

# ÉCHOS D'ESCALE

LA MALLE À SOUVENIRS DE TARA

LIEU—  
DE L'ESCALE

TYPE—  
AGE

L'OBJET—  
DE L'ESCALE

LA PROBLÉMATIQUE—  
DE L'ESCALE

LES THÉMATIQUES—  
DE L'ESCALE

MOTS—  
CLÉS

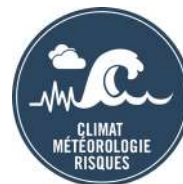
*EN MER*

**PROFESSEUR**

LYCEE

PLANKTON

**En quoi les méthodes d'étude des scientifiques de l'expédition de Tara se complètent-elles pour caractériser le microbiome océanique et comprendre son évolution ?**



MICROBIOME - ADN - GÉNOME - SÉQUENÇAGE -  
RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE -

Fondation  
**taraocéan**  
explorer et partager  
[taraexpeditions.org](http://taraexpeditions.org)



**Problématique : En quoi les méthodes d'étude des scientifiques de l'expédition TARA se complémentent-elles pour caractériser le microbiome océanique et comprendre son évolution ?**

Il existe plusieurs entrées pour ce travail : disciplinaire ou transversale (dans le cadre de l'accompagnement personnalisé ou de l'EMC par exemple, en synergie avec le/la professeur(e) documentaliste).

### **Place de cette fiche et de ses ressources dans un programme**

Cette étude de cas peut être choisie en introduction au programme de géographie de la classe de seconde car elle embrasse des thèmes variés qui seront déclinés ensuite tout au long de l'année, avec des rappels/allusions à cette référence liminaire. Parce qu'elle aborde tout aussi bien la pauvreté, le développement durable, les risques, la santé, cette fiche peut aussi constituer un fil rouge tout au long de l'année débouchant par exemple sur un plaidoyer.

Cette fiche propose un scénario, qui permet d'appréhender une **question, sous trois angles, économique, social et environnemental dans le cadre de l'éducation au développement durable** :

- Elle comprend des **problématiques**,
- Elle passe par une **phase de réflexion/recherches**,
- Elle est **organisée** et débouche sur une **production**.

Libre à chaque enseignant(e) de choisir son entrée, sa situation d'apprentissage, ses documents et de proposer une approche globale de la question.

En **fin de fiche, des ouvertures possibles**, ainsi que des **ressources** pour faciliter le travail des élèves.

### **Problématisation**

L'idée est à partir de l'objet TARA et de la problématique principale, de générer un questionnement multiple soulignant la complexité de certaines questions géographiques, notamment celles du développement durable, ...

Le professeur peut tout d'abord présenter le projet, la démarche de TARA puis l'objet présent et, ainsi, susciter des premières questions. Des propositions de réponse(s) peuvent être avancées par des élèves. Elles peuvent être reprises sous la forme d'une trace écrite (recueil des questions des élèves - « Brainstorming » sous forme de nuage de mots, ou plus structuré par thème, au tableau) ; le professeur peut stimuler l'argumentation en demandant à chacun de justifier son point de vue par un ou des exemples.

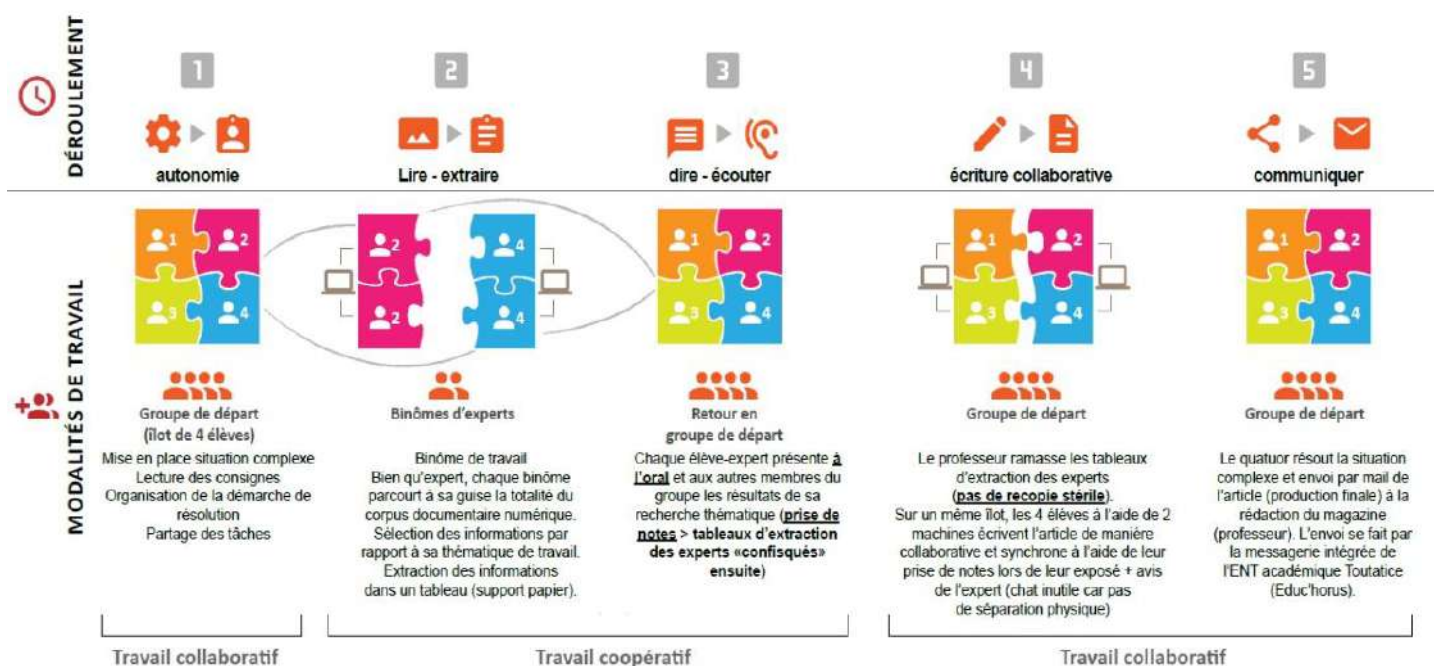
Cela permet de rentrer dans un échange au cours duquel de nombreuses questions vont émerger. Une ou plusieurs questions de la liste ci-dessous peuvent ainsi se retrouver dans les questions venant des élèves, ce qui leur permet de s'en approprier les enjeux.

L'objectif est donc bien de montrer que le sujet est complexe et que plusieurs recherches seront à mener. Il ne s'agit pas de répondre à toutes les questions mais que les élèves soient en mesure de questionner le monde : on souhaite que les recherches effectuées par la suite prennent du sens en cherchant à répondre à une partie du questionnement engagé.

Scénario proposé :

1. Problématisation en **groupes de départ**
2. Découverte du corpus documentaire : **groupes d'experts**
3. Echanges en **groupes de départ**
4. Elaboration d'une synthèse, par exemple une carte mentale

L'infographie ci-dessous illustre une façon possible de faire travailler les élèves d'abord en coopératif (les élèves travaillent sur un même objectif mais en se répartissant les tâches) puis ensuite de mixer les groupes en collaboratif (les élèves travaillent ensemble sur la même tâche).



1er temps : formation de groupes d'experts pour problématiser

2ème temps : **recherche documentaire à partir du corpus documentaire** (pouvant être étayé par l'enseignant(e)).

3ème temps : **élaboration d'une carte mentale (=production)** visant à établir l'ensemble des **causes** et **conséquences** de la pauvreté et de la vulnérabilité, notamment face aux conséquences du réchauffement climatique pour les petits Etats insulaires. L'application **Mindomo**, gratuite permet d'établir des **cartes mentales collaboratives** dans lesquelles il est possible **d'insérer** différentes ressources (**textes, images,...**). Il existe d'autres logiciels ou applications gratuites qui permettent d'élaborer des cartes mentales. Elles peuvent évidemment se **réaliser aussi de manière non numérisée**.

Plusieurs solutions pour **compléter** la carte mentale :

- La solution "**classe entière**" : l'enseignant ou un élève complète une carte projetée au tableau à partir des réponses de la classe.
- La solution "**groupe**" : en présentiel, avec un **équipement connecté**, les groupes interviennent simultanément sur la même carte, un **temps d'échange collectif** est organisé par la suite **pour s'approprier la production**.
- La solution "en **déporté**" : les groupes complètent la carte commune de **chez eux ou du CDI** et la carte est **commentée collectivement en classe**.

L'objectif est d'établir la **complexité du phénomène** et **non de produire une recherche de solutions** (Absence de solution « toutes faites » dans le cadre d'une problématique complexe).

|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

## Corpus documentaire 1

3 documents directement utilisables en classe. Il s'agit d'un choix de ressources (textes, images, graphiques...) sans imposer de démarche : pas de questions, juste des données.

Les trois documents de ce corpus doivent permettre aux élèves d'identifier quelques enjeux de l'étude du microbiome marin dans le cadre de la mission TARA mais aussi quelques résultats obtenus par l'exploitation des prélèvements des précédentes campagnes.

1. Le document 1 permet de définir le microbiome et d'explorer sa diversité
2. Le document 2 permet de mieux comprendre les objectifs de la mission microbiome : « qui fait quoi ? » plutôt que « qui est qui ? »
3. Le document 3 présente quelques résultats issus de l'étude de l'ADNe (ADN environnemental) du monde microbiotique. Il permet aux élèves de mesurer la diversité des découvertes inédites.

### Document 1 : le microbiome, de quoi parle-t-on ?

Le microbiome, qui **est** invisible à l'œil nu, désigne l'ensemble des organismes microscopiques (bactérie, virus, protistes et larves.) et leurs activités (fonctions écologiques jouées, communication avec d'autres espèces par exemple).

Ces micro-organismes sont omniprésents dans l'environnement océanique, où ils jouent des rôles clefs dans les processus biogéochimiques, tels que les cycles du carbone et des nutriments. Avec un nombre estimé de  $10^4$  à  $10^6$  cellules par millilitre, ces micro-organismes, et les communautés qu'ils forment, sont à l'origine des modifications de l'environnement (dont le changement climatique), et à la fois répondent à ces modifications, notamment les changements de température, de chimie du carbone, de teneur en nutriments et en oxygène, ainsi que les modifications de la stratification et des courants océaniques

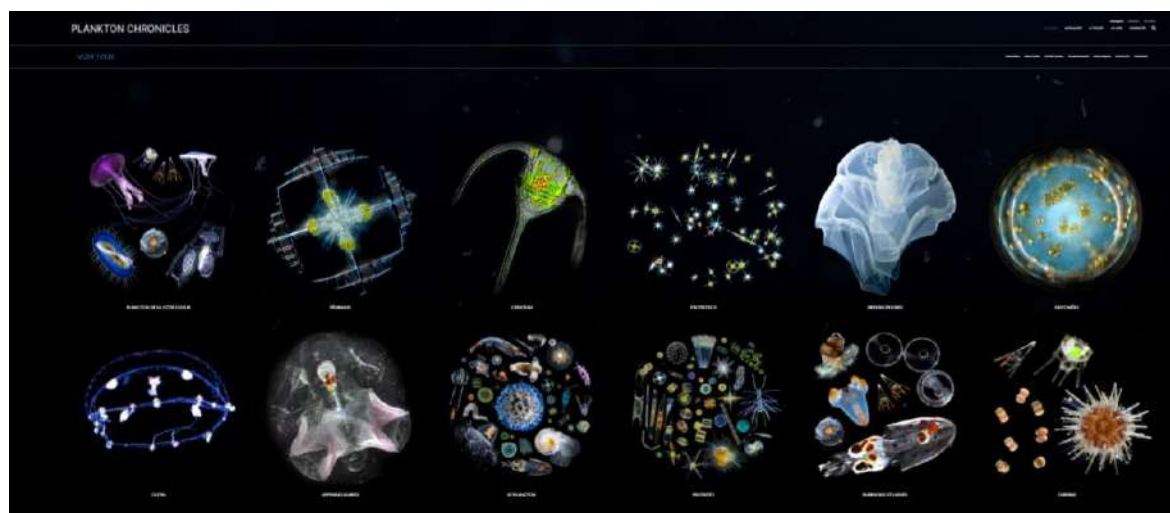
Représentant plus des deux tiers de la biomasse marine. Ils constituent le premier maillon d'un immense réseau alimentaire qui nourrit une bonne partie de l'humanité. Véritables usines à services écologiques et économiques, ces organismes marins captent notamment le dioxyde de carbone atmosphérique à l'échelle planétaire et produisent en retour l'oxygène que nous respirons chaque jour. Rouage essentiel de la grande machine climatique, le fonctionnement de ce monde invisible reste pour l'heure encore largement méconnu. L'océan constitue aussi une formidable **pompe** qui absorbe près de 30 % des émissions de **dioxyde de carbone** (un gaz à effet de serre) dues aux activités humaines, notamment grâce au phytoplancton qui capte le dioxyde de carbone durant la photosynthèse

Quelques chiffres :

- Plus d'1 milliard de microorganismes vivent dans chaque litre d'eau de mer.
- Grâce au plancton, l'Océan absorbe 25% du CO<sub>2</sub> émis par l'Homme.
- 50% de l'oxygène sur terre est produit par l'Océan et notamment par le plancton
- Il influence les climats, Il absorbe, par exemple, 25% du CO<sub>2</sub> que l'Homme émet.

|                      |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                     |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Voir en vidéo</p> | <p><b>Le peuple invisible de l'Océan : le microbiome marin</b></p>  <p>Source : <a href="https://youtu.be/MV0DyNWHxX4">https://youtu.be/MV0DyNWHxX4</a></p> |  |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Le site Planktonchronicle qui permet de visualiser les formes planctoniques dans différents Biomes : <https://planktonchronicles.org/fr/episodes/>



## Document 2 : les objectifs de la mission « TARA microbiomes »

### Tara est partie de Lorient pour la mission Microbiomes

|                                                                                   |                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  <p>Source : <a href="https://youtu.be/-zIZjbPcF-s">https://youtu.be/-zIZjbPcF-s</a></p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

A bord de Tara, les scientifiques collecteront des échantillons de microbiome marin au cours de leur périple de 70 000 km dans l'Atlantique Sud, tout en mesurant un grand nombre de paramètres : la température, le taux d'oxygène, la présence de nutriments, ou encore la pollution plastique. Ils s'intéresseront également aux réponses du microbiome face à des phénomènes tels que la fertilisation des océans par les fleuves ou les icebergs, ou encore à l'accroissement des masses d'eau dépourvues d'oxygène comme au large du Chili.

Par définition, le microbiome océanique désigne l'ensemble des micro-organismes marins (virus, bactéries, microalgues, protistes...), mais aussi leurs interactions avec l'environnement. « C'est comme un tout », résume Romain Troublé, directeur général de la Fondation Tara Océan. « Cela dépasse une simple description des micro-organismes présents, nous voulons comprendre comment ce microbiome fonctionne comme un ensemble, et si son efficacité est sensible à la pollution plastique ou au réchauffement de l'océan en cours. »

L'enjeu de la mission microbiome n'est pas de déterminer « qui est qui », mais « qui fait quoi », explique Chris Bowler, co-directeur de la mission scientifique. « Pour cela, on va se mettre dans la peau des micro-organismes pour observer et étudier comment ils interagissent entre eux et avec leur environnement et comment ils vont réagir au réchauffement climatique et aux pollutions. »

Plus globalement, la nouvelle mission de TARA permettra de comprendre plus finement les grands mécanismes liant microbiome et climat. « La grande majorité des questions que nous allons aborder est liée au changement climatique et aux pollutions, et à comment le microbiome océanique va réagir et évoluer. Les réponses apportées par cette mission devraient ainsi s'avérer particulièrement utiles pour améliorer les modèles de prévision climatique, notamment en y intégrant des paramètres biologiques. »

Ainsi, de nombreuses questions animent cette expédition :

- Quelle est la **vraie nature** de la diversité planctonique dans nos océans ?
- Quels sont les organismes qui portent les **fonctions les plus importantes** ?
- Quel sont les **effets** des paramètres environnementaux et des interactions biotiques sur l'écosystème océanique ?

Sources :

- [https://www.cnrs.fr/sites/default/files/press\\_info/2020-12/CP%20-%20FONDATION%20TARA%20OCEAN%20MISSION%20MICROBIOMES%20021220.pdf](https://www.cnrs.fr/sites/default/files/press_info/2020-12/CP%20-%20FONDATION%20TARA%20OCEAN%20MISSION%20MICROBIOMES%20021220.pdf)
- <https://microbiome.fondationtaraocean.org>
- [https://www.researchgate.net/publication/277140521\\_Ocean\\_plankton\\_Structure\\_and\\_function\\_of\\_the\\_global\\_ocean\\_microbiome](https://www.researchgate.net/publication/277140521_Ocean_plankton_Structure_and_function_of_the_global_ocean_microbiome)

### Document 3 : quelques résultats obtenus de l'analyse de l'ADNe

#### Document 3.1 : des facteurs influençant la répartition du microbiome marin

Les microorganismes sont les principaux moteurs des processus biogéochimiques. Déterminer la diversité des fonctions jouées par des microorganismes dans l'écosystème marin, mais aussi la structure et de l'évolution des communautés microbiennes ainsi que les déterminants écologiques qui l'influencent reste un grand défi.

Pour ce faire, nous avons analysé 7,2 Térabases ( $7.2 \cdot 10^{12}$  bases) de séquences d'ADN environnemental provenant de 243 échantillons de TARA expédition provenant de 68 emplacements dans les eaux épipélagiques et mésopélagiques à travers le monde afin de générer un catalogue de référence du monde océanique de plus de 40 millions de gènes avec principalement de nouvelles séquences permettant de caractériser de nouveaux virus, procaryotes et picoeucaryotes.

Nous avons montré une stratification verticale de la biodiversité avec une composition de la communauté épipélagique principalement déterminée par la température plutôt que par d'autres facteurs environnementaux. Dans une analyse à grande échelle, il a été suggéré que la salinité était le principal facteur déterminant dans de nombreux écosystèmes (y compris océaniques) et qu'elle dépassait l'influence de la température. En revanche, une analyse de la diversité fonctionnelle des environnements océaniques suggère que la température et la lumière ont des effets plus significatifs que les nutriments ou la salinité.



Source de l'image :  
[https://www.reflexions.uliege.be/cms/c\\_340060/fr/zone-pelaquique](https://www.reflexions.uliege.be/cms/c_340060/fr/zone-pelaquique)

Nos résultats ont aussi révélé une augmentation de la richesse spécifique (nombre d'espèces dénombrées) et fonctionnelle (diversité des fonctions écologiques jouées par les microorganismes) concomitante à la profondeur, tandis que l'abondance cellulaire, mesurée par cytométrie en flux, diminuent avec la profondeur. Cette augmentation observée peut refléter des espèces diversifiées adaptées à une plus large gamme de niches écologiques, telles que les micro-environnements associés aux particules dans la zone mésopélagique.

**Document 3.2 : comparaison de la diversité des fonctions jouées par le microbiome de 2 écosystèmes différents.**



Sources des images :

- Le microbiote intestinal, acteur de la santé : <https://www.pileje.fr/revue-sante/microbiote-intestinal-acteur-sante>
- Mission Microbiome, TARA océan : <https://microbiome.fondationtaraoccean.org/>

L'étude des ARN et des protéines présents dans un environnement permet de déterminer les fonctions métaboliques jouées par les communautés de microorganismes. Aussi, l'analyse des séquençages a permis de déterminer les fonctions métaboliques qui sont partagées entre tous les échantillons d'un écosystème donné, et entre deux écosystèmes.

Sur le plan fonctionnel, nous avons cherché à comparer le microbiome marin au microbiote intestinal. Bien que l'ensemble des échantillons océaniques contienne presque deux fois plus d'organismes que celui des microbiotes intestinaux (ce qui peut s'expliquer par un plus grand nombre d'échantillons et par la plus grande complexité de niches dans l'écosystème océanique que dans l'intestin humain, essentiellement anoxique et thermiquement stable) ; nos analyses ont révélé que plus de 73 % de la diversité fonctionnelle du microbiome marin est partagée avec le microbiome intestinal humain.

Ainsi, malgré les grandes différences physico-chimiques entre les deux écosystèmes, cette grande similitude peut être attribuée à un ensemble de fonctions partagées. Cependant, des

différences significatives ont été trouvées. Plus particulièrement, l'abondance des fonctions impliquées dans les mécanismes de défense, du transport et du métabolisme des glucides sont nettement plus représentées dans l'intestin, alors que les mécanismes de transport en général (coenzymes, lipides, nucléotides, acides aminés, métabolites secondaires) et la production d'énergie (y compris la photosynthèse) sont plus abondants dans l'océan

Source : *traduit de*  
[https://www.researchgate.net/publication/277140521\\_Ocean\\_plankton\\_Structure\\_and\\_function\\_of\\_the\\_global\\_ocean\\_microbiome](https://www.researchgate.net/publication/277140521_Ocean_plankton_Structure_and_function_of_the_global_ocean_microbiome)

---

### Pour accompagner la lecture de ce corpus documentaire

Voici quelques questions auxquelles les documents ci-dessus répondent en partie : ces documents peuvent tout aussi bien servir à faire émerger ces questions qu'apporter des éléments de réponse :

1. Définir le microbiome marin et identifier quelques enjeux de son étude
2. Déterminer les principaux objectifs de l'étude du microbiome marin.
3. Expliquer en quoi la nouvelle mission Tara peut permettre de mieux comprendre les relations existantes entre l'évolution du microbiome marin et évolution du climat.
4. Identifier les principaux apports des analyses des séquences génétiques des nombreux échantillonnages réalisés par TARA.
5. Identifier les principales découvertes faites à partir des analyses des séquences génétiques des nombreux échantillonnages de TARA.
6. Identifier les principaux facteurs influençant la diversité microbienne mais aussi les fonctions jouées par les micro-organismes marins.
7. Montrer en quoi l'étude des séquences génétiques permet à la fois de comparer des environnements très différents.
8. Montrer en quoi l'étude de séquences génétique permet de comprendre la structuration des peuplements microbiens de l'océan.

## Corpus documentaire 2

4 documents directement utilisables en classe. Il s'agit d'un choix de ressources (textes, images, graphiques...) sans imposer de démarche : pas de questions, juste des données.

Les 4 documents de ce corpus doivent permettre aux élèves de prendre connaissances des méthodes d'étude du microbiome marin, pour la caractérisation et la quantification des communautés d'organismes qui le constituent et pour la compréhension des grands mécanismes impliqués dans son évolution.

1. Le document 1 présente les techniques d'échantillonnage de la mission TARA dans différents milieux mais rappelle aussi les différentes échelles des microorganismes récoltés.
2. Le document 2 présente les techniques d'imagerie utilisées par les scientifiques de la mission pour caractériser et quantifier la biodiversité dans les différents prélèvements.
3. Le document 3 expose quelques limites de l'observation pour l'étude du microbiome.
4. Enfin, le document 4 expose les principes de différentes méthodes d'analyse génétique pour caractériser le microbiome marin, son évolution spatiale et temporelle mais plus encore, déterminer ses fonctions écologiques, et comprendre les grands mécanismes impliqués dans son évolution.

### Document 1 : les grands principes d'échantillonnage de la mission TARA

TARA a décidé d'aller étudier le microbiome, le premier acteur présent dans toutes les facettes de l'écosystème marin. Les micro-organismes seront collectés grâce à des filets de différentes tailles de maille immergés jusqu'à 1000 mètres de profondeur ainsi que via les bouteilles Niskin de la rosette, comme lors des précédentes missions de la goélette.

Mise à l'eau depuis le pont arrière du voilier, cette structure d'aluminium de 250 kilos s'enfonce verticalement dans la colonne d'eau et prélève jusqu'à dix échantillons par plongée, chacune des dix bouteilles pouvant se refermer à une profondeur donnée. La rosette mesure également en continu de nombreux paramètres physico-chimiques : pression, température, conductivité de l'eau, taux d'oxygène, etc.

L'échantillonnage est réalisé à trois profondeurs :

- La première est la **couche d'eau de surface** (SUR), définie comme la couche de trois à sept mètres sous la surface.
- La seconde est la couche dite « **deep chlorophyll maximum** » (DCM) qui correspond à la zone d'abondance maximale du plancton photosynthétique, déterminée grâce à la mesure de la concentration en chlorophylle par fluorimétrie. L'existence de ce maximum s'explique par un compromis entre les deux conditions nécessaires à la croissance du

phytoplancton : présence de lumière et apport de nutriments par les eaux froides de profondeur.

- Le troisième échantillonnage a été effectué dans la zone dite « **mésopélagique** », en-dessous de la DCM et où la lumière depuis la surface ne passe plus, se situant typiquement à une profondeur de 700 mètres.

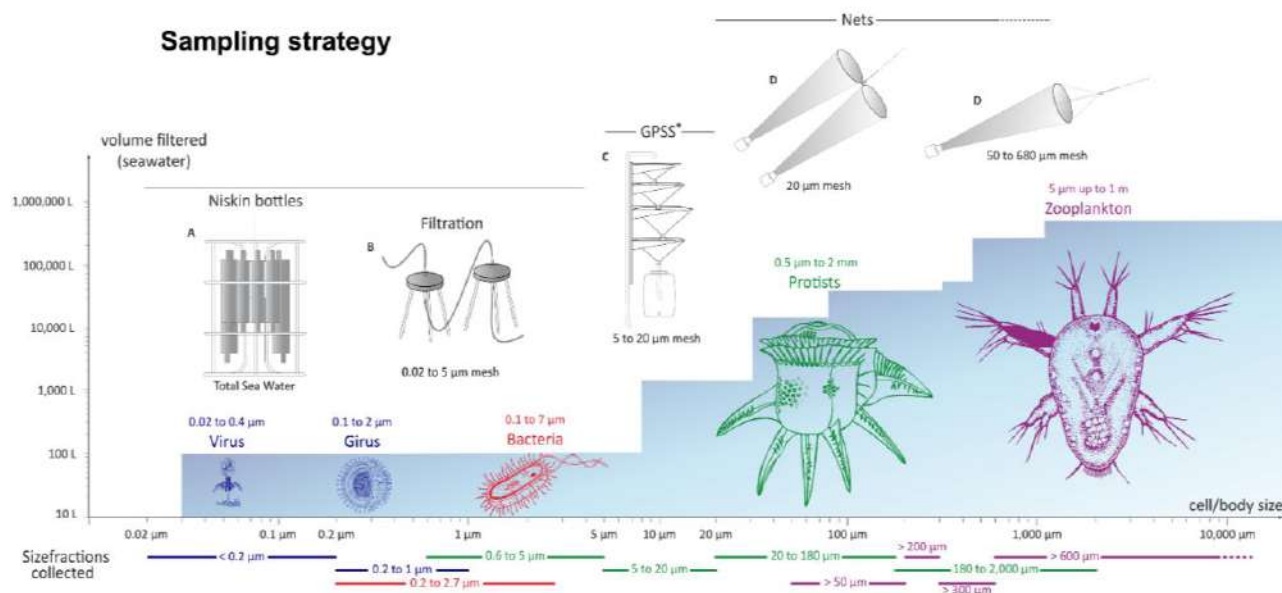
Pour chaque station, l'échantillonnage s'est fait sur plusieurs fractions de taille d'organismes. Le plancton prélevé pendant l'expédition *Tara Océans* couvre **six ordres de grandeur** en termes de taille qui correspondent aux :

- Virus, virus géants (giant virus ou girus) (Lire Focus [Virus des océans](#)) ;
- Procaryotes (bactéries et archées) ;
- Eucaryotes unicellulaires (protistes) ;
- Eucaryotes pluricellulaires (comme les copépodes).

Les cellules des protistes mesurent entre 0,8 et 2000 microns. Des filets de tailles de maille appropriées ont été utilisés afin de créer plusieurs fractions de tailles : 0,8-5 microns, 5-20 microns, 20-180 microns, 180-2000 microns.

Source : <https://www.encyclopédie-environnement.org/vivant/expedition-tara-oceans-plancton/>

### Méthode pour échantillonner des organismes par fractions de taille



Source : <https://planet-vie.ens.fr/thematiques/ecologie/biodiversite/plancton-la-nouvelle-frontiere>.  
Le fond bleu représente le volume d'eau filtré afin d'obtenir suffisamment de biomasse pour l'analyse.

|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Les méthodes d'échantillonnage de la mission TARA :</b></p>  |  <p>Source :<br/><a href="https://youtu.be/xx1Moyn-niE">https://youtu.be/xx1Moyn-niE</a></p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Document 2 : des méthodes de mesure et d'observation utilisant l'imagerie pour quantifier et caractériser le microbiome**

Les méthodes d'étude utilisent des instruments de pointe (microscopies, analyse d'image) pour identifier et quantifier tout le spectre de microorganismes présents (les bactéries, les virus, le phytoplancton et le zooplancton)

Pour chaque station, une analyse morphologique a été réalisée pour différentes classes d'organismes :

- D'une part, des systèmes de reconnaissance automatisés, tels que le FlowCam et le ZooScan, permettent des mesures quantitatives de la biodiversité d'organismes allant de 20 microns à quelques centimètres.

|                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Coulisses de laboratoires :</b></p> <p>Le zooscan, un scanner à plancton pour déterminer et quantifier la diversité du microbiome</p>  |  <p>Source : <a href="https://youtu.be/b0UNmtuelHo">https://youtu.be/b0UNmtuelHo</a></p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

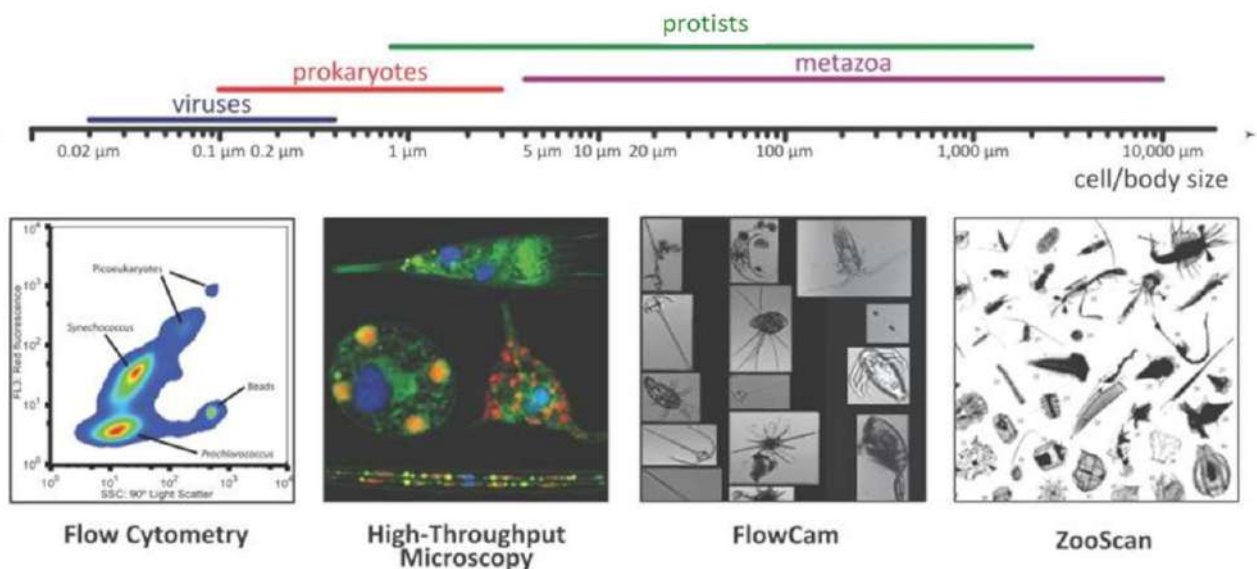
Outils de caractérisation des micro-organismes marins :  
retour sur le Flowcam



Source : <https://youtu.be/GUYIqALpvtI>

- D'autre part, la microscopie confocale 3D et la microscopie électronique à transmission ont permis des analyses ultra-structurales détaillées des petits protistes.

**Méthodes d'analyses morphologiques des échantillons en fonction de leur taille.**  
De gauche à droite : Cytométrie de flux, Microscopie à haut-débit, FlowCam et ZooScan.



Source : Eric Karsenti et al & the Tara Oceans Consortium, CC BY 4.0, via Wikimedia Commons

**Document 3 : les limites de l'imagerie pour la détermination et la quantification de la biodiversité, mais aussi pour la compréhension de ses fonctions écologiques.**

Car la diversité et la complexité du vivant sont bien plus considérables au cœur du monde microscopique, celui que notre œil seul est incapable d'appréhender. Passé la barrière de la taille, les scientifiques se heurtent vite à une autre difficulté : les microorganismes sont très, très divers. On estime en moyenne qu'un litre d'eau de mer contient plusieurs millions de protistes et des milliards de virus, soit des milliers d'espèces différentes.

La caractérisation et la quantification des espèces présentes dans l'environnement par l'observation, ne suffiraient pas à dessiner une carte, même approximative, de la diversité et du fonctionnement d'écosystèmes complexes tels que le corail, le plancton ou encore le microbiote. La nature nous échappe encore largement. Plus que la détermination des espèces présentes, l'étude de la biodiversité se donne pour objectif de déterminer et comprendre les fonctions jouées par la communauté d'organismes dans des écosystèmes complexes.



Mais depuis peu, les scientifiques ont une nouvelle corde à leur arc, celle de pouvoir réaliser des analyses génétiques multiples à partir des échantillons de matériel génétiques prélevés dans l'environnement.

En très peu de temps, les biologistes sont ainsi capables d'avoir une vision très précise de la diversité et de l'abondance des microorganismes présents dans une poignée de terre ou dans un litre d'eau de mer, mais aussi des fonctions écologiques potentielles qu'ils peuvent remplir.

**Document 4 : des méthodes basées sur l'analyse génétique pour comprendre qui est là, qui fait quoi, et qui peut faire quoi :**

Pour chaque station, les prélèvements d'eau ont été filtrés puis soumis à différentes **analyses génétiques**, permettant de comprendre **qui est là, qui fait quoi, et qui peut faire quoi**.

**1. Caractériser et quantifier les espèces présentes mais aussi comprendre l'évolution des écosystèmes**

Chaque type d'organisme et chaque espèce possède des caractéristiques génétiques qui lui sont propres, l'analyse de leur ADN permet donc de les distinguer, de les identifier et de les classer précisément. On sait quelles espèces sont présentes dans le milieu et dans quelles proportions.

- La technique de métabarcoding pour savoir qui **est là** ?

Il s'agit d'une technique d'analyse génétique pour caractériser les espèces à partir d'un « codes-barres » génétiques (en anglais DNA-barcoding). L'objectif est donc d'identifier les espèces présentes dans l'environnement non pas par l'observation mais à partir de leur ADN.

Au-delà de l'aspect de la diversité, en comparant des échantillons collectés au même endroit à des périodes différentes ou dans des zones distinctes aux conditions environnementales dissemblables, on peut se faire une idée de l'évolution spatiale et temporelle de l'écosystème.

In fine, l'objectif est de prédire sa réaction face à des changements de température, de concentration en oxygène ou de pH par exemple.

La mission regardera aussi les réseaux d'interactions du microbiome (qui est avec qui quand ?) c'est ce qu'on appelle un interactome, dans le but de comprendre la complexité du système océan d'un point de vue spatio-temporel et de savoir comment les systèmes microscopiques fonctionnent dans les océans.

Un Genialy utilisable en classe avec des élèves pour comprendre les principes de la bioinformatique pour caractériser les espèces à partir de séquences ADN :  
<https://view.genial.ly/601aa91e399adc0d23d5ce10/interactive-image-tara-expedition-biodiversite-dapres-lmicoud>



### Exemple obtenu par un traitement de séquences obtenu avec le logiciel BLAST

| Séquences                                                                                                                             | Nom d'Espèce                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| GTCGCACCTACCGATTGAATGGTCCGGTGAGGACTCGGGATTGTGGTTGGCTCCTTCATTGGGGCCTG<br>ACTGCGAGAACTTGCCGAACCTTATCATTTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC  | Thalassiosira lundania      |
| GTCGCACCTACCGATTGAGTGGTCCGGTGAAGTCTCGAGATTGTGGCAATCTCCTTTATTGGAGTTTGAC<br>TGCGAGAACTTGCTAAACCTTATCACTTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC  | Chaetoceros tenuissimus     |
| GTCGCACCTACCGATTGAATGGTCCGGTGAAGCCTCGGGATTGTGGTTAGTTTCCTTTATTGGAAGTTAG<br>TCGCGAGAACTTGCTAAACCTTATCATTTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC | Fragilariopsis kerguelensis |
| GTCGCACCTACCGATTGAATGGTCCGGTGAGGACTCGGGATTGTGGTTAGCTCCTTCATTGGGGCCTGA<br>CTGCGAGAACTTGCCGAACCTTATCATTTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC  | Minidiscus                  |

|                                                                                                                                         |                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| GTCGCACCTACCGATTGAATGGTCCGGTGAAGCCTCGGGATTGTGGTTGGTTTCCTTCATTGGAAGTTAG<br>TCGCGAGAACTTGTCTGAACCTTATCATTTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC  | Stramenopi<br>le<br>Fragilariops<br>is |
| GTCGCACCTACCGATTGAATGGTCCGGTGAAGCCTCGGGATTGTGGTTGGTTTCCTTIATTGGGAGTCGG<br>CCGCGAGAACTTGTCTAAACCTTATCATTTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC  | Nitzschia<br>dissipata                 |
| GTCGCACCTACCGATTGAATGGTCCGGTGAAGCCTCGGGATTGTGACCAAGTCCTTTATTGGTGTGGTC<br>GCGAGAACTTGTCTAAACCTTATCATTTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC     | Naviculales                            |
| GTCGCACCTACCGATTGGATGGTCCGGTGAAGCCTCGGGATTGTGGTTCTGCCGCTTTATTGTGGCTGAC<br>CGCGAGAACTTGTCTAAACCTTATCATCTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC   | Minutocell<br>us<br>polymorph<br>us    |
| GTCGCACCGACCGATTGAATGATTCCGGTGAAGCCTCGGGATTGTGGCTCTGTGCCTTTATTGGGACATTG<br>CCGTGAGAACTCGTTTAAACCTCATCATTTAGAGGATGGTAAAGTCGTAACAAGGTTTCC | Stramenopi<br>le inconnu               |
| GTCGCACCTACCGATTGGATGGTCCGGTGAAGCCTCGGGATTGTGGTTCTTGCCGCTTTATTGTGGCG<br>TGACCGCGAGAACTTGTCTAAACCTTATCATCTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC | Minutocell<br>us<br>polymorph<br>us    |
| GTCGCACCTACCGATTGAATGGTCCGGTGAAGCCTCGAGATTGTGGTTAGTTTCCTTTATTGGATGTTA<br>GCCGCGAGAACTTGTCTAAACCTTATCATTTAGAGGAAGGTGAAGTCGTAACAAGGTTTCC  | Stramenopi<br>le inconnu               |

## 2. Révéler les fonctions jouées par le microbiome ainsi que son potentiel écologique

Depuis plus récemment encore, les scientifiques ont adapté les méthodes d'analyse de l'ADN à l'ARN, c'est-à-dire aux gènes qui sont réellement exprimés et donc utilisés par les organismes.

Un gène présent dans un échantillon peut ne pas être exprimé et donc n'avoir aucune fonction dans l'écosystème. **Il ne suffit donc pas d'identifier un gène, il faut être certain que ce dernier sera exploité.**

L'analyse de l'ARN permet donc de comprendre la variabilité de l'expression des gènes, donc des fonctions tenues par les organismes. Cela éclaire la complexité des interactions et la manière dont les organismes s'adaptent à des environnements parfois très particuliers et changeants.

**Là aussi, l'exploitation de ces données génétiques, leur mise en relation avec des données environnementales et morphologiques donne aux scientifiques une vision hypothétique globale du système naturel qu'ils étudient.**

- La Métatranscriptomique est donc une technique qui permet de **savoir qui fait quoi ?**

Il s'agit d'une technique permettant de déterminer l'ensemble des ARN produits (le transcriptome) par les différents organismes collectés lors du processus de transcription d'un gène en protéines. L'objectif est alors de déterminer les gènes réellement exprimés par les organismes et ainsi de déterminer les fonctions qu'ils peuvent remplir dans un écosystème donné.

- Une autre technique : La Métagénomique permet de déterminer **qui peut faire quoi ?**

Il s'agit de déterminer l'ensemble des gènes présents non pas exprimés, mais présents dans l'échantillon. Les résultats de cette technique informent sur le **potentiel génétique** de la communauté d'organismes de l'échantillon, c'est-à-dire potentiellement les fonctions qu'ils peuvent remplir mais qui ne le font pas forcément.

Sources : adaptés de <https://www.encyclopedie-environnement.org/vivant/expedition-tara-oceans-plancton/> et de : <https://oceans.taraexpeditions.org/m/environnement/ocean-biodiversite/pourquoi-etudier-ladn-de-locean/>

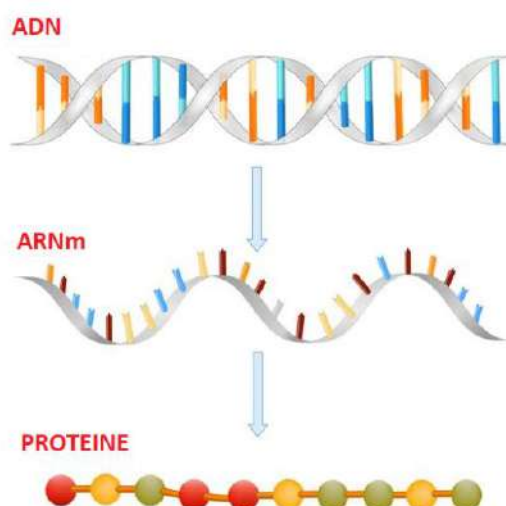
#### De l'ADN aux protéines – une explication simplifiée

Les gènes sont des messages codés dont le support moléculaire est l'ADN.

Le décodage de ces messages se traduit par la synthèse de molécules, les protéines, dont chacune exerce une ou plusieurs fonctions précises dans les organismes vivants. Ces molécules qui sont de grande taille, sont toujours composées des mêmes éléments, les acides aminés (au nombre de vingt), dont l'ordre définit la structure de la protéine et son activité biologique.

La succession des acides aminés est directement déterminée par la succession des constituants essentiels de l'ADN (les bases nucléotidiques A, C, G, T, pour, respectivement, adénine, cytosine, guanine et thymine).

L'ARN messager (ARNm) est une molécule fabriquée dans le noyau à partir de la matrice du gène, dont la fonction est d'exporter le « plan de fabrication » de la protéine du noyau, de la cellule vers le cytoplasme où se situe la machinerie permettant l'assemblage des acides aminés.



Source : adapté de [https://www.news-medical.net/life-sciences/DNA-Interactions-with-Proteins-\(French\).aspx](https://www.news-medical.net/life-sciences/DNA-Interactions-with-Proteins-(French).aspx)

---

### Pour accompagner la lecture de ce corpus documentaire

Voici quelques questions auxquelles les documents ci-dessus répondent en partie : ces documents peuvent tout aussi bien servir à faire émerger ces questions qu'apporter des éléments de réponse :

1. Identifier les grandes catégories de microorganismes identifiables dans le microbiome marin. Donner des indices de taille.
2. Déterminer les intérêts et limites de l'imagerie dans l'étude du microbiome marin.
3. Déterminer les principes et les objectifs des 3 méthodes d'analyse génétique dans l'étude du microbiome marin.
4. Montrer en quoi les méthodes d'analyse génétique sont une avancée technologique pour l'étude du microbiome et son évolution.
5. Expliquer en quoi, les méthodes d'analyse génétique peuvent permettre mieux comprendre les grands mécanismes liant microbiome et évolution climatique.

Ressources pour faciliter le travail des élèves :

- Module pédagogique "L'océan, ma planète... et moi !" de **La main à la pâte** (Séquence II-8) : L'océan, milieu de vie, le phytoplancton et le zooplancton : - <https://www.fondation-lamap.org/fr/page/28692/module-pedagogique-locean-ma-planete-et-moi>
- Le site Planktonchronicle qui permet de visualiser les formes planctonique dans différents biomes : <https://planktonchronicles.org/fr/episodes/>
- Un travail d'élève réalisé par des élèves de première pour la compréhension des méthodes d'étude du génome, du transcriptome, du protéome, [http://html5.ens-lyon.fr/Acces/GrainesExplorateurs/2013/20130530/Pontoise/ADNTara\\_Pontoise\\_vid\\_eo.html#diapo11](http://html5.ens-lyon.fr/Acces/GrainesExplorateurs/2013/20130530/Pontoise/ADNTara_Pontoise_vid_eo.html#diapo11)
- Kit "Du Bateau au Labo" qui propose l'exploitation pédagogique des données scientifiques récoltées pendant les expéditions Tara. Exploitable en classe de 2<sup>nde</sup>, de 1<sup>ère</sup> spécialité SVT ou de terminale enseignement scientifique : <https://oceans.taraexpeditions.org/rp/kit-de-donnees-diversite-genetique-du-plancton/>
- Un Genialy utilisable en classe avec des élèves en enseignement scientifique en Classe de terminale : <https://view.genial.ly/601aa91e399adc0d23d5ce10/interactive-image-tara-expedition-biodiversite-dapres-lmicoud>

### En prolongement

Vous organisez un débat, la production d'un plaidoyer, dans le cadre de l'éducation au développement durable ? Les documents de cette fiche peuvent également être utilisés pour étayer une problématisation, une réflexion autour des ODD (Objectifs de Développement Durable).

Vous trouverez dans cette fiche échos d'escales des informations permettant d'aborder les principaux ODD suivants :

|                                                                                   |                                                                                   |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|--|
|  |  |  |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--|--|