

# Biotechnologie microbienne marine

**La biotechnologie microbienne marine** se concentre sur l'utilisation des micro-organismes marins pour développer des applications variées dans divers domaines. Ces applications incluent la recherche, la santé, l'alimentation, l'énergie, et l'environnement.

Les biotechnologies marines, souvent appelées biotechnologies bleues, se basent sur des organismes marins tels que des **algues, des microalgues, et des bactéries**.

Les microorganismes marins, tels que les bactéries présentes dans des sources hydrothermales, sont également étudiés pour leur capacité à produire des enzymes à haute température et sous pression, ce qui est recherché dans certains procédés industriels. De plus, l'extraction de pigments naturels à partir d'algues marines a suscité l'intérêt dans le développement de colorants alimentaires et cosmétiques.

La biotechnologie microbienne marine est un domaine en pleine expansion, combinant des approches de la microbiologie, de la biochimie, de l'ingénierie et de l'océanographie. Elle a pour objectif de développer des techniques innovantes pour isoler et cultiver les microorganismes marins, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire, à l'énergie alternative, et à la lutte contre le changement climatique.

## **Le microbiome océanique: un trésor pour la découverte d'enzymes et de molécules bioactives**

### **RÉSULTATS SCIENTIFIQUES ÉCOLOGIE ÉVOLUTIVE & BIODIVERSITÉ**

Une nouvelle étude publiée dans *Nature* par une équipe internationale de chercheurs impliquant l'ETH Zürich, l'ICM Barcelona, l'EMBL, le CEA et le CNRS, dont le consortium *Tara Oceans*, révèle la diversité génomique du microbiome océanique ainsi que son potentiel pour la synthèse de composés biochimiques encore inconnus. En particulier, les chercheurs ont identifié une nouvelle famille de bactéries marines dont le code génétique pourrait conduire à de nombreuses applications biotechnologiques.



Le séquençage de l'ADN du microbiome océanique révèle un trésor de nouvelles enzymes et molécules bioactives.

L'océan est le plus grand habitat sur notre planète, couvrant **71 % de sa surface**. Chaque **goutte d'eau contient des milliers de cellules microbiennes** qui, ensemble, forment le microbiome océanique. Cet écosystème complexe est le moteur des cycles biogéochimiques sur Terre et la base de nombreuses chaînes alimentaires globales. Grâce à de multiples missions d'exploration, comme les expéditions *Tara Oceans*, nous avons aujourd'hui accès au matériel génétique d'échantillons récoltés à travers le globe. Cependant,

plus de deux-tiers de ces données de séquençage ADN des communautés microbiennes marines (métagénomes) ne peuvent pas être associées à des génomes d'espèces connues. Cette biodiversité largement inexplorée est une source probable de nombreux composés biochimiques nouveaux avec des applications potentielles dans les domaines des biotechnologies et de la médecine.

En se basant sur les résultats de Tara Océans ainsi que sur d'autres projets internationaux (Les expéditions Malaspina et Biogeotraces, les séries temporelles d'Hawaii et des Bermudes), une équipe de scientifiques a analysé les métagénomes de plus de 1 000 échantillons d'eau de mer couvrant tous les océans.

En utilisant des méthodes computationnelles dernier cri, les chercheurs ont pu reconstruire 26 293 génomes microbiens et ont révélé des milliers de nouvelles espèces. Ils ont intégré ces derniers à des génomes déjà publiés pour construire l'Ocean Microbiomics Database (OMD), qui représente 40 à 60 % des données métagénomiques collectées en pleine mer.

L'exploration de cette ressource génomique a révélé plus de 40 000 clusters de gènes biosynthétiques (BGCs), des groupes de gènes encodant les voies de synthèses de composés biochimiques. Ces BGCs ont pu être groupés en 7 000 familles, la moitié desquelles sont prédites comme étant nouvelles. En plus de leurs fonctions écologiques cruciales, beaucoup de ces composés (aussi appelés métabolites spécialisés) sont probablement importants d'un point de vue biotechnologique ou médical.

En étudiant la distribution de ces voies de synthèses, les chercheurs ont découvert une nouvelle lignée de bactéries avec un nombre et une diversité particulièrement élevés de BGCs. Cette famille bactérienne a donc été nommée après Eudora, la Néréide (nymphe océanique) des cadeaux précieux dans la mythologie grecque. Pour explorer ses promesses, l'équipe a analysé expérimentalement deux de ces BGCs et a effectivement caractérisé de nouvelles enzymes biosynthétiques et composés naturels. La première voie de synthèse, appelée phospeptin, produit un peptide qui inhibe les protéases, fournissant un nouveau châssis chimique pour le potentiel développement de thérapeutiques. La seconde voie de synthèse, appelée pythonamide, produit un nouveau peptide, particulièrement long et complexe ainsi qu'une nouvelle famille d'enzymes capable de catalyser l'addition de groupement méthyl sur la colonne vertébrale des protéines - une réaction très difficile qui pourrait être particulièrement utile dans le cas de certaines applications biotechnologiques.

Ce travail fournit une vision sans précédent des microbes à travers les océans du monde ainsi que leurs capacités biosynthétiques. Cette compilation représente un atlas pour guider les recherches futures, que ce soit dans les domaines de l'écologie marine, l'évolution, les biotechnologies ou les produits naturels. En combinant des méthodes computationnelles et moléculaires, l'équipe a pu identifier les fonctions de

séquences génétiques provenant de microbes appartenant à des lignées inconnues et dont aucun membre n'a été cultivé jusqu'à présent.

Cependant, les chercheurs n'ont caractérisé que deux voies de synthèses parmi des milliers. Une immensité de composés biochimiques et d'enzymes biosynthétiques reste donc à découvrir et l'OMD est en accès libre (<https://microbiomics.io/ocean/>) en tant que ressource pour la communauté scientifique. Les chercheurs invitent donc les scientifiques du monde entier à les joindre dans leur exploration de la diversité microbienne marine pour dévoiler de nouvelles enzymes, voies de synthèses et métabolites spécialisés, et élucider leurs fonctions écologiques ainsi que leurs potentielles applications. Cette étude vient également s'inscrire dans la Décennie des Nations Unies pour les Sciences Océaniques en étudiant le potentiel du microbiome océanique pour la bioprospection et montrant la nécessité d'en apprendre davantage à son sujet. Un article, dirigé par Tara Océans, a été publié simultanément dans la revue *Nature Microbiology* (<https://www.nature.com/articles/s41564-022-01145-5>) et reprend ces points de manière plus générale en décrivant les priorités de la recherche sur le microbiome océanique pour les années à venir.

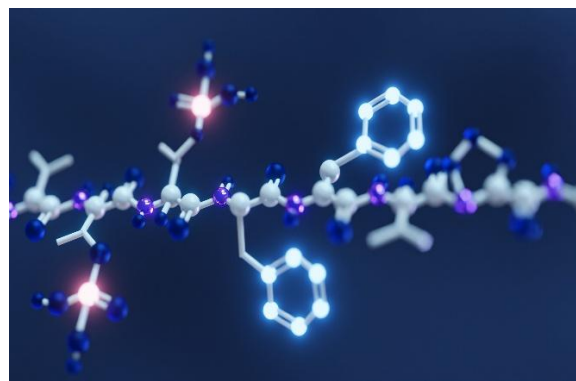
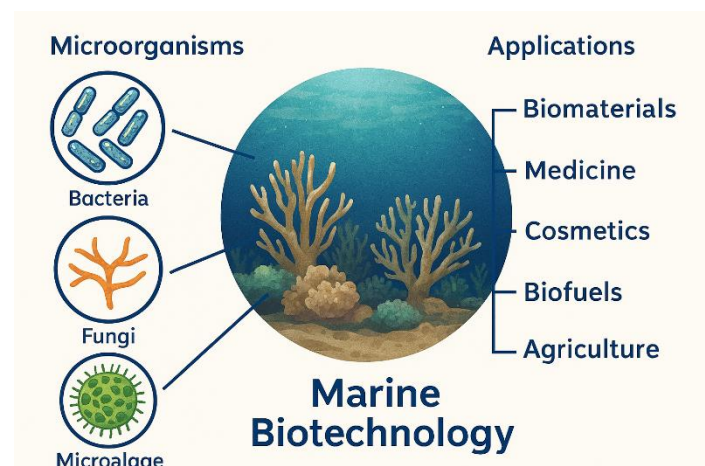


Illustration en trois dimensions de la molécule bioactive phosphopeptin. © Helena Klein (illuzation), ZHdK.

Les **microorganismes marins** sont au cœur de la **biotechnologie bleue**, ouvrant la voie à des innovations dans la santé, l'alimentation, l'énergie et la protection de l'environnement.



# Microorganismes marins : un réservoir exceptionnel

- **Bactéries marines** : elles produisent des enzymes stables dans des conditions extrêmes (salinité, pression, température).
- **Microalgues** : riches en pigments, acides gras polyinsaturés, antioxydants et polysaccharides.
- **Champignons et levures marines** : capables de synthétiser des molécules bioactives rares.
- **Cyanobactéries** : source de composés antiviraux, anticancéreux et antibiotiques.

## Applications en biotechnologie marine

### 1. Santé et pharmacie

- **Nouveaux médicaments** : des molécules issues de cyanobactéries et d'algues sont testées contre le cancer et les maladies infectieuses.
- **Antibiotiques innovants** : certaines bactéries marines produisent des substances capables de lutter contre les résistances bactériennes.
- **Biomolécules thérapeutiques** : peptides et polysaccharides marins utilisés comme anti-inflammatoires ou immunostimulants.

### 2. Alimentation et nutrition

- **Conservation naturelle** : bactéries marines utilisées pour prolonger la durée de vie des aliments fermentés.
- **Compléments alimentaires** : microalgues comme la spiruline et la chlorelle riches en protéines et vitamines.
- **Additifs** : polysaccharides marins (alginate, carraghénane) employés comme gélifiants et épaississants.

### 3. Énergie et bio-industrie

- **Biocarburants** : microalgues capables de produire des lipides transformés en biodiesel.
- **Bioplastiques** : bactéries marines produisant des polymères biodégradables.
- **Enzymes industrielles** : utilisées dans la dégradation des déchets ou la production de bioproduits.

### 4. Cosmétique et bien-être

- **Antioxydants et pigments** : extraits de microalgues pour crèmes anti-âge et soins de la peau.
- **Filtres UV naturels** : molécules marines utilisées dans les protections solaires.

## 5. Environnement et durabilité

- **Bioremédiation** : bactéries marines capables de dégrader hydrocarbures et polluants.
- **Capture du CO<sub>2</sub>** : microalgues utilisées pour réduire l'impact carbone.
- **Aquaculture durable** : probiotiques marins pour améliorer la santé des poissons et crustacés.

## Défis et perspectives

- **Exploitation durable** : éviter la surexploitation des ressources marines.
- **Technologies de culture** : difficulté à reproduire en laboratoire les conditions extrêmes de l'océan.
- **Transfert industriel** : transformer les découvertes en produits commercialisables reste un défi majeur.

Les microorganismes marins jouent un rôle clé dans la bioremédiation en dégradant les polluants comme les hydrocarbures, les métaux lourds et les plastiques dans les milieux marins. Ils sont utilisés pour restaurer les écosystèmes côtiers et océaniques contaminés.

## Qu'est-ce que la bioremédiation marine ?

La **bioremédiation** est une technique qui utilise des microorganismes pour éliminer ou neutraliser les polluants dans l'environnement. En milieu marin, elle vise à :

- Dégrader les hydrocarbures issus des marées noires
- Éliminer les métaux lourds et les substances toxiques
- Réduire les déchets plastiques et organiques
- Restaurer les zones côtières polluées

## Microorganismes marins impliqués

Type de microorganisme	Rôle principal en bioremédiation
Bactéries hydrocarbonoclastes	Dégradation des hydrocarbures (ex. <i>Alcanivorax</i> , <i>Marinobacter</i> )
Champignons marins	Absorption des métaux lourds et transformation de polluants
Cyanobactéries	Fixation du carbone et détoxification de certains composés
Microalgues	Absorption des nutriments et métaux, production d'oxygène

## Stratégies de bioremédiation marine

- **Bioaugmentation** : ajout de souches microbiennes spécifiques capables de dégrader les polluants.
- **Biostimulation** : stimulation des microorganismes déjà présents par des nutriments ou des activateurs.
- **Utilisation de biosurfactants** : substances produites par les microbes pour solubiliser les hydrocarbures.
- **Consortiums microbiens** : groupes de microorganismes travaillant en synergie pour une dégradation plus efficace.

## Exemples concrets

- **Marée noire du Golfe du Mexique** : des bactéries marines ont été utilisées pour accélérer la dégradation du pétrole.
- **Ports industriels** : des microalgues et champignons marins sont testés pour absorber les métaux lourds.
- **Projets européens comme BlueRemediomics** : valorisent le potentiel des microbiomes marins pour des solutions durables.

## Avantages et limites

### ✓ Avantages

- Méthode naturelle et durable
- Faible coût comparé aux techniques physico-chimiques
- Préservation des écosystèmes

### Limites

- Sensibilité aux conditions environnementales (température, salinité)
- Temps de traitement parfois long
- Besoin de surveillance et d'optimisation des souches utilisées



Bioremédiations marine