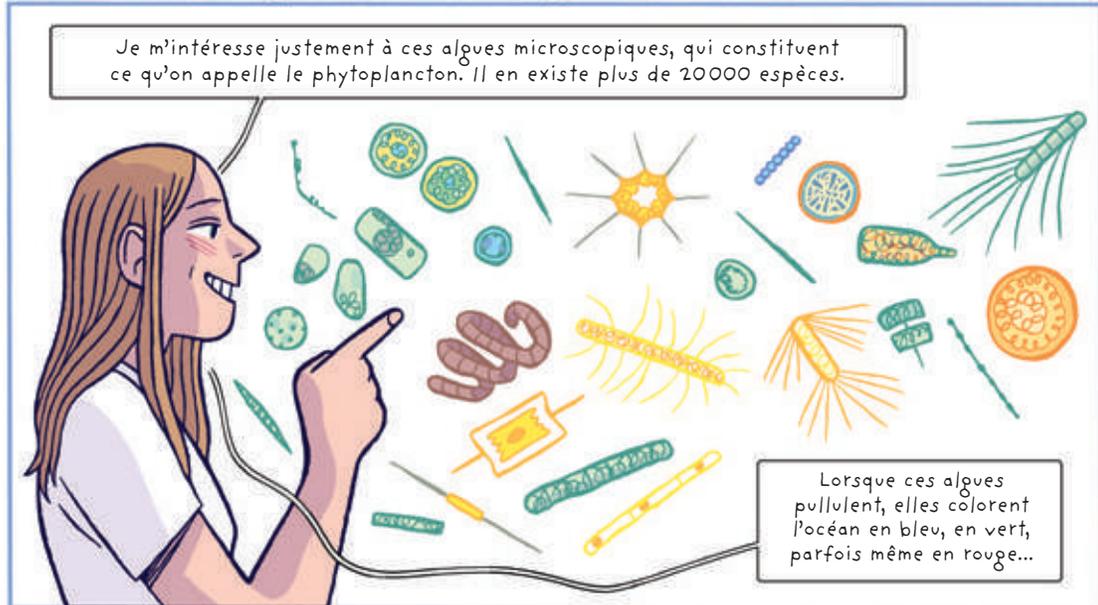
de l'océan à stocker du CO_2 - et donc sur le futur de notre planète...

Lou Andrès



Pour aller plus loin

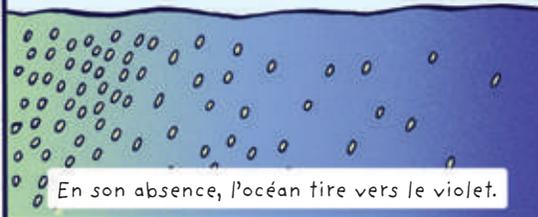




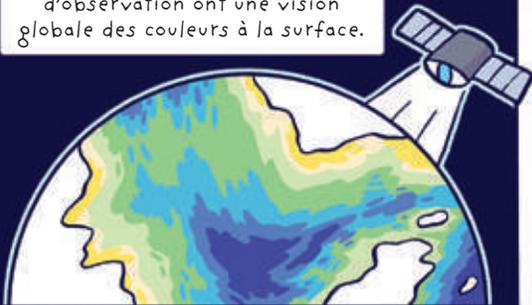
Le phytoplancton est l'un des rouages essentiels d'un cycle appelé « pompe biologique à carbone », dont le bon fonctionnement est crucial pour le climat.



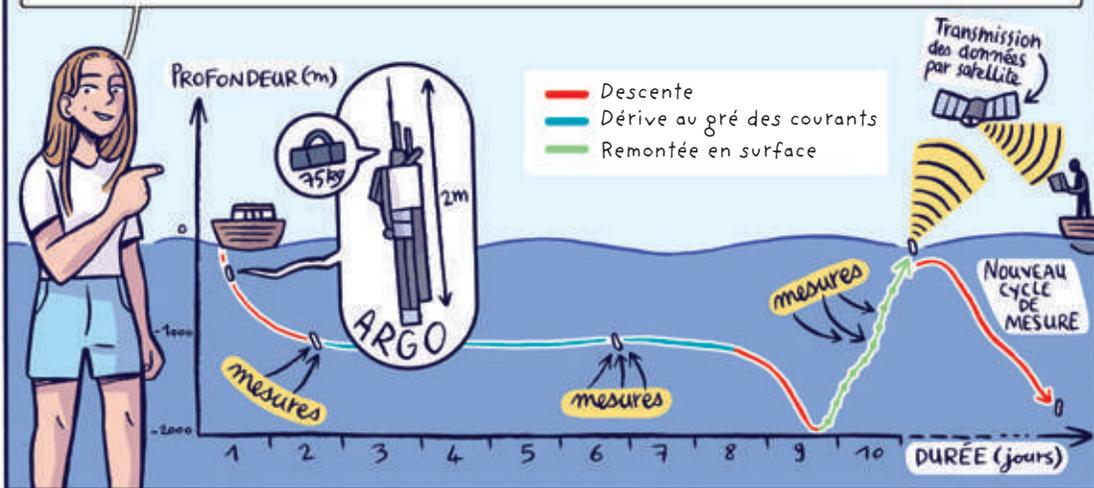
Comment évaluer l'abondance du phytoplancton dans l'océan? Une solution : observer la couleur de l'eau!



Depuis l'espace, les satellites d'observation ont une vision globale des couleurs à la surface.



C'est une des nombreuses missions du projet international Argo. Lancé en 2000, ce projet a déployé dans les océans un réseau de plus de 4 000 robots autonomes bardés de capteurs. Chaque robot enchaîne les cycles de mesure sous l'eau en évoluant à différentes profondeurs.



Les robots Argo mesurent tous la température et la salinité de l'eau...



... mais certains, les BGC-Argo, embarquent aussi des radiomètres! Ces capteurs analysent la composition de la lumière ambiante.

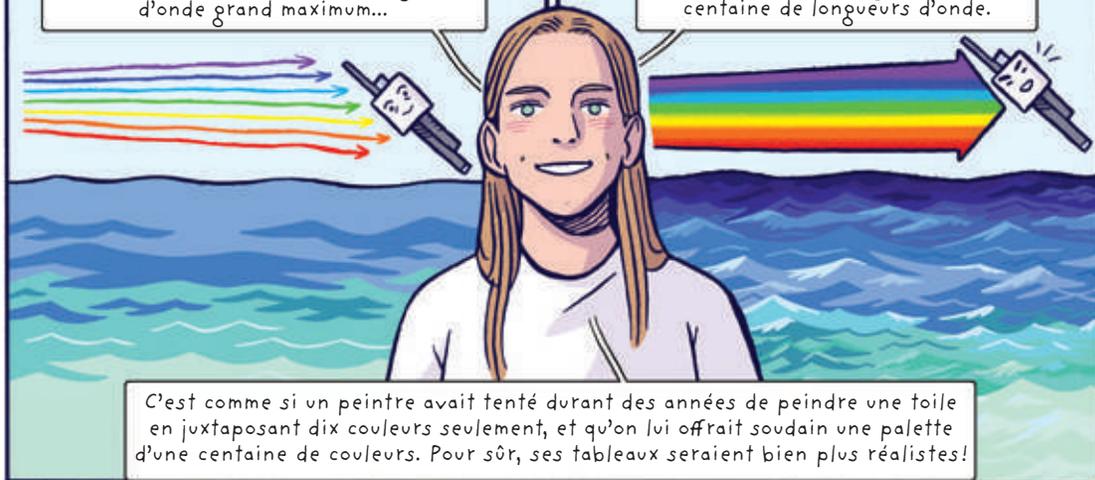


La lumière est en effet un mélange de radiations de différentes longueurs d'onde.



Jusqu'à présent, les robots embarquaient des radiomètres mesurant l'intensité de la lumière sur une dizaine de longueurs d'onde grand maximum...

... mais, depuis peu, ils sont équipés de radiomètres dits hyperspectraux : l'information est enregistrée sur une centaine de longueurs d'onde.



C'est comme si un peintre avait tenté durant des années de peindre une toile en juxtaposant dix couleurs seulement, et qu'on lui offrait soudain une palette d'une centaine de couleurs. Pour sûr, ses tableaux seraient bien plus réalistes!

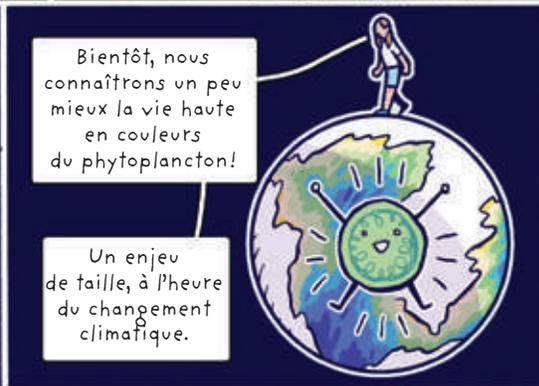
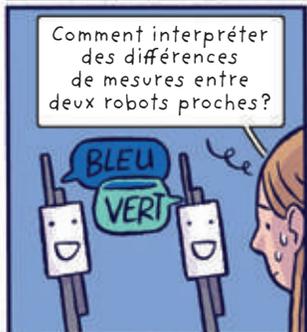
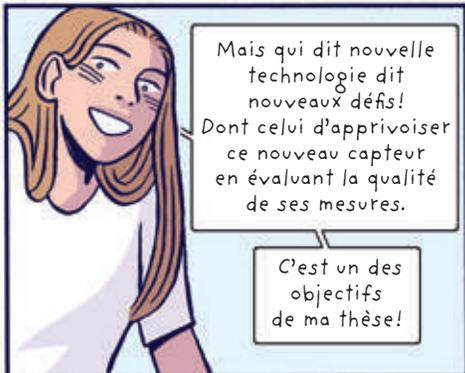
Le monde de la recherche océanographique est très enthousiaste, car les nouvelles données récoltées sont prometteuses.

Les changements de couleur relevés sous l'eau signalent la profondeur à laquelle se trouve le phytoplancton.

Et les mesures peuvent désormais être comparées aux observations de surface des satellites, et les compléter.



À l'avenir, on espère ainsi récolter des informations en 3D, à l'échelle mondiale, sur la présence du phytoplancton, et même sur les espèces concernées.



Les secrets d'une forêt aux pieds dans l'eau

7

Connaissez-vous les mangroves? Dans les régions tropicales et subtropicales, trois quarts environ des littoraux sont bordés de ces forêts. On y trouve des arbres sur échasses, les palétuviers, dont les racines font le pont entre terre et mer. Les mangroves sont essentielles à l'équilibre des côtes. Elles forment un rempart qui les protège contre cyclones et tsunamis; de nombreuses espèces y trouvent gîte et couvert et s'en servent de nurserie; elles stockent en outre une grande quantité de carbone.

Naina Mouras

Hélas, les mangroves sont menacées par l'activité humaine et par les changements climatiques. C'est pourquoi il est impératif de les étudier pour mieux les protéger! Si les scientifiques s'y attellent depuis plusieurs décennies, les mangroves conservent encore certains mystères... Grâce à ma thèse, je compte bien en dissiper quelques-uns.

Pour aller plus loin



Bienvenue en Nouvelle-Calédonie!



Et plus particulièrement sur l'atoll d'Ouvéa...



... et la presqu'île de Bouraké, où se concentre mon travail.

Des mangroves y prospèrent à la frontière entre la terre et la mer, connectées par un unique chenal au lagon.

Les racines entrelacées des arbres fournissent un refuge pour les jeunes poissons.

Différentes espèces de palétuviers croissent sur des sols pauvres en oxygène.



Le lagon, une étendue d'eau peu profonde, est séparé de l'océan par une barrière naturelle de corail.

CHENAL

LAGON

MANGROVE

PLAGE

BARRIÈRE DE CORAIL

Océan

LAGON

Océan

L'eau pénètre dans la zone à marée montante...



... et en ressort à marée descendante.





La mangrove est une véritable « usine verte » qui fournit de l'énergie à toute la vie qui l'entoure.

En effet, les feuilles et les branches mortes des palétuviers (constituées par ce qu'on appelle la « matière organique »)...

... tombent...

... au pied des arbres et s'y entassent pour former une litière.

Elles y sont progressivement fragmentées et dégradées.

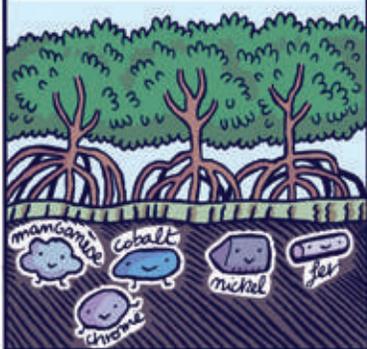
Une partie de la matière organique formant la litière va s'accumuler dans le sol.

Une autre partie sera emportée vers le lagon par la marée, lorsque la mer se retire.



La dégradation de la litière des mangroves fournit ainsi des nutriments qui sont à la base de la chaîne alimentaire pour la faune et la flore du littoral.

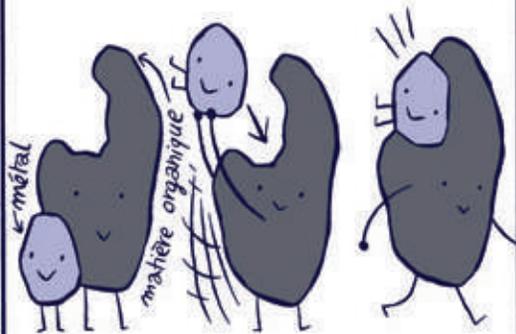
D'autre part, les sols des mangroves agissent comme des pièges naturels pour des métaux présents en faible concentration dans l'environnement.



Une partie de ces métaux, dont certains sont indispensables à la vie, est également transportée vers le lagon avec la marée.



Le secret de ce transport réside dans un mécanisme d'« alliance » avec la matière organique dissoute présente dans le sol de la mangrove et dans l'eau de mer. C'est le phénomène de complexation.



Bien que ce transport de métaux soit crucial pour la santé des écosystèmes du lagon, il est encore peu étudié.

Pour décrypter les mécanismes d'« alliance » entre matière organique dissoute et métaux, il faut connaître la composition de cette matière.

C'est pourquoi je pars récolter des échantillons sur le terrain.

Mais pas si vite!



Une lacune que je vais tenter de combler!



Toute mission requiert une préparation minutieuse. Car se rendre sur place n'est pas facile.



Accord des populations locales

Nous devons marcher près
d'une heure sur la plage.



GUIDE LOCAL ↗

Traverser
le chenal qui
communique
avec le lagon.



Puis nous frayer
un chemin entre les
racines de palétuviers.



Avec de l'eau
qui arrive parfois
jusqu'aux genoux...

... ou
jusqu'à
la taille!

Le tout bien
protégés contre
le soleil et
les moustiques...



Mieux vaut n'avoir
rien oublié!

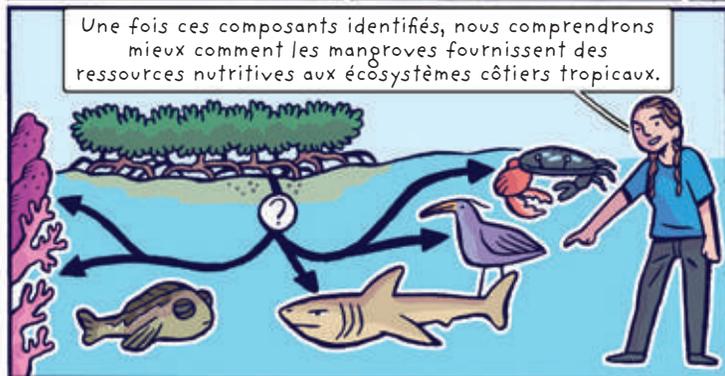


Une fois sur le terrain, avec
mon équipe, nous effectuons des
carottages dans le sol en notant
soigneusement l'endroit
de prélèvement.



Nous prélevons de l'eau
à différentes profondeurs
dans la carotte, ainsi que
de l'eau de mer.





Présentation des autrices et des auteurs

p. 9



Amber Goyon

Comme tous les enfants de ma génération qui se sont imprégnés des récits proposés par les franchises *Indiana Jones* et *Tomb Raider*, j'ai longtemps cru que les archéologues étaient des aventuriers qui chassaient les trésors du passé d'un continent à l'autre. En grandissant, je me suis rendu compte qu'archéologue était un vrai métier, avec des méthodologies scientifiques précises, et j'ai décidé d'en faire le mien !

Thèse : **Reconstruire l'interface entre terre et mer de la cité étrusque de Populonia (Toscane, Italie) au 1^{er} millénaire av. J.-C.** Étude géoarchéologique par les archives historiques et paléoenvironnementales.

Laboratoires EVS UMR 5600 – HiSoMA UMR 5189, Université Lumière Lyon 2.

p. 15



Sylvain Laforet

C'est au lycée que j'ai été pris de passion pour l'espace, et plus généralement pour la physique-chimie. J'ai donc poursuivi mon parcours en intégrant une école d'ingénieur (ENSMAC), puis en réalisant un doctorat. Grâce à la thèse que je mène actuellement, j'ai la chance de travailler sur un sujet fascinant. À l'occasion, j'ai également découvert une nouvelle passion : celle du partage de connaissances scientifiques.

Thèse : **Altération spatiale de l'astéroïde Ryugu : modifications morphologiques, chimiques et structurales à la nano-échelle.**

Unité Matériaux et Transformations (UMET), Université de Lille.

p. 21



Loanne Pichot

J'ai longtemps voulu être vétérinaire, car je pensais que c'était la seule manière de contribuer au bien-être des animaux. Puis j'ai découvert le monde de la recherche, ce qui m'a menée à être aujourd'hui chercheuse en bioacoustique. En améliorant nos connaissances sur la communication des animaux et en étudiant l'impact du bruit que nous produisons sur ces derniers, je contribue à les protéger !

Thèse : **Quantification des effets perturbateurs du trafic maritime sur la baleine à bosse et développement de méthodes de réduction d'impacts.**

UMR Acoustique environnementale, Université Gustave Eiffel – Cerema.

p. 27



4

Jonathan Cognard

Doctorant en économie écologique, j'explore les problématiques liées à l'exploitation de l'eau en montagne, en particulier pour la production de neige dans les stations de ski. Les territoires de montagne et leurs écosystèmes me tiennent à cœur, alors je les inclus le plus possible dans mes travaux!

Thèse : Production de neige et conflits d'usages de l'eau dans les systèmes socio-écologiques de montagne.

Laboratoire des écosystèmes et sociétés en montagne (LESSEM) de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) et Université Grenoble Alpes.

p. 33



5

Alexandre Lacou

Les crises écologiques en cours sont d'une ampleur inouïe. Face à ce constat terrible, je me suis engagé dans la recherche pour mettre au point des solutions fondées sur la nature. Le vivant s'adapte et innove depuis des milliards d'années : quelle meilleure source d'inspiration pour répondre aux enjeux actuels?

Thèse : Biomimétisme pour la REUSE des eaux usées traitées par filtres plantés : optimisation de la qualité du biofilm par mobilisation de la biodiversité macro-faunique.

Centre de recherche sur la biodiversité et l'environnement (CRBE - UMR 5300) et Laboratoire de Génie chimique (LGC - UMR 5503), Université Toulouse III - Paul Sabatier.

p. 39



6

Lou Andrès

Je suis née et j'ai grandi à Toulon, entourée d'amoureux de la mer. Au fil des ans, à force d'observer les posidonies mourir et les plages se rétrécir, j'ai eu un déclic : l'océan évolue! J'ai donc choisi d'étudier l'océanographie pour comprendre l'impact du changement climatique sur l'océan et trouver des solutions appropriées pour le préserver.

Thèse : Mesures radiométriques hyperspectrales par flotteurs profileurs : calibration-validation de données satellites et nouveaux produits biogéochimiques.

Laboratoire d'océanographie de Villefranche (LOV), ACRI-ST, Sorbonne Université.

p. 45



7

Naina Mouras

Comme Vaiana, l'héroïne du film éponyme de Disney, je viens d'une île du Pacifique avec un somptueux lagon. L'étudier pour mieux le comprendre et le préserver, c'est mon projet! D'abord spécialisée en sciences de l'environnement marin, j'ai choisi de me concentrer sur les écosystèmes côtiers tropicaux.

Thèse : Transfert du carbone et des éléments-traces métalliques des sols de mangroves vers les systèmes récifo-lagonaires.

Institut de sciences exactes et appliquées (ISEA) de l'Université de la Nouvelle-Calédonie et de l'unité de recherche Lagons, écosystèmes et aquaculture durable en Nouvelle-Calédonie (LEAD NC) de l'Ifremer.

Et pour en savoir plus (en rose, les titres jeunesse)

1

Sous les pavés, la plage (étrusque)

Boccaletti, G., *H₂O. La fascinante histoire de l'eau et des civilisations de l'Antiquité à nos jours*, FYP éditions, 2021

Merle, J., *L'océan gouverne-t-il le climat ?* IRD Éditions, 2009

Coutansais, C. P. & Crozet, G., *La mer. Une infographie*, CNRS Éditions, 2023

Rabah-Konaté, M., *Le Nil, fleuve des pharaons*, Les Éditions du Ricochet, 2024

2

Les origines mystérieuses de l'eau sur Terre

Kieken, J., *L'eau dans l'Univers*, CNRS Éditions, 2023

Royer, P. & de Panafieu, J.-B., *La fabuleuse histoire de l'Océan*, Dunod, 2024

Houssais, E., *Avant moi*, Les Éditions du Ricochet, 2017

3

Choc des titans en mer : baleines contre bateaux

Delfour, F., *Dans la peau d'un dauphin*, Flammarion, 2023

Gascuel, D., *La pêchécologie. Manifeste pour une pêche vraiment durable*, Éditions Quæ, 2023

Le Bloas-Julienne, R., *Animaux des mers et des océans*, Éditions Milan, 2011

4

Les stations de ski se jettent à l'eau

Descollonges, C., *Fake or not. L'eau*, Tana Éditions, 2023

Francou, B. & Vincent, C., *Les glaciers à l'épreuve du climat*, IRD Éditions, 2007

Lefèvre, D. & Andreassian, V., *L'eau en péril ?*, Éditions Quœ, 2016

Lucchese, V., *Une France sans eau. La face cachée de la disparition de l'eau*, Éditions Alisio, 2024

5

De nouveaux héros face à la crise de l'eau

Paulus, A., *Le filtre planté de roseaux. Le versant vert de l'épuration des eaux usées*, Rouergue, 2011

Weissenbach, J., *Dépolluer la planète*, CNRS Éditions, 2019

Dumont-Le Cornec, E., *L'Odyssée des rivières. Un écosystème aquatique*, Les Éditions du Ricochet, 2019

6

Cinquante nuances de bleu : la vie cachée du phytoplancton

François, B., *Les génies des mers*, Flammarion, 2023

Sardet, C., *Plancton. Aux origines du vivant*, Ulmer, 2022

Bopp, L. & Dutertre, C., *Les dessous de l'océan*, Le Pommier, 2012

7

Les secrets d'une forêt aux pieds dans l'eau

Payri, C. (dir.), *Nouvelle-Calédonie. Archipel de corail*, IRD Éditions/Solaris, 2018

Barnabé, G., *Les super-pouvoirs de l'océan. Les solutions au changement climatique*, EDP sciences, 2024

Hédouin, L. (dir.), *Étonnants récifs. Les écosystèmes coralliens*, CNRS Éditions, 2021

Skowrońska, A., *L'eau*, Albin Michel Jeunesse, 2022

... sans oublier l'actualité du livre de science

Grand public



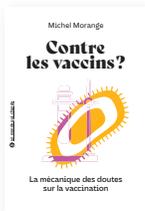
Albin Michel

Christophe Clanet,
Caroline Cohen,
Marc Fermigier,
David Quéré,
Physique olympique



Albin Michel

Julien Bobroff,
La physique de l'extrême



Belin Éducation

Michel Morange,
Contre les vaccins ?
La mécanique des doutes
sur la vaccination



BRGM Éditions

Hervé Cubizolle,
Pierre Habig,
Bernard Guy,
Curiosités géologiques
du bassin de Saint-
Étienne et du Pilat

BRGM Éditions

Pierrick Graviou,
Odile Guérin,
Curiosités géologiques
de la Côte de Granit Rose,
du Trégor et du Goëlo



CNRS Éditions

Claire Marc, Agathe Euzen,
Tout comprendre
(ou presque) sur l'eau

Grand public



CNRS Éditions

Jean-Marie Tarascon,
*Une chimie pour
l'environnement*



Dunod

Laurent Schafer,
*Cosmix. Du Big Bang
à l'Homme*



De Boeck

Damien Marage,
Guy Lempérière,
*La belle histoire des
merveilles de la nature*



Dunod

Silvana Condemi,
Jean-François Mondot,
*Néandertal à la plage.
Nos frères disparus
dans un transat*



De Boeck

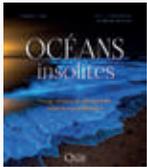
Alain Riazuelo,
*Les 100 plus belles photos
de l'Univers par
le télescope James Webb*



Éditions Quæ

Philippe Hinsinger,
La vie cachée des sols

Grand public



Éditions Quæ

Catherine Vadon,
Michel Olagnon,
Océans insolites.
*Voyage au cœur
de phénomènes naturels
extraordinaires*



Éditions du Seuil

Michel Broué,
*Pour voir clair. Zigzags
entre les mathématiques,
l'art, la politique et la vie*



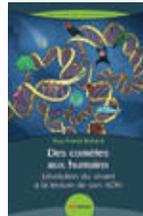
Éditions du Seuil

Jean-Gabriel Ganascia,
*L'IA. expliquée
aux humains*



EDP Sciences

Vincent Bugeat,
*Astronomie : changez
de perspective !*
Questions de point de vue



EDP Sciences

Richard Guy-Franck,
Des comètes aux humains



IRD Éditions

Joana Cabral de Oliveira
et al.,
*Voix végétales. Diversité,
résistances et histoires
de la forêt*

Grand public



Les Éditions Buchet-Chastel

Jeremy Rifkin,
Planète Aqua



Rue de Sèvres

Bruno David,
Simon Hureau,
Le vivant à vif



Stelvision

Bertrand d'Armagnac,
Carine Souplet,
*Découvrir le ciel
à l'œil nu*

Jeunesse



EDP Sciences

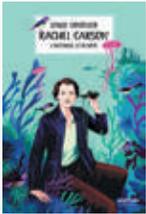
Isabelle Mirebeau,
José Teixeira,
Claudia Decorse,
Aurélie Bordenave (ill.),
Enquête d'Eau.
*Une aventure au cœur
du cycle de l'eau*



Gallimard Jeunesse

Collectif,
*Chronologies visuelles
des sciences.*
*De la maîtrise du feu
à l'intelligence artificielle*

Jeunesse



L'École des Loisirs

Sylvie Dodeller,
Rachel Carson,
lanceuse d'alerte



Les Éditions du Ricochet

Fleur Daugey, Emilie
Vanvolsem (ill.),
Au royaume des abeilles.
Apidologie



Les Éditions du Ricochet

Florence Pinaud,
Emilie Vanvolsem (ill.),
Adieu vieilles peaux.
La mue des animaux



Saltimbanque Éditions

Rémi Kowalski,
Tonia Composto (ill.),
Tout sur le cœur



Saltimbanque Éditions

Lucas Riera,
Ángel Svoboda (ill.),
Nocturnes.
La Terre et ses créatures
lorsqu'il fait nuit

Le prix Le Goût des sciences



Créé en 2009 par le ministère en charge de l'Enseignement supérieur et de la Recherche, Le Goût des sciences est un prix littéraire scientifique décerné par un jury interdisciplinaire. Son objectif : rendre accessible la science au grand public en valorisant les travaux de la communauté scientifique. Le prix met à l'honneur le livre scientifique pour tous, la science devenant ainsi un élément de la culture générale contemporaine.

Les lauréats de la 15^e édition

Prix du livre scientifique



*S'il te plaît,
dessine-moi un cachalot*

Pome Bernos
et François Sarano
Actes Sud,
2023

Prix du livre scientifique jeunesse



*Le grand livre
des animaux de l'extrême*

Sophie Blitman,
Juliette Ravaux
et Claire Martha
Éditions de La Martinière,
2022

Présentation du groupe Sciences pour tous

Depuis 2004, au sein du SNE, les éditeurs de « Sciences pour tous » se sont donné pour mission de mettre en valeur les livres qui répondent aux questions de chacun en matière de culture et de découvertes scientifiques. Leur objectif est d'aider le grand public ainsi que les professionnels du livre – bibliothécaires et libraires – non seulement à mieux connaître les ouvrages de sciences, mais surtout à se familiariser avec le monde des sciences, qu'ils essaient de rendre accessible à chacun, adulte ou enfant. Christian Counillon préside le groupe Sciences pour tous.

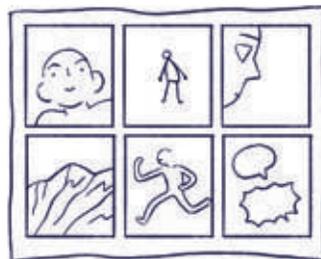
Sciences pour tous organise un Festival du livre de science au musée des Arts et Métiers, dans le cadre du Festival du livre de Paris. Le groupe s'attache également à développer le site **www.sciencespourtous.org**, dont le catalogue présente une sélection d'ouvrages de pas moins de 2000 titres pour la jeunesse et les adultes ! Il a lancé un projet de kiosques en centres et musées de sciences, puis en bibliothèques, créé deux catalogues, l'un de 900 titres pour un rayon de base en librairie, puis un autre, « Les 200 incontournables de Sciences pour tous ». Il a également travaillé à la nationalisation du prix Sciences pour tous, qui sollicite des collégiens et des lycéens pour attribuer tous les ans un prix au meilleur titre sur un thème donné. Enfin, il a lancé à l'automne 2016 un label « Sciences pour tous » , qui est dorénavant accolé à chaque titre choisi pour faire partie du site **[sciencespourtous.org](http://www.sciencespourtous.org)** dans le Fichier exhaustif du livre (FEL).

Présentation du Syndicat national de l'édition (www.sne.fr)

Le Syndicat national de l'édition (SNE) est l'organe professionnel représentatif des éditeurs français. Avec plus de 700 adhérents, il défend la liberté de publier, le droit d'auteur, le prix unique du livre, la diversité culturelle et l'idée que l'action collective permet de construire l'avenir de l'édition. Il contribue à la promotion du livre et de la lecture. Il est présidé par Vincent Montagne et dirigé par Renaud Lefebvre.

De l'art de mettre la science en bulles À vous de dessiner!

Afin d'accompagner et de prolonger votre lecture, Héroïse Chochois a conçu, en collaboration avec les équipes de la Cité internationale de la bande dessinée et de l'image, un kit d'activités pour s'initier à l'art de la bande dessinée scientifique. Inspiré des planches de cet ouvrage, ce kit s'adresse à tous les publics.



Vous ne savez pas dessiner ? Pas de panique, nous avons pensé à tout. Pour se lancer il suffit d'avoir des ciseaux, de la colle, des crayons de couleur, une gomme... et un peu d'imagination!



Disponible gratuitement en téléchargement sur le site de la Fête de la science, le kit se décline autour de trois activités pour les petits et les plus grands.





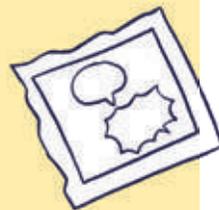
Atelier coloriage « Dessine-moi une baleine »

(à partir de 3 ans)

Avis aux coloristes en herbe, la couleur raconte aussi une histoire. Le langage des couleurs est un art à part entière, souvent invisible, il est pourtant celui que l'on voit en tout premier en feuilletant un album.

Atelier strip « L'eau en bulles » (à partir de 7 ans)

Mais qui a mélangé toutes les cases ? Votre mission : les remettre dans le bon ordre pour découvrir une expérience scientifique, aquatique et pétillante ! Une fois le sens de l'histoire retrouvé, il ne reste plus qu'à la coloriser.



Atelier scénariste de BD de science « Ma planche en 6 cases »

(à partir de 9 ans)

Laissez votre inspiration vous emporter... À partir de cases pré-dessinées, inspirées des sept thèses illustrées de l'ouvrage, imaginez votre propre « expérience » et révélez votre potentiel de scénariste de BD scientifique !

En partenariat avec **la cito** internationale
de la bande dessinée
et de l'image

Téléchargez le kit



Remerciements

Que soient ici remerciés les universités et les écoles, notamment leurs services de communication et des relations entre science et société qui accompagnent les doctorants dans leur travail de mise en récit de leur thèse, ainsi que les laboratoires de recherche dans lesquels ils réalisent leur thèse. Nous remercions également Laurence Bordenave, fondatrice du collectif Stimuli, pour son apport à cette édition dans le cadre de la formation délivrée aux doctorants.

Ont contribué à la réalisation de l'édition 2024 du Sciences en bulles : par ordre alphabétique

Association Art + Université + Culture : **Jérémy Querenet**

CASDEN Banque Populaire : **Philippe Comes** et **Renaud Mimin**

France Universités : **Marine Lopes**

Ministère de la Culture : **Gaëlle de Naurois**

Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche : **Olivier Marco, Charlotte Pallud**
et **Amélie Zanetti**

SNE : **Christian Counillon, Clémentine Guinebert** et **Florence Martin Ropital**

Et pour chaque doctorante et doctorant, par ordre de citation

Amber Goyon encadrée par Jillian Akharraz et Sarah Necib : Université Lumière Lyon 2

Sylvain Laforet encadré par Camille De Visscher et Aline Freminet : Université de Lille

Loanne Pichot encadrée par Soizick de Bagneaux et Claire Garraud : Université Gustave Eiffel

Jonathan Cognard encadré par Sandy Aupetit : Université Grenoble Alpes

Alexandre Lacou encadré par Valentin Euvrard : Université Toulouse III – Paul Sabatier

Lou Andrès encadrée par Virginie Thibaud : Sorbonne Université

Naïna Mouras encadrée par Nicolas Pachot : Université de Nouvelle-Calédonie



PEFC/10-31-1510



Imprimé en France par l'imprimerie Corlet.

N° d'impression : 24060658

Dépôt légal : octobre 2024.

L'eau dans tous ses états

À la fois ressource, milieu et élément vital, l'eau est au cœur de nombreux enjeux auxquels l'humanité est confrontée aujourd'hui. D'où vient l'eau qui coule sur notre planète ? Que nous racontent les mille et une nuances de couleur de l'océan ? Quels liens tissons-nous depuis des siècles avec le littoral ? Comment réduire l'impact de nos activités en mer ? Quels services nous rendent les zones humides ? Nos différents usages de l'eau sont-ils soutenables face au changement climatique ? Et quelles solutions la nature nous souffle-t-elle pour mieux traiter nos eaux usées ?

Sept jeunes chercheuses et chercheurs vous invitent à découvrir leurs sujets de thèse en BD ! Alors, prenez palmes, masque et tuba, et jetez-vous à l'eau pour une aventure qui vous transportera des côtes italiennes jusqu'aux mangroves de Nouvelle-Calédonie, après un détour par les pentes enneigées du Vercors...

