

La bioluminescence marine : mécanismes, fonctions écologiques et applications biotechnologiques

Suraiya Anaïs Lahrichi-Beesony

Capstone



Clonlara School

2026

Table des matières :

Résumé.....	3
Introduction	3
Problématique.....	5
Méthodologie.....	6
Constats.....	9
Discussion.....	10
Conclusion	13
Recommandations	14
Références	15
Annexes	15
Source des images et de leur texte	21

Résumé

La bioluminescence est un phénomène biologique caractérisé par la production de lumière par des organismes vivants, principalement dans les milieux marins profonds. Cette étude s'appuie sur des données issues du Monterey Bay Aquarium Research Institute, obtenues grâce à l'exploration des grands fonds marins à l'aide de véhicules sous-marins téléopérés. Ces observations montrent qu'une grande proportion d'organismes, notamment les siphonophores, les méduses et de nombreux poissons, possèdent la capacité de produire de la lumière, en particulier dans la zone mésopélagique.

La production de lumière repose sur une réaction chimique impliquant des molécules spécifiques, permettant l'émission de photons sans dégagement important de chaleur. Ce mécanisme varie selon les espèces et peut être produit directement par l'organisme ou par des bactéries vivant en symbiose.

L'analyse met en évidence que la bioluminescence joue un rôle central dans les interactions biologiques, notamment pour la prédation, la défense et certaines formes de communication. Elle constitue ainsi une adaptation essentielle dans des environnements caractérisés par l'obscurité permanente.

Par ailleurs, ce phénomène présente un intérêt scientifique important, en particulier dans les domaines de la biologie et de la médecine, où il est utilisé comme outil d'observation et d'analyse. L'étude de la bioluminescence contribue également à une meilleure compréhension des écosystèmes marins profonds et souligne l'importance de leur préservation.

Introduction

La bioluminescence n'est pas un phénomène récent dans l'histoire de la science. Elle a été observée dès l'Antiquité, notamment par des marins qui décrivaient des mers « lumineuses » la nuit, un phénomène parfois appelé « mer de lait ». À cette époque, ces observations étaient souvent interprétées comme des manifestations mystérieuses ou surnaturelles, faute de connaissances scientifiques. Ce n'est qu'à partir de la Renaissance et du XVIIe siècle que les savants ont commencé à étudier ce phénomène de manière plus rigoureuse, en cherchant à comprendre son origine naturelle.

Au XVIIe et XVIIIe siècles, les premières expériences scientifiques ont permis de démontrer que cette lumière était produite par des organismes vivants, et non par un phénomène chimique ou physique externe. Des chercheurs ont observé que certaines créatures marines, comme les méduses ou les micro-organismes, pouvaient émettre de la lumière lorsqu'elles étaient perturbées. Ces découvertes ont marqué une étape importante dans la compréhension de la bioluminescence, en établissant son origine biologique.

Au XIXe siècle, les progrès en chimie ont permis d'approfondir ces recherches. Les scientifiques ont commencé à identifier les substances responsables de la production de lumière, ouvrant la voie à une compréhension plus précise du phénomène. Cependant, les mécanismes exacts restaient encore mal connus, en raison des limites technologiques de l'époque.

Au XXe siècle, les avancées en biochimie ont permis de comprendre les mécanismes précis de la bioluminescence. Les travaux du scientifique Osamu Shimomura ont notamment permis d'isoler la protéine GFP (Green Fluorescent Protein), ce qui a marqué une étape majeure dans la compréhension et l'utilisation de ce phénomène. Cette découverte a ensuite conduit à des applications importantes en biologie moléculaire, notamment pour observer des cellules vivantes. Aujourd'hui, la bioluminescence est étudiée dans de nombreux domaines scientifiques, allant de l'écologie marine à la médecine et aux biotechnologies.

Les chercheurs distinguent généralement plusieurs types de bioluminescence en fonction de leur origine. Chez certains organismes, la lumière est produite directement par leurs propres cellules grâce à des réactions biochimiques internes. Dans d'autres cas, elle est générée par des bactéries symbiotiques vivant à l'intérieur de l'organisme hôte, comme chez certains poissons et calmars. Cette diversité de mécanismes montre que la bioluminescence n'est pas apparue une seule fois au cours de l'évolution, mais qu'elle s'est développée indépendamment dans plusieurs groupes d'êtres vivants.

Les études menées par le MBARI montrent qu'environ 76 % d'espèces des environnements avec l'obscurité permanente sont bioluminescentes, et que cette proportion est encore plus élevée dans la zone mésopélagique. La bioluminescence constitue un élément important du fonctionnement des écosystèmes profonds et un sujet central pour la compréhension de la

biodiversité marine. Afin de mieux comprendre ce phénomène complexe, il est nécessaire de s'interroger sur ses mécanismes, ses fonctions écologiques et ses applications scientifiques.

Problématique

Bien que la bioluminescence est un phénomène particulièrement spectaculaire, elle reste insuffisamment comprise d'un point de vue scientifique. Seule une faible proportion des espèces bioluminescentes a été étudiée en détail en raison des difficultés d'exploration de l'océan et des contraintes techniques liées à ces environnements extrêmes. Cette méconnaissance limite notre compréhension du rôle réel de la bioluminescence dans les écosystèmes marins profonds ainsi que son potentiel scientifique et technologique. Pour répondre à cette problématique, plusieurs questions essentielles doivent être examinées.

Quels sont les mécanismes chimiques à l'origine de la bioluminescence ?

La bioluminescence est produite grâce à une réaction chimique dans le corps de certains organismes vivants. Cette réaction implique une molécule appelée luciférine et une enzyme nommée luciférase (Wilson & Hastings, 1998). La luciférine réagit avec l'oxygène, ce qui crée une molécule excitée. Lorsque celle-ci revient à son état normal, elle libère de l'énergie sous forme de lumière. Ce processus est très efficace, car il produit presque uniquement de la lumière et très peu de chaleur. La couleur de la lumière varie selon les espèces. Dans les océans, les couleurs bleues et vertes sont les plus fréquentes, car elles se diffusent mieux dans l'eau. Chez certains organismes, la réaction nécessite aussi de l'énergie fournie par une molécule appelée ATP. Cependant, chez de nombreux organismes marins, la lumière peut être produite sans cette énergie supplémentaire, ce qui est un avantage dans les milieux où les ressources sont limitées.

Quelles sont ses fonctions écologiques ?

Comme on l'a vu précédemment, la bioluminescence a plusieurs fonctions importantes dans la nature. D'abord le camouflage, pour se fondre dans leur environnement et éviter les prédateurs. Ensuite la défense, par exemple en produisant des éclairs lumineux pour surprendre ou effrayer un prédateur. Enfin, la reproduction et la communication, en envoyant des signaux pour attirer un partenaire.

Comment les humains exploitent-ils ces phénomènes ?

Les humains utilisent la bioluminescence spécialement dans la recherche scientifique et médicale. Par exemple, des protéines lumineuses issues de méduses servent à observer des cellules et mieux comprendre le corps humain. En médecine, cela aide à étudier certaines maladies et à tester des traitements. Elle inspire aussi la robotique et l'exploration, en aidant au développement de technologies adaptées aux milieux sombres.

Méthodologie

Afin d'apporter des réponses fiables à ces questions, une méthodologie rigoureuse a été mise en place. Dans ce projet, plusieurs méthodes ont été employées afin d'étudier la bioluminescence de manière approfondie. Une revue systématique de la littérature scientifique a été réalisée. Cela consiste à analyser des articles scientifiques, des rapports d'océanographie et des bases de données afin de rassembler des informations fiables sur les mécanismes, les fonctions et la diversité des êtres vivants bioluminescents.

Ensuite, une visualisation des données est intervenue pour faciliter la compréhension des informations. Cela inclut des schémas du processus de la bioluminescence ainsi que des cartes montrant la répartition des espèces bioluminescentes dans les océans. Les principales sources exploitées pour ce projet proviennent de journaux scientifiques reconnus, tels que Nature, Science, PNAS et Marine Biology. Des données issues d'organismes spécialisés comme la NOAA, l'IFREMER ou encore l'Ocean Biogeographic Information System (OBIS) ont également été exploitées pour garantir la fiabilité des informations.

Afin d'illustrer concrètement les mécanismes et les fonctions de la bioluminescence, il est pertinent d'examiner certains organismes emblématiques. Ces études de cas permettent de mieux comprendre comment ce phénomène est utilisé dans différents contextes biologiques et écologiques. Pour illustrer concrètement ces concepts, l'analyse de plusieurs organismes bioluminescents représentatifs est présentée ci-dessous.

Aequorea victoria

Cette méduse est l'un des organismes bioluminescents les plus étudiés, en raison de son importance majeure en biologie moléculaire. Elle produit de la lumière grâce à une

interaction entre une protéine appelée aequorine et la protéine GFP (Green Fluorescent Protein), qui émet une lumière verte lorsqu'elle est activée. Cette découverte, réalisée au XXe siècle, a profondément transformé la recherche scientifique.

La GFP est aujourd'hui utilisée comme marqueur génétique dans de nombreux domaines. En insérant le gène codant cette protéine dans des cellules ou des organismes, les scientifiques peuvent visualiser des processus biologiques invisibles à l'œil nu. Par exemple, elle permet d'observer la division cellulaire, l'expression de certains gènes ou encore la propagation de cellules cancéreuses.

De plus, cette technique est essentielle pour le développement de nouveaux traitements médicaux, car elle facilite l'étude du fonctionnement interne des cellules vivantes. L'utilisation de la GFP illustre parfaitement comment un phénomène naturel, comme la bioluminescence, peut être transformé en un outil scientifique puissant, contribuant à des avancées majeures en biologie et en médecine.

Vibrio fischeri

Cette bactérie représente un exemple emblématique de bioluminescence symbiotique. Elle vit en association étroite avec certains organismes marins, notamment des calmars, dans une relation bénéfique pour les deux partenaires. Les bactéries produisent de la lumière grâce à une réaction biochimique, tandis que l'organisme hôte leur fournit un environnement protégé et riche en nutriments.

Chez certains calmars, comme ceux du genre *Euprymna*, cette bioluminescence joue un rôle crucial dans le camouflage. Grâce au phénomène de contre-illumination, la lumière produite par les bactéries imite celle provenant de la surface, ce qui rend l'animal presque invisible pour les prédateurs situés en dessous. Ce mécanisme repose sur un contrôle précis de l'intensité lumineuse, ajustée en fonction de la luminosité ambiante.

De plus, cette interaction repose sur un processus appelé "quorum sensing", dans lequel les bactéries n'émettent de la lumière que lorsqu'elles sont suffisamment nombreuses. Cela montre que la bioluminescence peut être régulée collectivement, en fonction de la densité de population.

Cette étude de cas illustre l'importance des interactions entre espèces dans le fonctionnement des écosystèmes marins et montre que la bioluminescence peut résulter d'une coopération biologique complexe.

La baudroie

La baudroie des abysses est un exemple remarquable d'adaptation à la vie dans les profondeurs marines. Ce poisson utilise la bioluminescence comme un outil de chasse particulièrement efficace. Elle possède un appendice situé au-dessus de sa tête, appelé illicium, au bout duquel se trouve un organe lumineux contenant des bactéries bioluminescentes.

Dans l'obscurité totale des grands fonds, ce leurre lumineux attire les proies, qui le confondent avec une source de nourriture. Une fois la proie suffisamment proche, la baudroie la capture rapidement grâce à sa grande bouche et à ses dents acérées. Cette stratégie permet d'optimiser les chances de capture dans un environnement où les ressources alimentaires sont rares.

De plus, certaines espèces de baudroies présentent des adaptations extrêmes, comme le dimorphisme sexuel, où le mâle est beaucoup plus petit et peut fusionner avec la femelle. Bien que cela ne soit pas directement lié à la bioluminescence, cela montre l'ensemble des stratégies évolutives développées dans ces milieux.

Ainsi, la bioluminescence chez la baudroie illustre une utilisation active et spécialisée de la lumière, directement liée à la survie dans un environnement extrême.

Les siphonophores

Les siphonophores sont des organismes coloniaux fascinants, composés de plusieurs individus spécialisés appelés zooïdes, qui fonctionnent ensemble comme un seul organisme. Beaucoup d'entre eux possèdent la capacité de produire de la bioluminescence, souvent sous forme de signaux lumineux complexes et coordonnés.

Ces signaux peuvent avoir plusieurs fonctions. Ils peuvent servir à dissuader les prédateurs en produisant des éclairs lumineux soudains, ou à créer des illusions visuelles qui perturbent leur perception. Certaines espèces utilisent également la bioluminescence pour attirer des proies ou pour communiquer entre les différentes parties de la colonie.

De plus, les motifs lumineux observés chez les siphonophores peuvent être très élaborés, avec des séquences répétitives ou des variations d'intensité. Cela suggère un certain niveau de coordination et de spécialisation entre les zooïdes.

Cette organisation collective, combinée à l'utilisation de la lumière, montre que la bioluminescence peut jouer un rôle dans des stratégies complexes impliquant plusieurs individus. Elle illustre également la diversité des formes de vie marines et la manière dont la coopération peut renforcer l'efficacité des adaptations biologiques

Constats

L'analyse des données met en évidence plusieurs caractéristiques clés de la bioluminescence. De nombreux organismes possèdent des structures spécialisées, telles que des photophores, leur permettant de produire de la lumière et d'en moduler l'intensité ou la direction. Chez certaines espèces, cette émission est régulée par des mécanismes physiologiques, offrant la possibilité de l'activer ou de l'éteindre selon les besoins.

La bioluminescence joue un rôle central dans les réseaux trophiques des milieux marins profonds. Dans des environnements dépourvus de lumière solaire, elle facilite la localisation des proies et l'évitement des prédateurs. Certains prédateurs émettent des signaux lumineux pour attirer ou repérer leurs proies, tandis que d'autres espèces utilisent des éclairs ou des signaux détournants comme stratégie de défense. Ces interactions influencent la distribution et l'abondance des espèces, contribuant à l'équilibre des populations et à la dynamique des écosystèmes. Elles participent également aux flux de matière et d'énergie, notamment aux déplacements verticaux des organismes et au transfert de carbone vers les profondeurs océaniques, jouant ainsi un rôle dans la régulation du climat global.

Au-delà des interactions trophiques, la bioluminescence facilite la communication sociale. Elle permet la transmission de signaux pour la reproduction ou le regroupement et favorise la reconnaissance entre membres d'une même espèce, améliorant l'efficacité des comportements reproductifs. Elle intervient aussi dans les stratégies de camouflage influençant la répartition verticale des espèces, notamment dans la zone mésopélagique. La bioluminescence constitue

par ailleurs un indicateur de biodiversité. L'observation de sa présence ou de son intensité permet d'évaluer l'état des écosystèmes et de détecter des perturbations environnementales.

Enfin, les recherches sur la bioluminescence ont conduit à des applications scientifiques majeures, notamment en biologie moléculaire. Les propriétés des organismes bioluminescents inspirent également le développement de technologies innovantes, notamment dans les domaines de l'environnement et de l'éclairage durable.

Toutefois, la bioluminescence reste vulnérable aux pressions environnementales. Le réchauffement des océans peut modifier la répartition des espèces et perturber les équilibres établis, tandis que l'acidification des eaux affecte les réactions biochimiques nécessaires à la production de lumière. La pollution chimique, plastique et lumineuse en milieu marin peut interférer avec les signaux naturels, compromettant des fonctions essentielles telles que la communication et la reproduction. Ces facteurs montrent que, malgré son efficacité adaptative, la bioluminescence dépend étroitement des conditions écologiques et nécessite une protection attentive des écosystèmes marins profonds.

Discussion

Les résultats obtenus montrent clairement que la bioluminescence joue un rôle majeur dans les écosystèmes marins profonds. En l'absence de lumière solaire, cette capacité permet aux organismes de compenser un manque crucial de visibilité, assurant plusieurs fonctions vitales liées à la survie et aux interactions entre espèces. La capacité à produire de la lumière dans un environnement où la rencontre avec d'autres organismes est rare illustre l'efficacité des adaptations évolutives dans des conditions extrêmes.

L'analyse met également en évidence la diversité remarquable des systèmes bioluminescents, qui témoigne d'apparitions multiples au cours de l'évolution (Rees et al., 1998). Certaines espèces ont développé des photophores spécialisés capables de moduler l'intensité et la direction de la lumière, contrôlés par des mécanismes nerveux ou hormonaux. Ces adaptations montrent une optimisation énergétique significative : produire de la lumière sans générer de chaleur permet aux organismes de minimiser leur dépense calorique tout en augmentant leur efficacité pour la chasse ou la défense.

La bioluminescence ne se limite pas aux grands fonds marins. Elle existe également dans les milieux terrestres et d'eau douce, bien que sa fréquence et ses fonctions y soient beaucoup plus restreintes. Chez les lucioles ou certains champignons, la lumière sert essentiellement à la communication et à la reproduction, tandis que dans les environnements d'eau douce, sa rareté reflète des contraintes écologiques différentes, comme une lumière ambiante plus présente ou une biodiversité particulière. Cette comparaison inter-milieux souligne que la bioluminescence est une adaptation profondément modulée par les conditions environnementales, atteignant son niveau de complexité et de diversité maximal dans les océans profonds, où elle devient un élément structurant du fonctionnement écologique.

Dans le domaine énergétique, les propriétés naturelles de production de lumière, extrêmement efficaces, motivent le développement de solutions d'éclairage durable, utilisant des bactéries ou des protéines bioluminescentes pour réduire la consommation d'électricité et l'impact environnemental. Les perspectives futures incluent même la combinaison de la bioluminescence avec l'intelligence artificielle pour créer des systèmes autonomes de surveillance écologique ou de gestion des écosystèmes.

Cependant, plusieurs limites subsistent dans l'étude de la bioluminescence. Les grands fonds restent largement inexplorés, et de nombreuses espèces échappent encore à l'observation. La complexité des mécanismes biochimiques, avec des systèmes luciférine-luciférase variés, rend difficile l'interprétation et la généralisation des résultats. De plus, certaines espèces ne survivent pas en dehors de leur habitat naturel, ce qui complique les études expérimentales en laboratoire. Ces défis soulignent la nécessité de développer de nouvelles technologies d'exploration et d'analyse.

Les avancées récentes, comme les drones aquatiques, les véhicules sous-marins autonomes, les capteurs miniaturisés et les modèles informatiques sophistiqués, offrent des opportunités inédites pour étudier les comportements bioluminescents et leur impact sur les écosystèmes. La génomique et la biologie moléculaire permettent désormais d'identifier rapidement les gènes impliqués et de comprendre les voies biochimiques sous-jacentes. L'intégration de ces méthodes contribuera à une connaissance plus précise des interactions entre organismes et environnement et à la préservation des milieux profonds.

Ainsi, la bioluminescence constitue bien plus qu'un phénomène naturel fascinant. Elle est un moteur d'innovation scientifique et technologique, un indicateur de biodiversité et un élément clé dans le maintien des équilibres écologiques. Sa compréhension approfondie offre des perspectives considérables, tant pour la recherche fondamentale que pour le développement durable et médical, démontrant que la lumière produite par la nature peut inspirer des solutions pour relever certains des défis les plus complexes de notre époque.

Conclusion

Au terme de cette étude, plusieurs éléments essentiels peuvent être retenus. En conclusion, la bioluminescence est une adaptation remarquable, essentielle à la survie de nombreux organismes marins. Elle permet d'assurer des fonctions vitales déjà décrites, indispensables à la survie dans ces milieux. Ce phénomène illustre la complexité et la diversité de la vie dans les grands fonds, montrant que même dans des conditions difficiles, les organismes développent des stratégies efficaces pour s'adapter. Elle met également en évidence la capacité du vivant à exploiter des mécanismes physico-chimiques sophistiqués pour répondre aux contraintes de son environnement.

De plus, les recherches sur la bioluminescence révèlent des applications prometteuses dans plusieurs domaines, notamment en biologie, en médecine et en technologie. Ces applications confirment que ce phénomène naturel peut être exploité en recherche et en innovation. Ces avancées montrent que l'étude d'organismes parfois méconnus peut avoir un impact majeur sur la science moderne et contribuer à des progrès significatifs dans la recherche biomédicale et environnementale.

Cependant, ces découvertes soulignent également l'importance de préserver les écosystèmes marins profonds, qui restent encore largement inconnus et fragiles, non seulement pour maintenir la biodiversité, mais aussi pour permettre de futures avancées scientifiques. La disparition de certaines espèces pourrait entraîner la perte de connaissances et de ressources encore inexploitées.

Enfin, la bioluminescence reste un domaine de recherche en pleine expansion, dont les découvertes futures pourraient transformer notre compréhension du vivant et ouvrir de

nouvelles voies dans les sciences et les technologies. Elle représente ainsi un exemple concret du lien entre la recherche fondamentale et les applications pratiques, tout en rappelant l'importance d'explorer et de protéger les milieux naturels encore inconnus.

Au-delà des connaissances actuelles, la bioluminescence soulève encore de nombreuses questions scientifiques. Par exemple, les chercheurs cherchent à mieux comprendre l'origine évolutive précise de certains systèmes bioluminescents, ainsi que les variations chimiques entre les différentes luciférines observées chez les espèces marines. De nouvelles techniques, comme le séquençage génétique avancé et l'exploration robotisée des abysses, pourraient permettre d'identifier des organismes encore inconnus et de découvrir de nouveaux mécanismes de production de lumière.

Par ailleurs, la bioluminescence pourrait jouer un rôle important dans des domaines émergents, comme la recherche de vie extraterrestre. Certains scientifiques envisagent que des formes de vie sur d'autres planètes, notamment dans des environnements sombres comme les océans sous-glaciaires d'Europe (une lune de Jupiter), pourraient utiliser des mécanismes similaires pour produire de la lumière. Ainsi, l'étude de la bioluminescence ne se limite pas aux océans terrestres, mais contribue également à élargir notre compréhension des conditions nécessaires à la vie dans l'univers.

Recommandations

À partir des résultats obtenus et des limites identifiées, plusieurs recommandations peuvent être proposées dans les domaines de la conservation, de la science et de l'éducation. Il est nécessaire de poursuivre les recherches en développant des outils d'exploration adaptés aux grandes profondeurs, afin d'observer directement ces organismes dans leur environnement naturel. Par exemple, l'utilisation de robots sous-marins plus performants, équipés de caméras sensibles à la lumière faible, permettrait de mieux étudier les comportements bioluminescents sans perturber les espèces. Il est également important d'encourager une collaboration entre différentes disciplines, comme la biologie, l'ingénierie et l'informatique, afin de développer de nouvelles méthodes d'analyse et de collecte de données.

Tout d’abord, en ce qui concerne la conservation, il est important de protéger les habitats marins profonds contre les activités humaines qui peuvent les perturber, comme l’exploitation minière sous-marine ou certaines formes de pollution. Ces activités peuvent détruire des écosystèmes encore peu connus et entraîner la disparition d’espèces avant même leur découverte. La pollution lumineuse, même en mer, peut également affecter les organismes bioluminescents en perturbant leurs comportements naturels, notamment la communication, la reproduction et la chasse. Il est donc essentiel de mettre en place des réglementations internationales et des zones marines protégées pour préserver ces écosystèmes fragiles sur le long terme.

Ensuite, dans le domaine scientifique, il serait utile de renforcer le partage des données entre les chercheurs à l’échelle mondiale. La création de bases de données accessibles permettrait d’améliorer la compréhension globale de la bioluminescence et de faciliter les comparaisons entre différentes régions océaniques. Cela favoriserait également les avancées dans les applications biotechnologiques, notamment en médecine et en environnement.

Enfin, au niveau de l’éducation, il serait utile d’intégrer davantage la bioluminescence dans les programmes scolaires de sciences. Ce sujet peut aider à sensibiliser les élèves à la biodiversité marine, à l’importance des océans et aux enjeux environnementaux actuels. L’utilisation de supports visuels, de documentaires ou d’expériences simples en classe pourrait rendre cet apprentissage plus concret et engageant. Cela contribuerait à former une nouvelle génération plus consciente de la nécessité de protéger ces milieux.

Références

Haddock, S. H. D., Moline, M. A., & Case, J. F. (2010). *Bioluminescence in the sea. Annual Review of Marine Science*, 2, 443–493. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-120308-081028>

Haddock, S. H. D., Rivers, T. J., & Robison, B. H. (2017). *Depth distribution of bioluminescence in the ocean. Scientific Reports*, 7, 45750. <https://doi.org/10.1038/srep45750>

MBARI (Monterey Bay Aquarium Research Institute). (2017). *Three-quarters of deep-sea animals produce light*. <https://www.mbari.org/news/new-study-shows-that-three-quarters-of-deep-sea-animals-make-their-own-light/>

- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). (2023). *Deep-sea life*. <https://www.noaa.gov>
- Oba, Y., Schultz, D. T., & Meyer-Rochow, V. B. (2017). *Bioluminescence in marine organisms: Chemical diversity and ecological significance*. *Marine Biology*, *164*(10), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3162-1>
- Shimomura, O. (2006). *Bioluminescence: Chemical principles and methods*. World Scientific.
- Widder, E. A. (2010). *Bioluminescence in the ocean: Origins of biological light*. *Science*, *328* (5979), 704–708. <https://doi.org/10.1126/science.1174260>
- NCBI (National Center for Biotechnology Information). (2017). *Bioluminescence in marine organisms*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28374789/>
- Wilson, T., & Hastings, J. W. (1998). *Bioluminescence mechanisms*. *Annual Review of Cell Biology*, *14*, 197–230. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.14.1.197>
- Rees, J. F., et al. (1998). *Evolution of marine bioluminescence*. *Journal of Experimental Biology*, *201*, 1211–1221. <https://doi.org/10.1242/jeb.201.8.1211>
- Dunlap, P. V., & Kita-Tsukamoto, K. (2006). *Luminous bacteria*. In M. Dworkin et al. (Eds.), *The Prokaryotes* (pp. 1–26). Springer.
- Chalfie, M., Tu, Y., Euskirchen, G., Ward, W. W., & Prasher, D. C. (1994). *Green fluorescent protein as a marker for gene expression*. *Science*, *263* (5148), 802–805. <https://doi.org/10.1126/science.8303295>
- Tsien, R. Y. (1998). *The green fluorescent protein*. *Annual Review of Biochemistry*, *67*, 509–544. <https://doi.org/10.1146/annurev.biochem.67.1.509>
- Martini, S., & Haddock, S. H. D. (2017). *Bioluminescence as an ecological trait*. *Scientific Reports*, *7*, 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00901-4>

Annexes

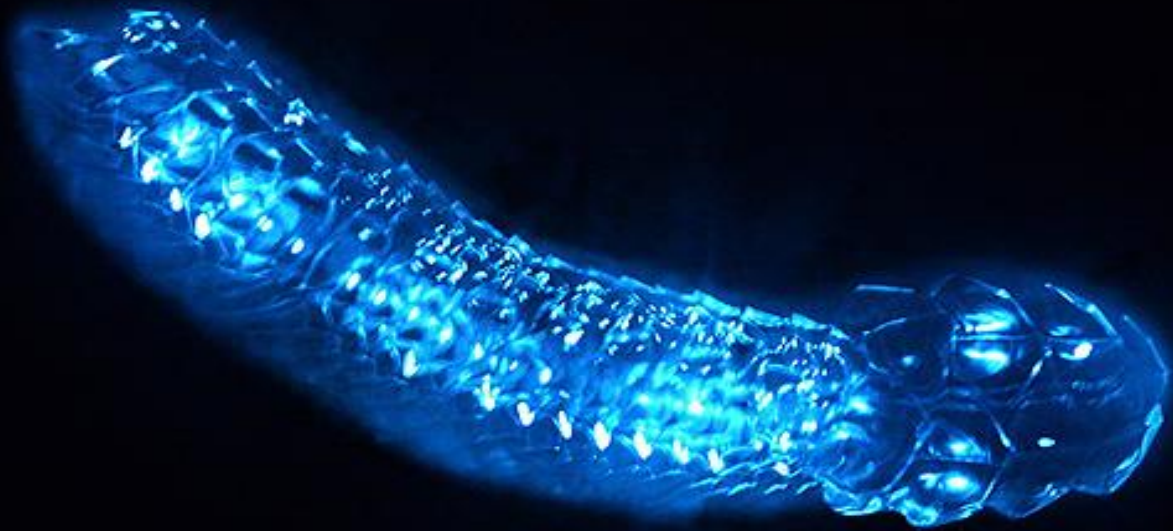


Figure 1. Cette image montre le siphonophore *Frillagalma vityazi* émettant de la bioluminescence en laboratoire.














Taxon	Observations (%)	
Hydromedusae	17.9	
Appendicularia	15.1	
Siphonophora	14.1	
Chaetognatha	11.5	
Crustacea	10.3	
Polychaeta	9.8	
Ctenophora	7.5	
Fishes	4.6	
Thaliacea	4.2	
Rhizaria	2.8	
Cephalopoda	1.3	
Scyphozoa	0.7	
Pteropoda	0.2	

Figure 2. Les taxons monophylétiques sont les Cnidaires (Hydromedusae, Siphonophora et Scyphozoa) avec 32,7 % des données, les Mollusques (Pteropoda et Cephalopoda) avec 1,5 % des données et les Urochordata (Thaliacea et Appendicularia) avec 23,9 % des données.

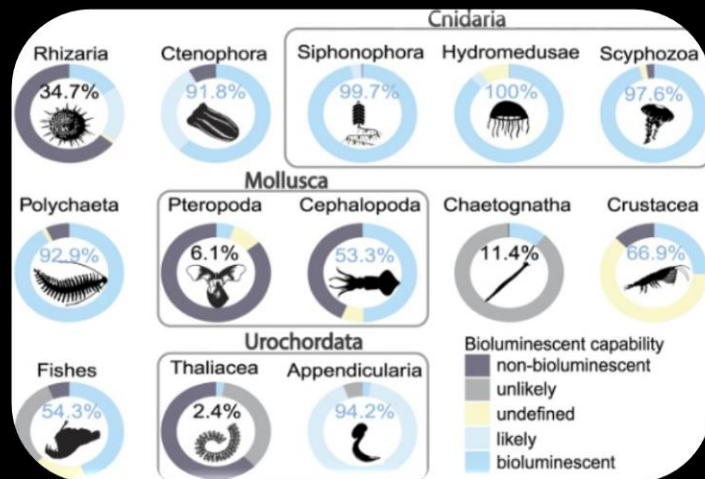
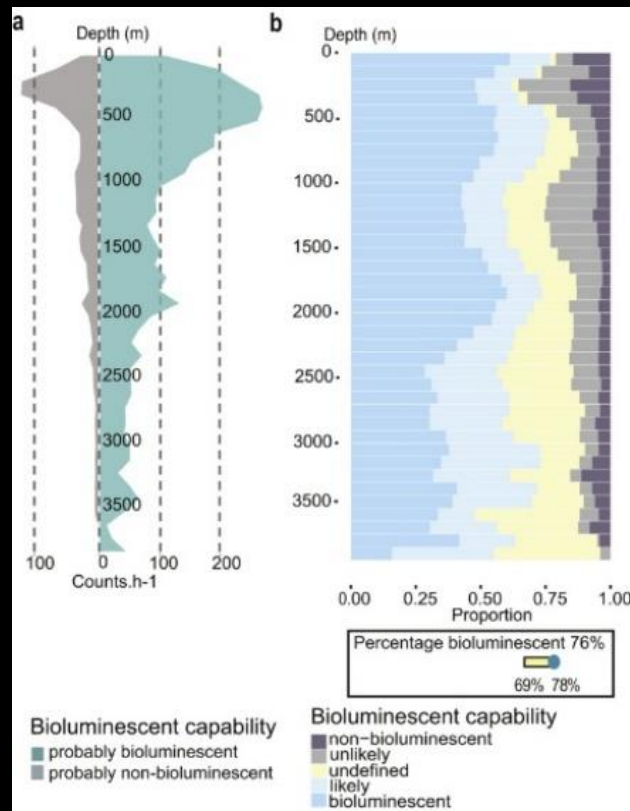


Figure 3. (a) Nombre d'observations (comptes par heure) dans la colonne d'eau pour les organismes probablement non bioluminescents (non bioluminescents et peu probables) et probablement bioluminescents (bioluminescents et probables). (b) Proportion de la capacité de bioluminescence répartie en fonction de la profondeur. Dans l'encadré inférieur, le pourcentage global d'organismes bioluminescents est représenté par 76 %. La variabilité de ce pourcentage, selon la classification des animaux non identifiés, est indiquée sur la barre jaune (de 69 à 78 %).

Figure 4. Les pourcentages représentent uniquement les organismes probablement bioluminescents par rapport à la somme des organismes probablement bioluminescents et probablement non bioluminescents. Les organismes non identifiés n'ont pas été pris en compte dans ces pourcentages. La couleur du texte indique la prédominance de la capacité. Les cadres gris délimitent les grands groupes taxonomiques : Cnidaires (Hydroméduses, Siphonophores et Scyphozoaires), Mollusques (Ptéropodes et Céphalopodes) et Urochordés (Thaliacés et Appendiculaires).

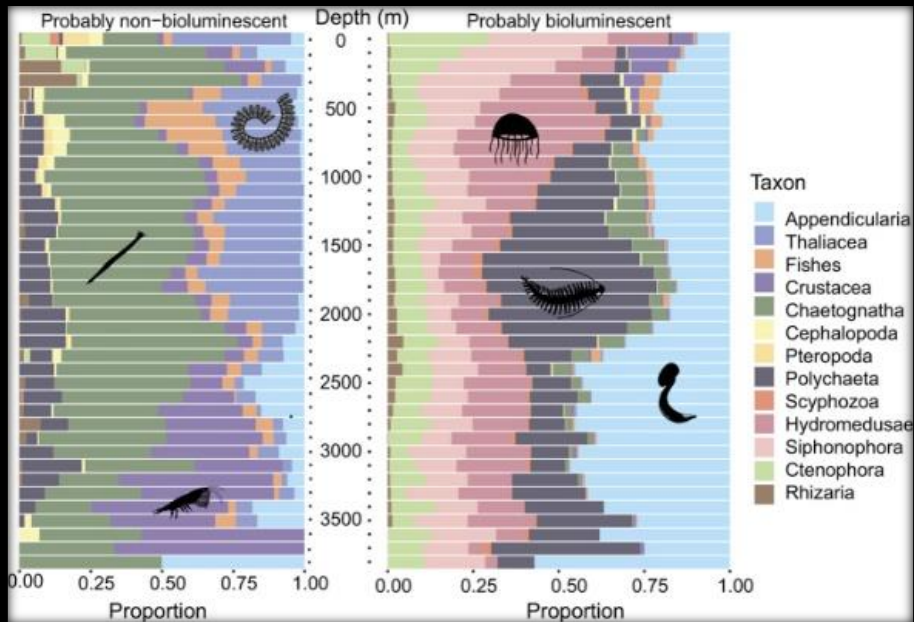


Figure 5. À gauche, composition taxonomique des observations probablement non bioluminescentes (y compris les observations improbables). À droite, composantes taxonomiques des observations probablement bioluminescentes (y compris les observations probables). Le nombre total d'observations diffère entre les deux panneaux et selon la profondeur, mais la proportion de chaque groupe (0 à 1) est représentée en fonction de la profondeur (de 0 à 3 900 m) par intervalles de 100 m.

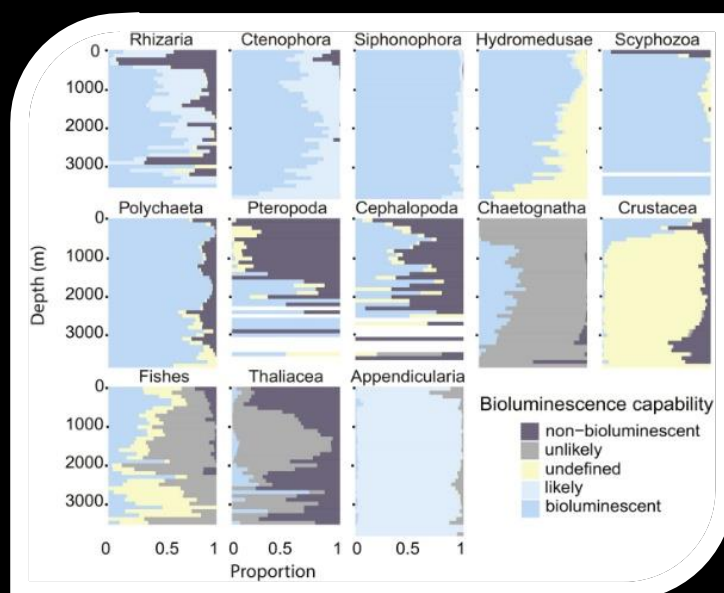


Figure 6. La proportion entre 0 et 1 de chaque groupe est représentée à l'aide de classes de 100 m de 0 à 3 900 m.

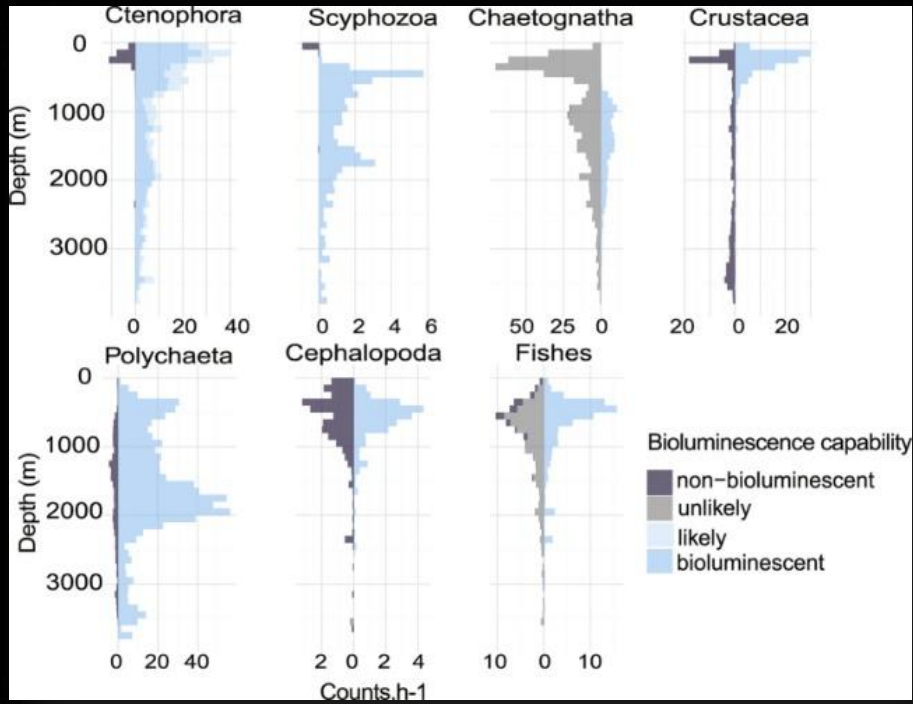
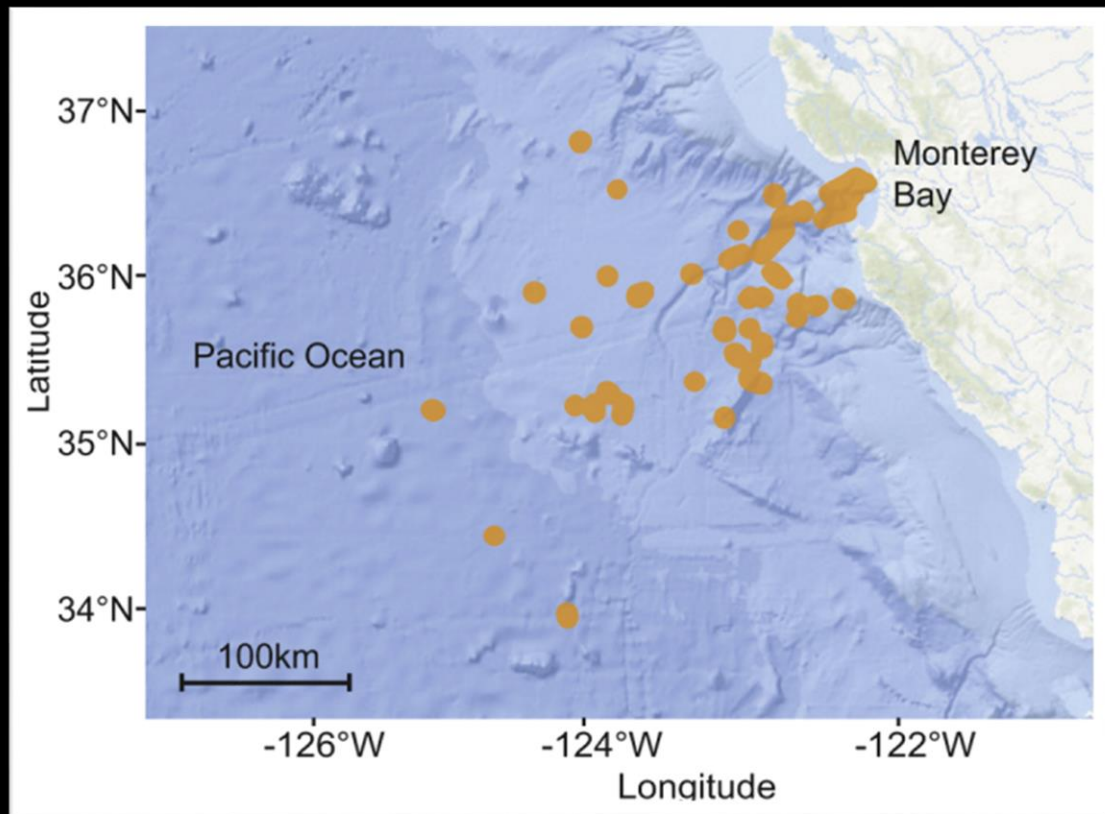


Figure 7. Le nombre de comptages d'animaux est normalisé par heure pour chaque groupe et est représenté en fonction de la profondeur (0 à 3 900 m) en utilisant des intervalles de 100 m.



Carte de l'océan Pacifique oriental et de la côte californienne montrant les stations d'échantillonnage (points orange) de mars 1999 à juin 2016 dans la région de la baie de Monterey.

Source des images et de leur texte

<https://www.mbari.org/news/new-study-shows-that-three-quarters-of-deep-sea-animals-make-their-own-light/>

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28374789/>

<https://www.phylopic.org/>

