

ARCTIQUE  
UNDER THE POLE

# UNDER THE POLE EDUCATION

## DOSSIER PÉDAGOGIQUE

## La bioluminescence et la fluorescence naturelle

Embarquez à bord de la goélette WHY pour Under The Pole III •  
Twilight zone, une exploration sous-marine de trois ans à travers le  
monde, de 2017 à 2020, de l'Arctique à l'Antarctique, de l'aventure  
humaine aux découvertes scientifiques.



Sous le Haut Patronage du



MINISTÈRE  
DE L'ÉDUCATION NATIONALE,  
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE

## EDITORIAL

### LE MOT D'EMMANUELLE & GHISLAIN

Depuis 10 ans, nous dirigeons et organisons les expéditions Under The Pole (UTP). Depuis le début de cette aventure, nous avons souhaité la partager avec le plus grand nombre et les élèves en particulier. Aujourd'hui, nous souhaitons proposer un programme spécifique Under The Pole Education pour suivre notre voyage de trois ans autour du monde, de l'Arctique à l'Antarctique. À bord de notre voilier WHY, nous sommes équipés des dernières technologies en termes de plongée sous-marine autonome pour aller explorer la «Twilight Zone».

Under The Pole III est l'occasion de découvrir les environnements marins, les enjeux liés aux changements climatiques autour du parcours du WHY et de quatre océans (Arctique, Pacifique, Antarctique et Atlantique). Nos expéditions sont dédiées à des projets scientifiques novateurs pour mieux comprendre puis vulgariser ces connaissances au plus grand nombre.

Que vous soyez professeur des écoles, enseignant de collège ou lycée, représentant scolaire, nous espérons pouvoir communiquer notre enthousiasme et transmettre notre curiosité à vos élèves en les emmenant avec nous à bord du WHY pour ce fabuleux voyage.

Emmanuelle Périé-Bardout &  
Ghislain Bardout  
Directeurs des expéditions Under The Pole

## SOMMAIRE

- #1 *La bioluminescence et fluorescence naturelle avec Under The Pole* p.4
- #2 *Bioluminescence et fluorescence naturelle* p.10
- #3 Les ateliers et animations p.16
- #4 Les ressources annexes p.21
- #5 Contact p.22

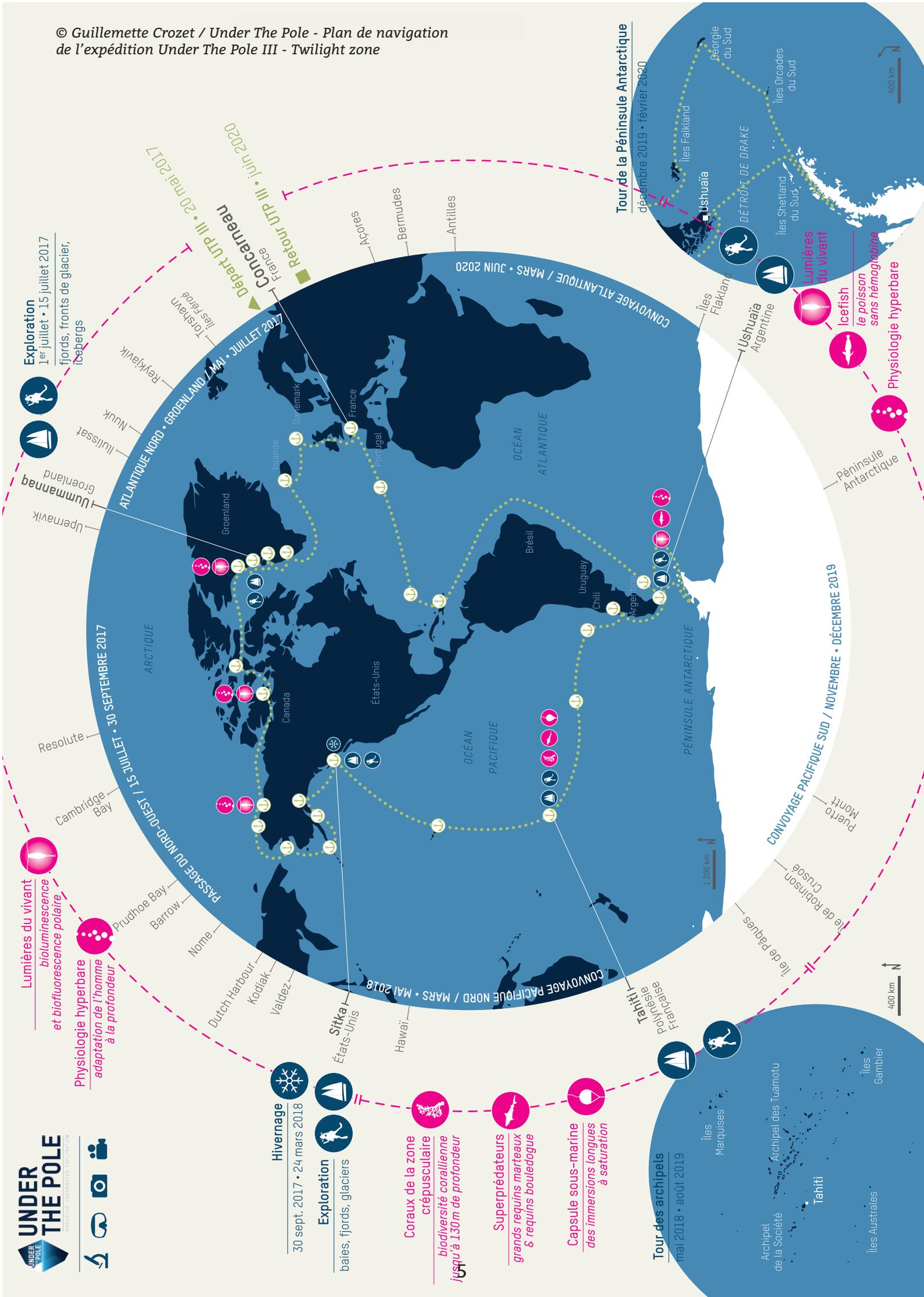




## # Under The Pole III • Twilight zone

De mai 2017 à juin 2020, Under The Pole part pour une aventure hors du commun dédiée à l'exploration des océans. Pendant trois ans, une équipe de plongeurs et de scientifiques parcourent le monde à bord de la goélette polaire WHY. Pour la première partie de l'expédition, l'équipe d'Under The Pole s'est rendue en Arctique. Après avoir traversé l'Atlantique, le WHY et son équipage ont remonté la côte ouest du Groenland en passant par les villages de Nuuk, Ilulissat et Uummannaq. L'équipe a ensuite traversé le passage du Nord-Ouest reliant l'océan Arctique au Pacifique, puis longé les îles et la côte de l'Alaska en faisant escale à Dutch Harbour et à l'île de Kodiak jusqu'à Sitka où le WHY est en hivernage jusqu'au printemps 2018. Ce premier « leg » a permis aux scientifiques et plongeurs à bord de mener à bien le programme d'étude, porté par Marcel Koken, chercheur au CNRS, de la bioluminescence et la fluorescence naturelle des espèces vivant en région Arctique.

« **Twilight Zone** » est le nom donné à cette expédition. Il fait référence à la partie de la colonne d'eau des océans de luminosité décroissante comprise entre 50 et 150 mètres de profondeur. L'objectif de l'expédition Under The Pole III est ainsi d'étudier le milieu sous-marin dans cette zone peu explorée jusqu'à présent et de développer de nouvelles techniques de plongée, pour prolonger la durée des immersions humaines.



**Lumières du vivant**  
bioluminescence  
et biofluorescence polaire

**Physiologie hyperbare**  
adaptation de l'homme  
à la profondeur.

**Hivernage**  
30 sept. 2017 - 24 mars 2018

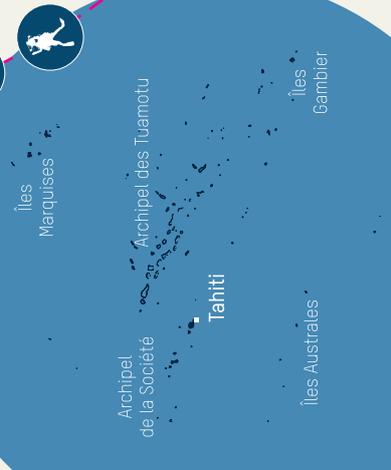
**Exploration**  
baies, fjords, glaciers

**Coraux de la zone crépusculaire**  
biodiversité corallienne  
jusqu'à 130m de profondeur

**Superprédateurs**  
grands requins marteaux  
& requins bouledogue

**Capsule sous-marine**  
des immersions longues  
à saturation

**Tour des archipels**  
mai 2018 - août 2019



**Tour de la Péninsule Antarctique**  
décembre 2019 - février 2020



**CONVOYAGE PACIFIQUE SUD / NOVEMBRE - DÉCEMBRE 2019**

le de Robinson  
le de Cruse  
le de Parques  
Puerto Montt

Ushuaia Argentine  
Îles Falkland  
Péninsule Antarctique



## # Les actions scientifiques liées à la bioluminescence et la fluorescence naturelle

La lumière joue un rôle essentiel dans l'écologie de nombreuses espèces marines. Certains animaux la produisent naturellement (bioluminescence), tandis que d'autres réémettent la lumière du soleil (fluorescence naturelle). Les utilisations de ces phénomènes sont multiples : communiquer entre espèces, se reproduire, se protéger face aux prédateurs, etc.

Bien documentées dans les eaux peu profondes et tropicales, la bioluminescence et la fluorescence naturelle sont deux disciplines scientifiques encore très peu étudiées dans les régions polaires. L'équipe du WHY est donc partie plonger dans la twilight zone en Arctique pour déceler et comprendre ces deux phénomènes dans cette région en compagnie du scientifique Marcel Koken.

Après une thèse en biologie moléculaire et cellulaire à l'Université Erasmus de Rotterdam, ce chercheur a orienté ses recherches vers les fonctions et mécanismes de la fluorescence animale et la bioluminescence.

Aujourd'hui, il poursuit ses travaux au Laboceca (CNRS) à Brest. Il fait donc partie de l'équipage du WHY pour la première partie de cette expédition et peut ainsi travailler au plus près de son milieu d'étude et des plongeurs.

© Jérémy Fauchet / Under The Pole - Infographie des actions réalisées lors du programme scientifique

### ② DANS LE LABORATOIRE DU WHY

Études préliminaires des espèces présentant de la bioluminescence ou de la fluorescence naturelle

- ◆ Injection d'une solution saline et/ou acide pour **inciter une réaction enzymatique**
- ◆ Prise de vue avec une caméra hautement sensible pour **figer l'émission des spectres lumineux**
- ◆ Conditionnement des échantillons dans l'azote liquide ou dans un congélateur à -80°C



### ① POUR CHAQUE SUBSTRAT

Échantillonnage d'espèce présentant de la bioluminescence ou de la fluorescence naturelle

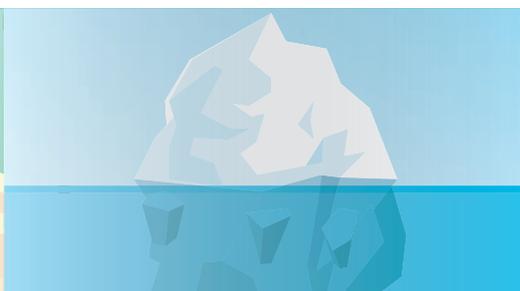
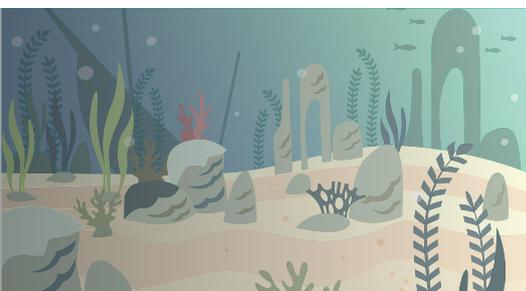
- ◆ **Stimulation physique** avec une tige métallique
- ◆ **Stimulation lumineuse** avec une lampe ultra violette



### ③ EN ANALYSE DE LABORATOIRE

Études approfondies des espèces présentant de la bioluminescence ou de la fluorescence naturelle

- ◆ **Extractions d'enzymes et de substrats**
- ◆ Étude des réactions physico-chimiques



## DE NOMBREUX PRÉLÈVEMENTS À DIFFÉRENTES FINALITÉS

Le conditionnement des échantillons diffère selon l'analyse à effectuer ultérieurement.

### CONDITIONNEMENT THERMIQUE

Les échantillons prélevés sont placés dans un congélateur à **-80°C**, à **-20°C** ou bien dans de l'**azote liquide** à **-196°C**.



#### OBJECTIFS

Le conditionnement à très faible température permet a posteriori l'analyse d'**ADN**, d'**ARN**, des **protéines** et l'**histologie**.



### CONDITIONNEMENT CHIMIQUE

Les échantillons prélevés sont placés dans de l'**éthanol** (80 à 90°) ou bien dans du **formol** (4 à 10°).



#### OBJECTIFS

Le conditionnement en solution alcoolisée a l'avantage de garder les propriétés biologiques de l'échantillon, et notamment la possibilité d'étudier les **protéines**.

### CONDITIONNEMENT PHYSIQUE

Les échantillons prélevés sont placés dans des **tubes de prélèvements**.



#### OBJECTIFS

Le conditionnement en tube (ou autres formats) a l'avantage de garder l'échantillon dans son intégralité et donc de faciliter l'**identification taxonomique**.



© Jérémy Fauchet / Under The Pole - Infographie du conditionnement des échantillons biologiques

## # Les objectifs de l'étude de la bioluminescence et de la fluorescence naturelle

L'étude de la bioluminescence et de la fluorescence naturelle a deux objectifs principaux : dresser un état des lieux de la fluorescence naturelle et de la bioluminescence en région polaire et comprendre l'utilité de ces deux phénomènes pour les espèces qui les produisent.

Les chercheurs espèrent découvrir et étudier pour la première fois des espèces fluorescentes et bioluminescentes dans les régions polaires et dans les zones mésophotiques (de 50 à 150 mètres sous la surface), moins lumineuses que les eaux de surface. L'étude de la bioluminescence et de la fluorescence naturelle en région arctique est particulièrement intéressante. En effet, l'Arctique est plongée dans l'obscurité la majeure partie de l'année et les cycles biologiques des espèces qui y vivent diffèrent complètement des autres régions du monde. Pendant neuf mois, elles sont plongées dans l'obscurité, puis vivent pendant trois mois sous un jour continu. Les neuf mois sombres présentent donc des conditions idéales pour les espèces bioluminescentes qui ont besoin d'obscurité pour être vues. Cependant, les trois mois de jour continu semblent peu propices à la fluorescence, puisque celle-ci est dépendante de la lumière du soleil pour la transformer.

L'étude réalisée sur le WHY a donc comme objectif de découvrir comment ce monde polaire brille sous l'eau.

Les observations faites lors de l'expédition ont également pour but d'améliorer les connaissances sur la communication par le biais de signaux fluorescents entre les animaux. Ce domaine est encore largement inconnu. Les utilités peuvent être nombreuses : surprendre ou se camoufler pour éviter les prédateurs, attirer des proies, se reproduire, etc.

Les résultats des recherches seront accessibles à la communauté scientifique grâce aux publications des chercheurs embarqués, et au grand public par le biais d'images et documentaires. Comprendre le fonctionnement de la biofluorescence chez les animaux permet de transposer ces connaissances au domaine médical et biologique. Une "fluorescence naturelle" construite dans les laboratoires peut être utilisée pour suivre l'évolution d'un virus ou d'une bactérie pendant l'infection d'un animal, ce qui pourra contribuer à la mise au point d'antiviraux ou antibiotiques. En marquant des cellules cancéreuses, on pourra suivre le processus de la métastase et mettre au point des traitements.

## # L'adaptation du WHY pour l'étude de la bioluminescence et de la fluorescence naturelle

La goélette WHY est une base logistique de plongée capable de sillonner toutes les mers du monde. Grâce aux réserves de nourriture embarquée, à ses cuves de carburant, à un désalinisateur, la goélette de 20 mètres a une autonomie de deux mois avec douze équipiers. Des pôles aux tropiques, elle s'adapte aux besoins des scientifiques embarqués pour faciliter et encourager leurs recherches. Le WHY donne accès à des zones reculées, en dehors des routes habituelles des navires océanographiques.

À bord du WHY, du lever au coucher de l'équipage, le carré (la pièce de vie commune) se transforme successivement en salle à manger, salle de travail, salle de jeux et laboratoire d'observation. L'organisation de la vie à bord doit alors être la plus rigoureuse possible pour que les journées se passent bien.

Durant la première partie de l'expédition, le WHY a été adapté pour répondre aux besoins des recherches menées par Marcel Koken.

La goélette a donc été équipée d'une chambre noire afin d'étudier les espèces fluorescentes, d'éclairage spécifique, d'une loupe binoculaire, d'un microscope, d'un spectrophotomètre, d'un spectrofluorimètre et d'un congélateur -20°C et -80°C.

Les plongeurs d'Under The Pole doivent eux aussi s'équiper d'un matériel spécifique à cette étude. Ils utilisent des propulseurs sous-marins et des scaphandres à circuits fermés (ou "recycleurs") qui permettent de plonger plus longtemps, plus profond et d'approcher au plus près la faune car ils ne font pas de bulles et sont donc silencieux. Les plongeurs portent également des masques munis d'un filtre jaune permettant de voir les espèces fluorescentes éclairées par des lampes UV et bleue (400 nm - 450 nm) destinées à déclencher le phénomène de fluorescence. Sous l'eau, ils ramassent des échantillons de tout ce qui semble fluorescer. Une fois à bord, les espèces prélevées sont inspectées à l'aide de caméras très sensibles pour vérifier qu'il s'agit bien d'un phénomène de fluorescence, qui peut parfois être confondu avec une réflexion de lumière.



Lors des immersions sous-marines, une prospection aléatoire est réalisée. À l'aide d'une tige métallique, les plongeurs stimulent les espèces marines pour identifier les espèces dégageant de la lumière. Si aucune réaction n'est constatée, les plongeurs utilisent des lampes spéciales pour exciter la potentielle fluorescence des espèces. Lors de rencontres avec les dites espèces, ces dernières sont filmées lors de la réaction, et échantillonnées pour être ensuite remontées à bord du bateau d'expédition.

Les études post-expédition, en laboratoire, permettront d'extraire l'ADN, l'ARN, les protéines, et de réaliser des identifications et des histologies des espèces récoltées.

© Jérémy Fauchet / Under The Pole - Adaptation du WHY pour l'étude de la bioluminescence et de la fluorescence naturelle

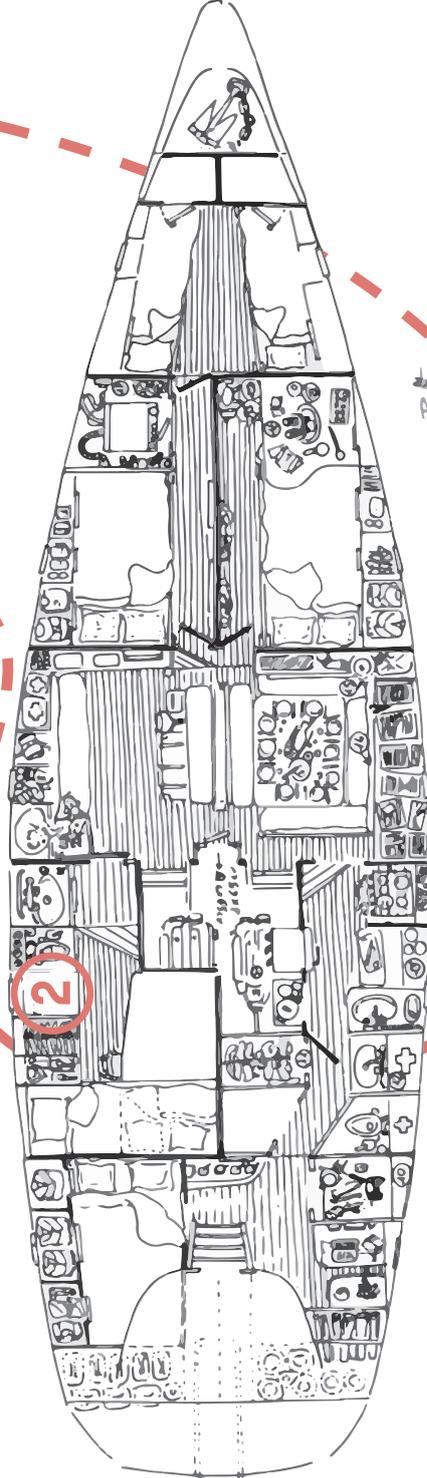
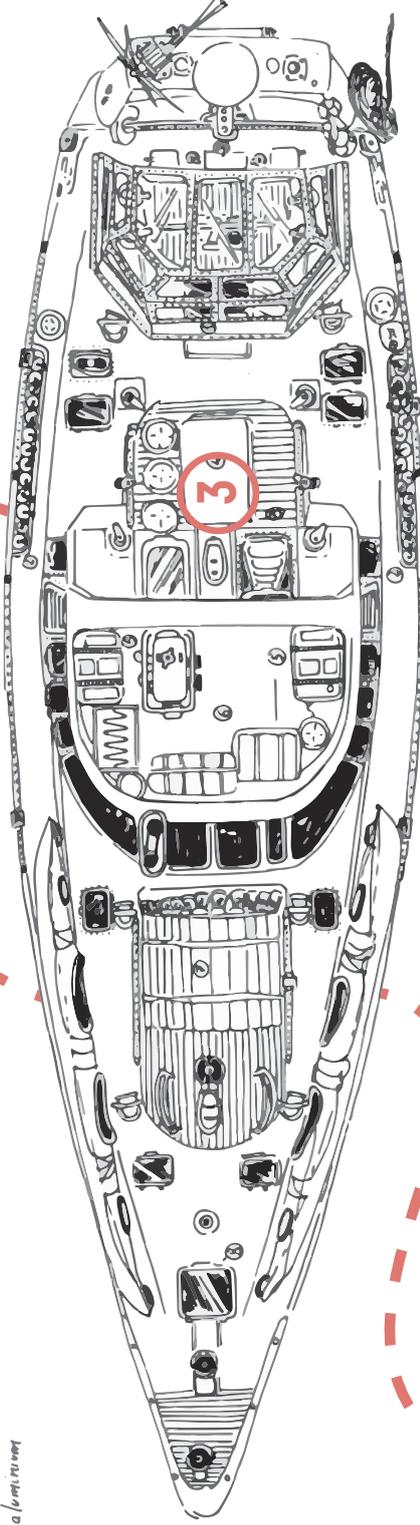
UNDER THE POLE

4

1

Bateau 'WHY' : dériveur intégral en aluminium

- Matrice: J.P. Brous
- Longueur: 19,50 m
- Largeur: 5,50 m
- Tirant d'eau: 1,30/1,40 m
- Poids: 40 tonnes
- Tirant d'air: 20 m
- Surface de voile: 250 m<sup>2</sup> (CV, Génoris 2x, Tempête)
- Motorisation: 2 x 65 CV
- Réservoir d'eau: 1000 L
- Réservoir gaz: 2000 L
- Matériaux: 60 Aluminium
- Châtrage central
- Capacité d'accueil: 12 pers. ou 5 alibis



Dans le laboratoire du WHY : les espèces préalablement récoltées sont étudiées. Afin de déclencher les réactions de bioluminescence ou de fluorescence naturelle, une injection saline (et/ou acide) est dissoute dans l'échantillon. Ce choc osmotique et/ou chimique a pour rôle d'inciter la réaction enzymatique des espèces utilisant la bioluminescence ou fluorescence. Lors de cette réaction, le phénomène est filmé avec une caméra hautement sensible pour figer les spectres d'émissions lumineuses.

Pour les individus sélectionnés, ces derniers sont congelés dans de l'azote liquide, pour des analyses ultérieures en laboratoire. Avant le transfert en azote liquide, les échantillons sont conservés dans un congélateur à -80°C.

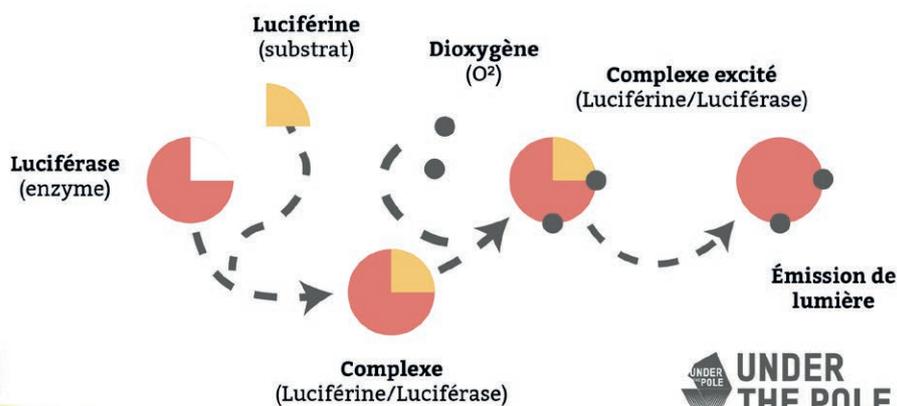
# LA BIOLUMINESCENCE, AU SERVICE DE LA FAUNE ET DE LA FLORE MARINE

Quels que soient les êtres vivants, la bioluminescence est le résultat d'une **réaction** entre une enzyme, nommée **luciférase** et un substrat nommé **luciférine**. Ce type de réaction que l'on observe chez le vivant est une réaction se déroulant en deux étapes :

- ♦ formation d'un complexe enzyme substrat,
- ♦ succession de réactions biochimiques permettant la transformation de substrat en produit.



La nuit, au moindre contact, les photophores du cténophore s'illuminent par bioluminescence.



© Jérémy Fauchet / Under The Pole - Formation de la bioluminescence

## # La bioluminescence et la fluorescence naturelle

Le terme « luminescence » désigne une émission de lumière dite « froide » par opposition à la lumière « chaude », qui résulte d'une incandescence. Cette émission résulte des interactions entre des particules électriquement chargées. Dans la plupart des cas, ce sont des transitions électroniques qui ont lieu dans des atomes, des molécules ou des cristaux et qui provoquent l'émission de photons par excitation, puis restitution de l'énergie absorbée par les électrons. L'énergie nécessaire pour permettre cette émission est initialement fournie sous forme électrique, chimique, mécanique ou lumineuse. Plusieurs types de luminescence se distinguent selon le mode d'excitation.

La bioluminescence et la fluorescence sont deux types de luminescence :

La bioluminescence est le résultat d'une réaction chimique produite par certains organismes vivants : en présence d'oxygène, une protéine, la luciférase, et son substrat, la luciférine s'associent pour former un composé énergiquement instable, l'oxyluciférine. Le retour à la stabilité permet l'émission d'un photon et produit donc de la lumière. L'énergie chimique est ainsi transformée en énergie lumineuse.

La fluorescence s'opère lorsque le fluor absorbe de l'énergie lumineuse, s'excite, et la réémet dans une longueur d'onde différente (d'une autre couleur). Dans ce cas, l'émission de lumière s'arrête instantanément après l'exposition à la lumière d'excitation.



## # La répartition mondiale des espèces bioluminescentes et fluorescentes

### La Bioluminescence

Les premières espèces connues de l'Homme capables de produire de la lumière sont les lucioles et les vers luisants. Cependant, le nombre d'espèces bioluminescentes sur terre est limité par rapport à celui des espèces présentes dans les mers et les océans. Les bactéries produisant de la lumière se retrouvent dans le milieu terrestre et le milieu marin, ce sont des « photobactéries ». Chez les végétaux, on retrouve des espèces bioluminescentes chez certains types d'algues, cependant, aucune plante à fleurs bioluminescente n'a été recensée. Chez les animaux, qu'ils soient marins ou terrestres, de nombreuses espèces bioluminescentes ont été découvertes. Les animaux bioluminescents marins se retrouvent principalement dans les grandes profondeurs. La lumière produite est généralement de longueur d'onde correspondant au bleu, longueur d'onde capable de se propager le plus loin à ces profondeurs.

À partir de 850 mètres de profondeur, 90% des poissons, méduses, calamars, crevettes, etc. sont bioluminescents.

### La fluorescence naturelle

De nombreuses espèces fluorescentes ont été observées dans la nature, sur terre comme dans les mers et les océans. Il en existe dans les catégories suivantes : les champignons, les fruits comme les bananes, les végétaux contenant de la quinine, les arthropodes comme les scorpions, les mammifères, une espèce de grenouille arboricole. Dans les fonds marins, on retrouve ce phénomène chez certains petits crustacés (copépodes), chez les crustacés comme les crevettes-mante ou les squilles et chez les anémones de mer et les coraux. En général, la fluorescence de ces espèces se révèle sous la lumière ultraviolette.

## # Notions biologiques et physico-chimiques de la bioluminescence et de la fluorescence naturelle

### La bioluminescence : une réaction enzymatique

Une réaction enzymatique est une réaction chimique qui ne peut avoir lieu qu'en présence d'un catalyseur. La réaction chimique en l'absence de catalyseur serait possible, mais prendrait un temps quasiment infini. Lors d'une telle réaction, une enzyme, qui est le catalyseur, fixe une molécule pouvant spécifiquement interagir avec elle. C'est le substrat de l'enzyme. Une enzyme est une protéine ayant une double spécificité. La spécificité d'action : une enzyme ne peut catalyser qu'une seule réaction chimique. La spécificité de substrat : une enzyme ne peut se lier qu'à un substrat. On parle pour cette dernière spécificité d'interaction clé-serrure -ou la clé est le substrat et la serrure l'enzyme. Pour la réaction enzymatique de bioluminescence, l'enzyme s'appelle la luciférase et son substrat la luciférine. Au sein des espèces bioluminescentes, il existe une trentaine de luciférines différentes ainsi que de nombreuses luciférases. L'exemple de réaction le plus courant n'est pas tiré d'une espèce marine mais des lucioles.



© Lise Hascoët / Under The Pole - Ctenophore

### La fluorescence naturelle, une idée lumineuse

Pour comprendre le fonctionnement de la fluorescence, il faut comprendre ce qu'est la lumière. S'il est important de bien définir la lumière, c'est parce que c'est un outil prédominant dans l'étude scientifique des objets, et donc du vivant. Précisément, le domaine consacré à l'étude de la lumière s'appelle la spectrométrie ; on comprend bien l'importance de ce secteur quand on parle de bioluminescence et de fluorescence naturelle.

La lumière est aujourd'hui définie en même temps comme un phénomène ondulatoire et un phénomène corpusculaire. En d'autres termes, la lumière est à la fois décrite comme étant :

- une onde électromagnétique, dont on peut connaître la longueur d'onde et la fréquence ;
- un ensemble de particules, les photons. Le photon est défini par la mécanique quantique comme étant le quantum d'énergie lumineuse : c'est la plus petite mesure indivisible de cette énergie.

La lumière naturelle qui a permis l'apparition de la vie sur Terre et qui alimente toujours la vie sur notre planète est émise par le soleil. Cette lumière, l'être humain n'en perçoit qu'une partie, qu'on appelle spectre visible de la lumière. Ce spectre est composé de l'ensemble des longueurs d'onde comprises entre 400 et 700 nm. On peut facilement décomposer ce spectre de lumière blanche, polychromatique et observer ses composantes monochromatiques à l'aide d'un prisme.

Pour capter les longueurs d'onde extérieures à ce spectre visible, les scientifiques ont recours à différents appareils : les spectromètres. Pour la fluorimétrie on utilise plus précisément un spectromètre de fluorescence. Cet appareil émet de la lumière dans l'ultra-violet (UV) ce qui excite les électrons des potentiels fluorophores contenus dans l'échantillon. En présence de fluorophores, l'échantillon réémet de la lumière de longueur d'onde différente, qui sera captée par l'appareil. La longueur d'onde émise étant propre au fluorophore excité, il est alors possible de caractériser une espèce par sa fluorescence.

## # Problématiques autour de la bioluminescence et de la fluorescence

La zone étudiée lors de l'expédition Under The Pole III, Twilight zone, est située entre 30 et 150 mètres de profondeur. Cette zone n'a pas été beaucoup échantillonnée jusqu'alors puisque dans le cadre des expéditions scientifiques, les plongeurs scientifiques ne peuvent descendre au-delà de 50 mètres. Les robots quant à eux, sont utilisés pour étudier des profondeurs beaucoup plus importantes, au-delà de 150 mètres sous la surface. Les techniques utilisées par les plongeurs d'Under The Pole permettent d'accéder à ces profondeurs. Ils mettent ainsi à profit leur expérience de la plongée en milieu extrême et reculé dans la recherche scientifique pour permettre l'étude de ces zones méconnues.

De plus, il est intéressant d'envoyer des plongeurs plutôt que des robots pour l'étude de la bioluminescence et la fluorescence naturelle, car ces derniers peuvent endommager les fonds marins et les échantillons. Les plongeurs sont plus précis et minutieux et peuvent retranscrire plus fidèlement ce qu'il se passe sous leurs yeux sous l'eau.

La profondeur à atteindre pour cette étude n'est pas la seule difficulté à relever. Les plongeurs doivent également pouvoir rester longtemps sous l'eau à ces profondeurs afin d'effectuer leurs prélèvements et d'observer le

comportement, dans leur milieu, des espèces étudiées. Ils utilisent donc un recycleur, matériel nécessitant un entraînement spécifique.

Le froid et la logistique à mettre en place autour de ces plongées sont également des problèmes à ne pas négliger.

### Le recycleur :

**Le recycleur est un scaphandre de plongée sophistiqué et autonome qui permet au plongeur de descendre aussi bien à six mètres qu'à 150 mètres sans changer sa configuration ou presque. Cette machine autorise désormais une exploration sous-marine longue et profonde. Grâce à un circuit fermé, un usage de gaz et une décompression optimisée, il récupère le gaz expiré, le traite, et le renvoie au plongeur, qui peut ajuster les gaz injectés selon ses besoins. Sans bulles, il permet également au plongeur d'approcher au plus près une faune marine souvent craintive. Cette technologie est réservée aux plongeurs disciplinés et bien entraînés. Le matériel doit être entretenu à la perfection et lors de la plongée, les niveaux de gaz doivent être ajustés avec précaution.**



## # La bioluminescence et la fluorescence en lien avec l'Homme

Depuis les temps anciens, l'Homme a été intrigué par les phénomènes de luminescence du monde vivant. En effet, l'écrit le plus ancien traitant de la luminescence est un recueil de chansons chinoises datant entre 1500 et 1000 av. J-C. Il relate l'observation de la bioluminescence de vers luisants et de lucioles.

Dans l'Antiquité gréco-romaine, le philosophe Anaximène (610-546 av. J-C) fait référence, dans ses écrits, à la phosphorescence de la mer. Pline l'Ancien (23-79) décrit plusieurs organismes luminescents dans son œuvre *Historia naturalis* : méduses, vers luisants, pholades (mollusque, que les Romains aimaient manger, rendant leur langue phosphorescente), champignons.

Au Moyen-âge, la science étant traitée par les hommes et femmes d'églises, cette période fût pauvre en observation scientifique nouvelle, et peu de références à la luminescence naturelle sont faites. En effet, les lucioles étaient considérées comme les esprits des ancêtres disparus, en faisant un sujet tabou.

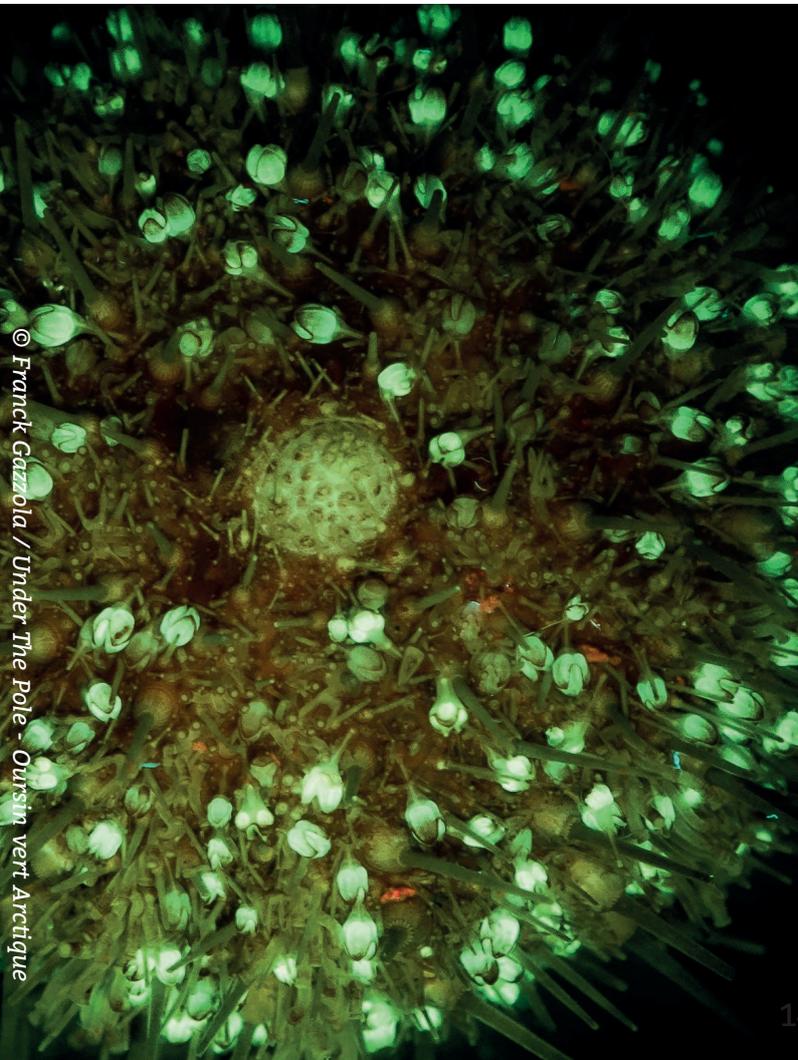
Pendant la Renaissance, Conrad Gessner (1516 – 1565) écrit le premier livre entièrement consacré à la bioluminescence, une compilation des constatations des précédents auteurs de l'Histoire. Ce livre est uniquement dédié au phénomène de la luminescence et a eu le mérite d'attirer, par la suite, l'attention des premiers véritables expérimentateurs.

En 1753, Benjamin Franklin (1706- 1790) écrit : « Il est possible qu'un très petit animalcule, trop petit pour être visible même à l'aide des meilleurs verres, soit capables de produire de la lumière ». C'est le premier à s'orienter vers la bonne solution concernant les lueurs marines.

Au XIXe siècle, Charles Darwin (1809-1882), témoin au cours d'un de ses voyages d'un phénomène de bioluminescence d'un banc de méduse, s'intéressa à la luminescence animale. Au chapitre six de l'Origine des espèces, consacré aux difficultés de la théorie de la sélection naturelle, il écrit :

« Les organes lumineux qui se rencontrent chez quelques insectes appartenant à des familles très différentes et qui sont situés dans diverses parties du corps, offrent, dans notre état d'ignorance actuelle, une difficulté absolument égale à celle des organes électriques. ». Ce n'est qu'en 1885, que le médecin et pharmacien français Raphaël Dubois (1848-1929) découvre la réaction enzymatique impliquée dans la bioluminescence. Ses travaux sur une espèce de luciole *Pyrophorus* de Jamaïque lui ont permis de prouver que l'émission de lumière résulte d'une réaction entre deux substances, en présence d'oxygène : une enzyme qu'il baptise luciférase, et son substrat qu'il nomme luciférine. En 1914, il publie *La vie et la lumière*, un ouvrage dans lequel il expose le résultat de ses études sur l'émission de lumière par les êtres vivants.

Pour plus de précision sur la bioluminescence, il faudra attendre la fin de la Seconde Guerre Mondiale. Le biochimiste américain William. David Mc Elroy (1917-1999) montre alors que la réaction enzymatique à l'origine de la bioluminescence nécessite la présence d'ATP (Adénosine triphosphate) et d'ion magnésium  $Mg^{2+}$ .



## # Les solutions apportées par l'étude de la Bioluminescence et fluorescence naturelle

La bioluminescence et la fluorescence naturelle sont utilisées dans de nombreux domaines allant de la biochimie aux biotechnologies en passant par l'art et le design.

Grâce à la découverte de la GFP (en anglais « Green Fluorescent Protein »), une protéine présente chez *Aequorea victoria*, une méduse bioluminescente, il est aujourd'hui possible de suivre la synthèse d'une protéine au sein d'un organisme vivant par suivi de fluorescence. Le gène permettant la synthèse de cette protéine peut être ajouté au gène de la protéine dont on veut suivre la synthèse. On obtient alors un gène appelé « gène recombinant », qui est introduit dans les cellules étudiées. Si les cellules synthétisent la protéine d'intérêt (on parle maintenant de protéine recombinante), on pourra suivre l'évolution de cette production en direct et dans l'organisme vivant par fluorescence. Fini le suivi par marquage radioactif ou autre méthode mortelle dans de nombreux cas.

Des utilisations artistiques ou utilitaires peuvent aussi être envisagées avec par exemple la création de la lampe vivante de Raphaël Dubois en 1914 ou plus récemment de Glowee, une société qui propose la production biologique de lumière à plus grande échelle.

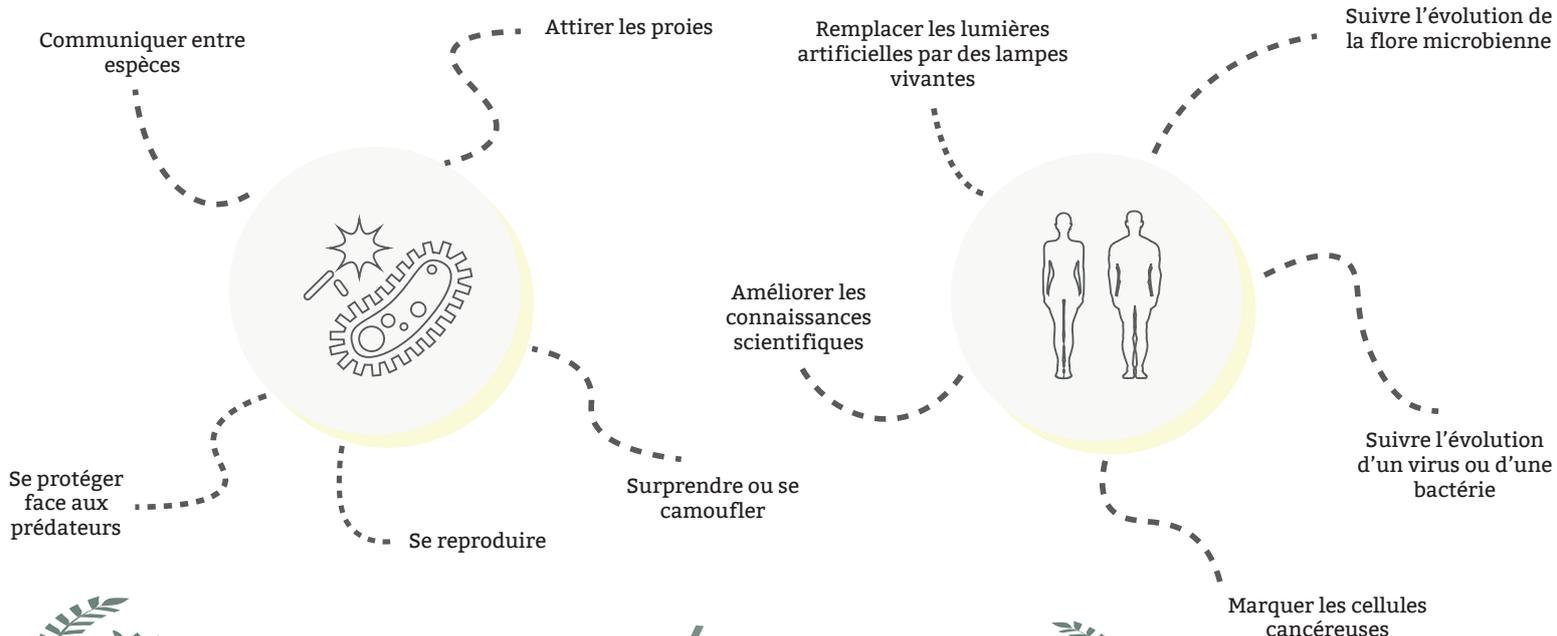
© Jérémy Fauchet / Under The Pole - Infographie des actions liées à l'utilisation de la bioluminescence ou de la fluorescence naturelle

## DE L'ÉTUDE BIOCHIMIQUE AUX FINALITÉS ANTHROPIQUES



### VIVRE, SURVIVRE ET ...

### TRANSPOSER CES CONNAISSANCES





## ACTIVITÉS N°1 : LA LUMINESCENCE ET SES FONCTIONS

**NIVEAU / CYCLE :** Cycle 2, CE2

**DISCIPLINE :** Sciences du vivant

**DURÉE :** 1 heure

**RÉFÉRENCE AU PROGRAMME :** Découverte du monde vivant et de sa diversité

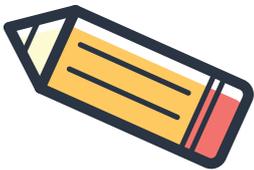


### COMPÉTENCES TRAVAILLÉES :

- ◆ Développer sa curiosité sur le monde qui nous entoure
- ◆ Être capable de localiser et identifier différents éléments d'un être vivant
- ◆ Réfléchir sur le mode de vie de certaines espèces

### PROBLÉMATIQUES ABORDÉES :

- ◆ Qu'est-ce que la luminescence ?
- ◆ Quelle est son utilité dans le monde vivant ?
- ◆ Quelles espèces sont capables d'émettre de la lumière ?



### DÉROULÉS :

#### Phase 1 : Définition

Le terme « luminescence » désigne une émission de lumière « froide ». En effet, par opposition à la lumière « chaude » qui résulte d'une incandescence, la luminescence ne produit pas de chaleur. Dans la nature, plusieurs êtres vivants, que ce soient des plantes, des animaux ou des champignons, sont capables d'émettre de la lumière.

- ◆ Faire réfléchir les élèves sur l'utilité pour ces êtres vivants d'émettre de la lumière.

#### Phase 2 : Réponses

- ◆ Attraction de proies, reproduction, défense, camouflage, communication, s'éclairer.
- ◆ Donner aux enfants une photo de chaque espèce suivante en couleur, et une photo en noir et blanc. Ils devront ensuite colorier en jaune les parties luminescentes de chaque espèce sur la photo en noir et blanc, puis, deviner à quoi sert la luminescence pour chaque espèce.



### RESSOURCES UTILISÉES :

<http://bioluminescence-rocroy.e-monsite.com/album/faune/baudroi.html>

<http://tolweb.org/tree/ToLimages/japetellaside.250a.jpg>

<http://nsuworks.nova.edu/deep-sea-images/>

<https://www.montereybayaquarium.org/animal-guide/invertebrates/midwater-jelly>

### MODALITÉS :

Il s'agit de faire découvrir aux élèves la diversité du monde vivant à travers le phénomène de la luminescence des êtres vivants. Ils devront localiser les sources de lumière sur différentes espèces et réfléchir à leur utilité.

- ◆ La baudroie abyssale : Attraction de proies  
Elle se sert de son appendice lumineux, situé juste devant sa gueule, pour attirer ses proies. La lumière étant très rare à ces profondeurs, les poissons et autres espèces sont attirés par la moindre émission de lumière.

- ◆ Pieuvre Japetella : Reproduction  
Les femelles émettent de la lumière qu'à la maturité sexuelle pour attirer les mâles. Cette lumière cesse lorsqu'elles ne sont plus reproductrices.

- ◆ La méduse soyeuse : Défense  
Lorsqu'elle est attaquée, ses tentacules se détachent et s'éclairent subitement. Le prédateur est pris par surprise, ce qui laisse le temps à la méduse de s'échapper.

- ◆ Le poisson dragon : S'éclairer  
Il produit une lumière rouge que lui seul peut voir. Il peut ainsi voir ses proies sans être repéré.



## ACTIVITÉS N°2 : PHOSPHORESCENCE ET FLUORESCENCE

NIVEAU / CYCLE : Cycle 3, CM2

DISCIPLINE : Sciences

DURÉE : 2 heures

RÉFÉRENCE AU PROGRAMME : Découverte de la diversité des êtres vivants



### COMPÉTENCES TRAVAILLÉES :

- ◆ Construire une réflexion autour d'une problématique
- ◆ Développer son sens de l'observation
- ◆ Tirer une conclusion à partir d'observations
- ◆ Développer sa curiosité sur le monde qui nous entoure

### PROBLÉMATIQUES ABORDÉES :

- ◆ Qu'est-ce que la phosphorescence et la fluorescence ?
- ◆ Comment les différencier ?
- ◆ Comment détecter ces phénomènes dans les



### DÉROULÉS :

#### Phase 1 : Définitions

- ◆ Phosphorescence : C'est l'émission de lumière consécutive à une exposition à une source lumineuse qui perdure une fois que l'exposition a cessé. Cette émission de lumière peut continuer pendant plusieurs heures dans certains cas.
- ◆ Fluorescence : C'est l'émission de lumière consécutive à une exposition à une source lumineuse qui cesse une fois que celle-ci est retirée. La lumière réémise par l'objet fluorescent peut avoir la même couleur que la source lumineuse, ou une couleur différente.

#### Phase 2 : Animation

Une fois les deux termes définis et assimilés, faire deviner aux élèves comment, lorsqu'on possède divers objets phosphorescents et fluorescents, on peut déterminer lesquels phosphorescent et lesquels fluorescent.

Pour détecter la fluorescence : il faut éclairer l'objet avec une lampe UV. Si l'objet n'est pas éclairé par la lampe, il ne fluoresce pas.

- ◆ Présenter aux élèves plusieurs objets phosphorescents, fluorescents et non photoluminescents. Ils devront, à l'aide de lampes UV, classer les objets selon les trois



objets de notre quotidien et dans la nature ?

### RESSOURCES UTILISÉES :

- ◆ Bibliothèque numérique de la plateforme Under The Pole Education

### MODALITÉS :

Il s'agit de faire découvrir aux élèves comment certains objets et êtres vivants réagissent à leur exposition à la lumière, à travers un jeu pendant lequel ils devront classer des objets du quotidien selon leur capacité à phosphorescer ou fluorescer.

catégories.

La phosphorescence et la fluorescence sont présentes dans divers objets du quotidien.

Objets phosphorescents : Etoiles à accrocher dans les chambres d'enfants, aiguilles de montres ou de réveils, pictogrammes de sécurité pour les pannes de courant, peintures (visibles dans certains clips musicaux), etc.

Objets fluorescents : De manière générale, la fluorescence se traduit par l'émission de lumière visible à partir d'une lumière invisible (UV). De ce fait, les objets fluorescents paraissent plus lumineux que les objets de même couleur qui ne fluorescent pas. Cette caractéristique est exploitée pour les objets qui ont besoin d'être mis en évidence, en facilitant leur visibilité, comme les gilets de sécurité ou certaines parties des avions. On retrouve également le phénomène de fluorescence dans des tubes et lampes fluo, des surligneurs, des bracelets, certaines boissons gazeuses, les bananes, etc.

#### Phase 3 : Réflexion

Certains animaux et plantes sont capable de fluorescer. Certaines de ces espèces se trouvent à la surface de la Terre, d'autres vivent sous l'eau. Ce sont ces dernières qui constituent un sujet d'étude de l'expédition Under The Pole III en Arctique.



### ACTIVITÉS N°3 : LES ENCRES INVISIBLES par Giovanni Porta

**NIVEAU / CYCLE :** Cycle 4, Cinquième

**DISCIPLINE :** Physique-Chimie / Science de la vie et de la Terre

**DURÉE :** 1 heure

**RÉFÉRENCE AU PROGRAMME :** Les sources de lumières et la diversité des êtes vivants



#### COMPETENCES TRAVAILLÉES :

- ◆ Utilisation de la verrerie en chimie et des protections individuelles
- ◆ Réaliser une manipulation pour expérimenter et révéler un phénomène naturel

#### PROBLÉMATIQUES ABORDÉES :

- ◆ Qu'est-ce que la fluorescence ?
- ◆ Comment révéler et identifier ce phénomène ?

#### RESSOURCES UTILISÉES :

- ◆ Bibliothèque numérique de la plateforme Under The Pole Education



#### DÉROULÉS :

##### Phase 1 : Matériels

Encre invisible : Solution alcoolique de sulfate de quinine ou d'un autre dérivé soluble comme le chlorhydrate de quinine, ou encore une boisson gazeuse contenant de la quinine.

Se munir également de cotons tiges, d'une lampe UV et d'un bécher.

##### ◆ Précautions :

Le sulfate de quinine est à manipuler sous hotte, avec une blouse, des gants et des lunettes de protection.

##### Phase 2 : Protocole expérimental

Verser l'encre invisible dans le bécher. Tremper l'extrémité du coton tige dans l'encre invisible et écrire un message sur une feuille. Eclairer la feuille avec la lampe UV, le message apparaît.

##### Phase 3 : Explications

La quinine est une molécule ayant la capacité de fluorescer. Lorsqu'elle est exposée à la lumière du jour, elle paraît incolore puisqu'elle



#### MODALITÉS :

Il s'agit de mettre en évidence le phénomène de fluorescence d'encres invisibles en révélant les messages écrits avec cette dernière à l'aide d'une lampe UV.

n'absorbe pas la lumière dans la partie visible du spectre. Cependant, lorsqu'elle est exposée à la lumière ultraviolette, elle est capable d'absorber l'énergie lumineuse et de la réémettre sous forme de lumière visible (de couleur bleue).

La quinine est présente naturellement chez divers végétaux (comme le Quinquina), leur conférant ainsi la capacité de fluorescer.

- ◆ Elargir le sujet en parlant des espèces vivantes qui fluorescent.

Certains animaux et plantes sont capable de fluorescer. Certaines de ces espèces se trouvent à la surface de la Terre, d'autres vivent sous l'eau. Ce sont ces dernières qui constituent un sujet d'étude de l'expédition Under The Pole III en Arctique.



## ACTIVITÉS N°4 : LA FLUORESCENCE DE LA CHLOROPHYLLE par Didier Pol

**NIVEAU / CYCLE :** Cycle 4, Troisième

**DISCIPLINE :** Physique-chimie, Sciences de la Vie et de la Terre

**DURÉE :** 2 heures

**RÉFÉRENCE AU PROGRAMME :** L'atome, les électrons, le noyau, les niveaux d'énergie



### COMPÉTENCES TRAVAILLÉES :

- ◆ Mise en œuvre d'une expérience à l'aide d'un protocole expérimental
- ◆ Sensibilisation aux dangers liés aux produits et matériels utilisés
- ◆ Apprendre à connaître les pictogrammes de sécurité et les précautions associées
- ◆ Observer et tirer des conclusions de ces observations

### PROBLÉMATIQUES ABORDÉES :

- ◆ Qu'est-ce que la fluorescence ?



### DÉROULÉS :

#### Phase 1 : Matériels

Des feuilles d'épinard, des ciseaux, de l'éthanol (alcool à brûler par exemple), un mixeur (ou un mortier et pilon avec du sable), du papier filtre (filtre à café en papier par exemple), un entonnoir, un bécher de 100 mL, une lampe puissante (par exemple, un spot halogène) et éventuellement une lampe UV.

Précautions :

L'éthanol ne doit pas être manipulé à proximité d'une source d'ignition aux vues de son caractère inflammable. Il ne faut pas non plus respirer les vapeurs d'éthanol.

L'utilisation d'une lampe à ultraviolet nécessite l'utilisation de lunettes protectrices. Il faut limiter la durée de l'exposition et ne pas regarder directement la source lumineuse.

#### Phase 2 : Protocole

Découper 2 ou 3 feuilles d'épinard en petits morceaux à l'aide des ciseaux. Les broyer dans le mixeur avec environ 50 mL d'alcool (ou broyer les morceaux dans un mortier avec du sable à



- ◆ Comment la révéler ?
- ◆ Quels sont les mécanismes à l'origine de ce phénomène ?

### RESSOURCES UTILISÉES :

- ◆ Bibliothèque numérique de la plateforme Under The Pole Education

### MODALITÉS :

Il s'agit de révéler et d'observer le phénomène de fluorescence de la chlorophylle à l'aide d'une expérience sur des feuilles d'épinard.

l'aide d'un pilon et mélanger avec 50 mL d'alcool). Placer le papier filtre dans l'entonnoir, filtrer le mélange et récupérer le filtrat dans un bécher. Observer la solution obtenue sous divers angles de vue avec et sans exposition à la lampe (spot halogène et/ou lampe UV). Par transparence et à la lumière du jour, la solution est verte. La couleur verte vient de la chlorophylle, présente dans les feuilles d'épinard, qui absorbe la lumière essentiellement dans la zone de couleur complémentaire, le magenta. En éclairant la solution à l'aide de la lampe puissante, placée entre celle-ci et l'observateur, la solution paraît rouge. Le phénomène à l'origine de ce changement de couleur est la fluorescence. La chlorophylle présente dans la solution absorbe la lumière émise par la lampe puissante. Les électrons restituent ainsi l'énergie absorbée sous forme de lumière avec une longueur d'onde différente (couleur différente).

#### Phase 3 : Réflexion

Certains animaux et plantes sont capable de fluorescer. Certaines de ces espèces se trouvent à la surface de la Terre, d'autres vivent sous l'eau. Ce sont ces dernières qui constituent un sujet d'étude de l'expédition Under The Pole III en Arctique.



## ACTIVITÉS N°5 : TEST DU LUMINOL par Grodsky et Weber

**NIVEAU / CYCLE :** Lycée, Première

**DISCIPLINE :** Physique-chimie

**DURÉE :** 2 heures

**RÉFÉRENCE AU PROGRAMME :** Réaction d'oxydoréduction, lumière, énergie et photon



### COMPÉTENCES TRAVAILLÉES :

- ◆ Réaliser une expérience à l'aide d'un protocole expérimental
- ◆ Connaître les pictogrammes et les précautions associées
- ◆ Observer et tirer des conclusions de ces observations
- ◆ Arriver à relier les éléments d'une réaction chimique aux phénomènes observés (milieu basique, dégagement gazeux, etc.)

### PROBLÉMATIQUES ABORDÉES :

- ◆ Comment réagit le luminol pour produire de la



### DÉROULÉS :

#### Phase 1 : Matériels

Deux béchers d'un litre, deux béchers de 100 mL, une balance de précision, une spatule, un agitateur, de l'eau distillée, du luminol, de l'hydroxyde de sodium (NaOH) en pastilles, du ferricyanure de potassium ( $K^3[Fe(CN)^6]$ ) et de l'eau oxygénée.

Précautions :

L'hydroxyde de sodium et l'eau oxygénée concentrée peuvent provoquer de graves brûlures. Il faut porter une blouse, des lunettes et des gants de protection pour les manipuler.

#### Phase 2 : Expérience

Dans deux béchers d'un litre chacun, préparer

- ◆ Solution A : Dissoudre 40 g d'hydroxyde de sodium dans un litre d'eau distillée, agiter. Ajouter, à l'aide d'une spatule, 4 g de luminol (poudre brune). Agiter jusqu'à ce que la solution soit homogène.
- ◆ Solution B : Dissoudre environ 40 g de ferricyanure de potassium dans un litre d'eau distillée.



lumière ?

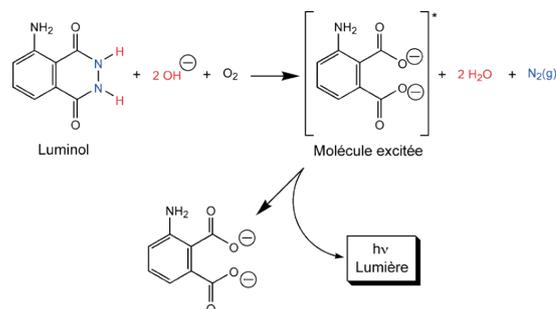
- ◆ Quel est le rôle de chaque composé ?

### RESSOURCES UTILISÉES :

- ◆ Bibliothèque numérique de la plateforme Under The Pole Education

### MODALITÉS :

Réaliser une expérience où le mélange de deux liquides produit de la lumière par chimioluminescence. Cette réaction permet de modéliser le phénomène de la bioluminescence. La luciférine est ici remplacée par le luminol.



Prendre un bécher de 100 mL, verser 50 mL de la solution A. Dans un second bécher de 100mL, verser 50 mL de la solution B et y ajouter, au dernier moment, 0,5 mL d'eau oxygénée concentrée. Homogénéiser la solution C obtenue. Plonger la salle dans le noir, puis verser la solution C dans le bécher contenant les 50 mL de solution A.

#### Phase 3 : Observations et interprétations

On observe alors une émission lumineuse bleue. En effet, oxydé en milieu basique, le luminol libère du diazote (on peut d'ailleurs remarquer la formation des petites bulles sur les parois du bécher) pour former une molécule excitée, qui, en retournant dans son état fondamental stable va émettre un photon (lumière). On observe que la lumière décroît au cours du temps car les réactifs se consomment au fur et à mesure de la réaction. Enfin, l'émission de lumière n'est pas accompagnée d'un dégagement de chaleur, c'est une émission de lumière dite « froide ».

## RESSOURCES COMPLÉMENTAIRES

Under The Pole Education met également à disposition davantage d'outils pédagogiques traitant de la bioluminescence et de la fluorescence naturelle à travers un épisode de la web-série officielle d'Under The Pole III - Twilight zone, des photos et autres contenus.

Vous retrouverez ces informations dans les liens ci-dessous, afin de traiter plus en profondeur le sujet, ou tout simplement afin de vous émerveiller à travers une immersion totale.



© Under The Pole - Fluorescence au Groenland

### Under The Pole III • Fluorescence au Groenland • S03E03

[www.education.underthepole.com/web-serie](http://www.education.underthepole.com/web-serie)

Dans cet épisode, l'équipe retrouve de vieux amis à Ikerasak, plonge pour la science dans le cadre d'un programme mené par Marcel Koken (CNRS), et prend la météo avant de partir pour le Canada ...



© Under The Pole - Bibliothèque numérique

### Photos et vidéos sur la bioluminescence et la fluorescence naturelle

[www.education.underthepole.com/bibliotheque-numerique](http://www.education.underthepole.com/bibliotheque-numerique)

« Je suis intimement convaincu que dans beaucoup d'environnements, on ne connaît que très peu d'animaux bioluminescents et il y a encore des milliers à découvrir. » - Marcel Koken - Under The Pole

|                   |   |  |
|-------------------|---|--|
| NOV<br>2017<br>22 |  | <p><b>Rencontre avec Marcel Koken</b></p> <p>Qui êtes-vous ? Je m'appelle Marcel Koken. Je suis de nationalité néerlandaise et travaille en France depuis 1994 pour le Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Depuis 9 ans je m'intéresse aux mécanismes et aux fonctions de la bioluminescence (ja...)</p> <p><a href="#">Lire plus</a></p>   |
| NOV<br>2017<br>21 |  | <p><b>Premier bilan du leg Arctique</b></p> <p>Silka, le 22 octobre Cette fois ça y est, le WHY a atteint son port d'hivernage pour les quatre mois à venir : Silka en Alaska. Nous sommes dans l'océan Pacifique. Le leg Arctique d'Under The Pole III est terminé et nous pouvons dire sans rougir que nous sommes...</p> <p><a href="#">Lire plus</a></p> |

© Under The Pole - Carnet de bord

### Carnet de bord du leg Arctique

[www.education.underthepole.com/carnet](http://www.education.underthepole.com/carnet)

« Pour l'instant la faune ressemble beaucoup à celle de la Bretagne ou des Pays-Bas. Le plus remarquable était la rencontre avec un très joli petit nudibranche blanc. » - Marcel Koken - Under The Pole

- ◆ **Fiche pédagogique réalisée par :**  
    Jérémy Fauchet  
    Laura Noël
  - ◆ **Avec la participation de :**  
    Victor Rault
  - ◆ **Sous la direction de :**  
    Emmanuelle Périé-Bardout
- © **Under The Pole**

**CONTACT**

Inscrivez-vous sur

**[HTTP://EDUCATION.UNDERTHEPOLE.COM/REGISTER/](http://education.underthepole.com/register/)**

Ou rendez-vous sur

**[WWW.EDUCATION.UNDERTHEPOLE.COM](http://www.education.underthepole.com)**

Posez vos questions à

**[EDUCATION@UNDERTHEPOLE.COM](mailto:education@underthepole.com)**