

LE MONDE FANTASTIQUE DES ABYSSES

Le milieu abyssal, un univers moins connu que l'espace

Un "presque désert" immense.

Le milieu abyssal, où règnent le froid et l'obscurité, couvre 307 millions de kilomètres carrés soit les deux tiers de la surface du globe. Il a longtemps été considéré comme un désert : pas de lumière, pas de photosynthèse, et la seule matière organique qui alimente la chaîne alimentaire provient, par gravité, de la surface en se dégradant au cours de la descente. Il fonctionne comme un égout, réceptacle des cadavres et des déjections de la zone éclairée de l'océan.

La biomasse abyssale est comprise entre quelques grammes et quelques milligrammes par mètre carré. Le flux organique est cependant marqué d'une variation saisonnière, surtout dans les zones tempérées. Il peut engendrer une accumulation de matière organique sur le fond lors des floraisons planctoniques de surface. Dans les jours qui suivent, cette matière organique et riche en espèces est à l'origine d'une véritable prolifération d'invertébrés et d'organismes unicellulaires. La "floraison" benthique ne dure que quelques semaines et disparaît dès que la matière organique est épuisée.

La notion de "biodiversité" exprime la variété des systèmes biologiques qui peuplent un écosystème. Dans son sens le plus simple, elle se mesure par le nombre d'espèces présentes. On estime aujourd'hui à 1,3 millions, le nombre total d'espèces connues dans la biosphère, et probablement de 5 à 10 millions d'espèces la richesse totale, bien que des estimations supérieures aient été faites en tenant compte des peuplements de la canopée (jusqu'à 30 millions selon certaines estimations).

La contribution du domaine profond est encore mal appréhendée. Le groupe de chercheurs américains qui étudia la pente continentale nord-ouest atlantique entre 1500 et 2500 m, a estimé par extrapolation, à environ 10 millions le nombre d'espèces présentes dans le domaine profond. Mais des estimations beaucoup plus élevées ont été faites, en prenant en compte non seulement la petite faune supérieure à 250 microns mais aussi celle dont la taille est comprise entre 250 et 40 microns. (*Un micron vaut 1 millième de millimètre*).

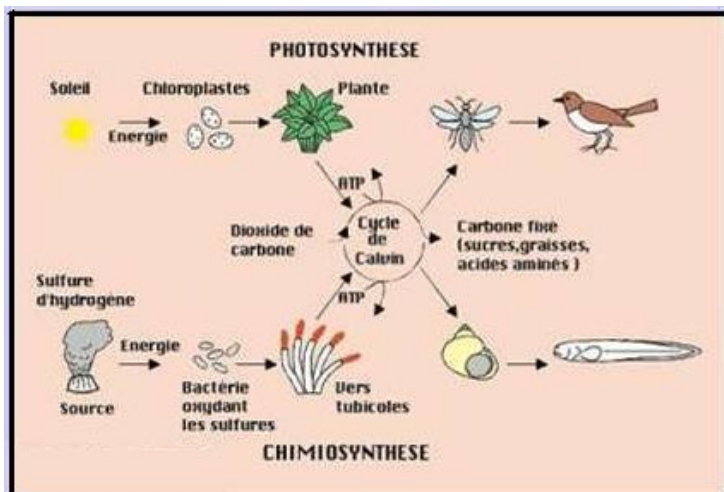
Comment synthétiser de la matière organique sans lumière ?

Les plantes vertes sont dites autotrophes, car elles sont capables de synthétiser leurs composés organiques à partir du dioxyde de carbone (CO_2), alors que les animaux sont hétérotrophes, et peuvent uniquement transformer la matière organique produite par les plantes.

Dans le milieu océanique profond, l'absence de lumière ne permet pas de synthétiser la matière organique en utilisant l'énergie lumineuse. La matière organique serait donc produite localement par une voie biologique, qui utiliserait une énergie différente. Cette production locale serait ensuite utilisée par les organismes filtreurs ou racleurs de dépôts.

Les bactéries chimiotrophes sont les organismes qui tirent leur énergie de l'oxydation de composés minéraux.

La chimiosynthèse : comment ça marche ?



Les réactions de chimiosynthèse nécessitent à la fois un donneur d'électron et un accepteur (ou puits) d'électrons. Les donneurs d'électrons inorganiques utilisés peuvent être l'hydrogène, plusieurs composés soufrés (hydrogène sulfuré, thiosulfate, soufre), l'ammoniac, les nitrites, les ions ferreux et peut-être l'ion manganèse. Les accepteurs d'électrons peuvent être l'oxygène, les nitrates, les sulfates ou même le CO_2 dans le cas de la méthanogénèse.

Les bactéries réduisent le dioxyde de carbone en sucre. Le mécanisme biologique d'incorporation de ce gaz est semblable dans le monde vivant, quels que soient les organismes autotrophes considérés. Le Cycle de Calvin-Benson, commun à tous les autotrophes, se compose de 3 ensembles complémentaires :

- 1) la réaction de condensation d'un pentose avec le CO₂ pour former un acide organique ;
- 2) la réduction de l'acide organique en sucre ;
- 3) la régénération du pentose.

Les pentoses sont des monosaccharides qui comportent 5 atomes de carbone

La différence entre chimiosynthèse et photosynthèse tient donc à l'origine de l'énergie utilisée :

- énergie chimique d'oxydation dans le premier cas,
- photolyse de l'eau dans le second.

Parmi les premières observations sur la dynamique du système abyssal, une expérience fortuite fut réalisée à l'occasion d'un accident du sous-marin américain Alvin. En 1968, au cours d'une manœuvre de mise à l'eau, le sous-marin fut heurté et coula par 1.540 m. Le pilote eu le temps de se sauver, mais le sous-marin sombra ouvert. Le repas des plongeurs fut considéré comme perdu. L'Alvin resta 11 mois sur le fond de l'océan, puis fut récupéré. Lorsqu'un mécanicien ouvrit les sacs qui contenaient les sandwiches, il les goûta et les trouva salés, mais sentant encore bon. Les 3 pommes et le bouillon n'étaient pas non plus avariés. Le microbiologiste H. Jannasch s'appuya sur cette observation pour conclure à une vie bactérienne très réduite en milieu profond.

C'est à partir de cet "accident" que l'idée d'un milieu abyssal à dynamique biologique très lente s'imposa. Elle fut renforcée, quelques années plus tard, par la publication de l'âge (par des méthodes de chronologie isotopique) d'une coquille d'un petit bivalve de moins d'un centimètre : sa maturité sexuelle n'aurait été atteinte qu'à cinquante ans et son âge serait d'un siècle !

Les oasis des grandes profondeurs

En février 1977, lorsque l'Alvin plonge par 2.500 m de profondeur sur la crête de la dorsale des Galápagos, par 86° de longitude ouest au niveau de l'équateur, les 2 géologues embarqués découvrent, ébahis, une profusion de vie. Une communauté entière d'organismes de grande taille et de morphologie étonnante, forme autour des sources chaudes, des peuplements exubérants contrastant avec la pauvreté de ceux des basaltes de la dorsale.

Les géologues poursuivent leur chemin et découvrent, autour de sources d'eau tiède (une dizaine de degrés au-dessus de la température ambiante de 2°C), de nombreux organismes étranges qu'ils nomment en fonction de leur ressemblance.

Ainsi apparaissent dans la littérature scientifique le "pissenlit", le "ver tubicole géant", le "clam géant", le "ver spaghetti"... Les scientifiques tombent sous le charme et donnent à ces "sites" hydrothermaux des noms évocateurs, comme "La Roseraie", "Le Four à Coquillages", "Le Jardin de l'Eden" ...

Cette première observation fut un choc pour la plupart des scientifiques spécialistes. Ainsi donc, contrairement à toute attente, dans certaines conditions, le désert abyssal pouvait "fleurir", comme le font les déserts terrestres lorsque la pluie vient.

Un fluide surchauffé à plus de 300°C.

Dopée par cette première découverte, l'exploration du système de dorsales se poursuit rapidement les 2 années suivantes et conduisit, quelques mois plus tard, à la découverte fondamentale des émissions hydrothermales à très haute température sur la dorsale du Pacifique oriental. En 1979, la campagne Rise de l'Alvin fut consacrée à l'étude de la même zone de la dorsale. Bill Normark (US Geological Survey) et Thierry Juteau (Université de Strasbourg) effectuèrent la seconde plongée de la campagne. Vers midi, après avoir survolé une zone de coquilles fenêtrées de grands clams morts, le pilote observa "une sorte de locomotive dont sortait un "truc".

Cette locomotive était en fait une cheminée constituée de sulfures polymétalliques, et ce "truc" était un panache hydrothermal noir et dense. La température prise dans le panache n'était pas très élevée (32,7°C) mais, en surface, après la plongée, les ingénieurs découvrirent que le PVC entourant la thermistance avait fondu... La température était donc d'au moins 180°C, température de fusion du PVC. Elle était en fait beaucoup plus élevée : les plongées suivantes confirmèrent qu'elle était de l'ordre de 350°C !

La description de la faune associée se poursuit à l'intérieur de l'habitacle : "Il y a de drôles de poissons qui sont allongés le long de cet édifice. On dirait de petits morceaux d'intestin !".



© Ifremer - Daniel

Alvinella



© Photo Ifremer

Ver de Pompéi

Les parois des cheminées, dont les plus hautes peuvent atteindre une hauteur de 15 à 20 m, sont aussi couvertes par des animaux que les géologues ont baptisé "ver de Pompéi", car ces vers d'une dizaine de centimètres de long vivent sous une pluie constante de cendres. Les organismes ne peuvent vivre dans le fluide même, dont la température oscille entre 350 et 400°C. Aucun organisme vivant ne pourrait résister à des températures supérieures à 100°C pour les procaryotes (bactéries et archaebactéries) et à 55°C pour les organismes eucaryotes pluricellulaires (animaux des déserts).

Certains l'aiment chaud

Le ver de Pompéi vit dans des conditions extrêmes de température et de chimie du milieu : des températures sans doute comprises entre 40°C et 60°C à l'intérieur du tube, une très faible oxygénation du milieu, une teneur en minéraux toxiques, et une radioactivité naturelle élevée. Quand quelques échantillons de ce ver ont été étudiés pour la première fois, d'abondants filaments blancs insérés dans chaque espace inter segmentaire avaient été identifiés. En fait, ces filaments sont d'impressionnantes colonies de bactéries filamenteuses. Une hypothèse vraisemblable est leur implication dans la détoxification du milieu : elles transformeraient les sulfures en composés soufrés moins toxiques.

Fumeur noir sur une dorsale océanique.

Ce phénomène spectaculaire est la conséquence de la circulation de l'eau de mer dans la croûte océanique, au niveau de régions présentant une activité volcanique intense (dorsales). En percolant dans la croûte, l'eau s'échauffe, altère les roches en place (basaltes) et se charge en minéraux (fer, manganèse, zinc, cuivre, baryum, calcium, silicium) et en gaz méthane pur et en sulfure d'hydrogène. Lors de la remontée, des réactions complexes ont lieu et l'eau peut également s'appauvrir de certains éléments chimiques comme le magnésium, qui était initialement présent en grande quantité.



© Photo Ifremer



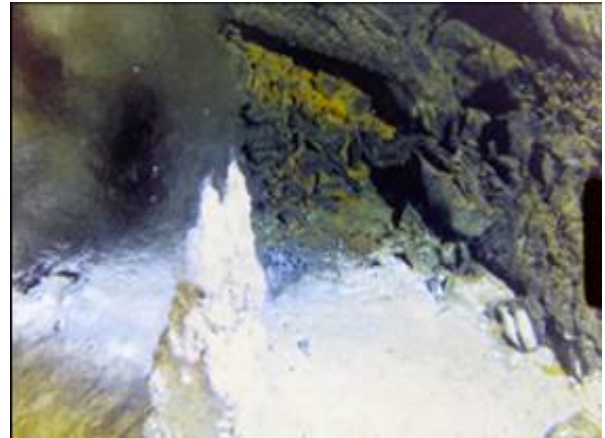
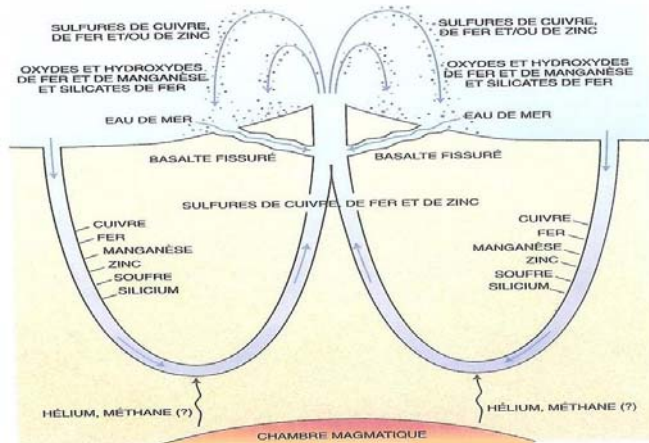
© Photo Ifremer/Pico

Après un circuit complexe dans la croûte basaltique océanique, l'eau débouche finalement sur les fonds sous-marins à une température de 350°C (300°C pour les fumeurs blancs). Son mélange avec l'eau de mer froide (2°C en moyenne) provoque la précipitation de nombreux sels métalliques, d'où les particules noires qui retombent en pluie sur le fond de l'océan. Les scientifiques estiment que 500.000 millions de tonnes d'eau circulent chaque année dans la machinerie hydrothermale océanique, et que toute la masse des océans y serait recyclée en 8 millions d'années ! Ces bouches hydrothermales permettent l'épanouissement d'une vie.

L'activité des fumeurs noirs ne dure que quelques années, c'est ce que l'on a déterminé à partir des datations des matériaux qui composent ces cheminées

Les fumeurs gris rejettent des fluides laiteux moins concentrés en H₂S et de plus faibles températures que les fumeurs noirs. Celles-ci s'échelonnent de 200 à 300 °C. Les particules

qui précipitent, la silice, l'anhydrite et la barite, donnent une couleur blanche aux fluides émergeant de ces fumeurs.

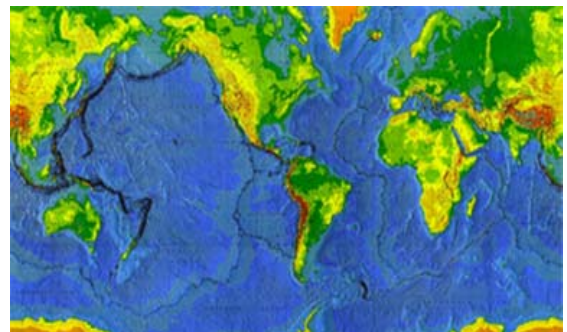


Fumeur gris

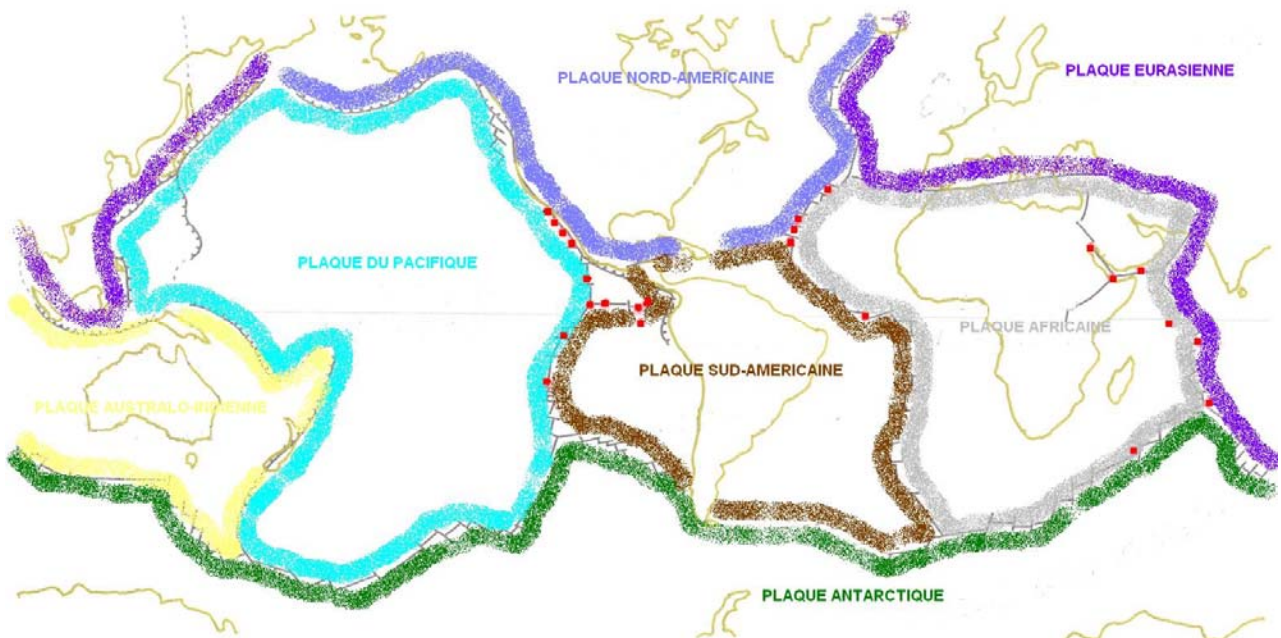
Les fumeurs qui atteignent dix mètres de haut, se dressent au dessus de monticules de même taille formés de débris de cheminées

Dorsales

Les géologues appellent dorsales les zones où le plancher océanique (constitué de basaltes) se renouvelle. Les dorsales marquent l'endroit où deux plaques lithosphériques s'écartent. Sous ces régions, le manteau a tendance à remonter, ce qui favorise sa fusion : des poches de magma se forment alors et les laves se frayent un passage à travers la croûte océanique, jusqu'à rentrer en contact avec l'eau de mer. En se refroidissant, elles donnent naissance à des



basaltes, qui constituent le matériel de base avec lequel le fond des océans est construit. Les sources hydrothermales sont localisées sur les dorsales océaniques



Les écosystèmes les plus étranges de la planète

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les événements hydrothermaux hébergent de véritables écosystèmes, et pas seulement quelques colonies de bactéries passées maître dans l'art de résister aux conditions les plus épouvantables.

Les différents organismes qui ont élu domicile dans ces régions sont disposés de manière concentrique autour des cheminées, cette disposition étant dictée par la variation des paramètres physico-chimiques (température, acidité, concentrations en sels métalliques) en fonction de la distance à la source. Les différentes zonations mesurent quelques mètres de

diamètre, et l'ensemble disparaît lorsque la source se colmate. De l'extérieur vers l'intérieur, on trouve :

- des crustacés blancs : Galathées.
- des vers logés dans un tube de calcaire : Serpulidés.
- des moules de 20 cm (*Calyptogena*).
- des pogonophores blancs disposés en buisson.
- des poissons.
- des poulpes.
- des crabes.

Bien entendu, et ce sont surtout elles qui vont nous intéresser, de nombreuses bactéries vivent blotties contre les cheminées hydrothermales. Totalement indépendantes de la lumière solaire, elles tirent leur énergie de l'oxydation d'éléments comme le soufre ou le manganèse (chimolithoautotrophie). Tout comme les végétaux, elles utilisent le dioxyde de carbone pour fabriquer de la matière organique, la seule différence concernant la source d'énergie : au lieu de puiser celle-ci dans les rayons du soleil, elles emploient au contraire l'énergie chimique mise à leur disposition dans des molécules comme l'hydrogène sulfuré.

Chaque type de bactérie a des exigences physico-chimiques bien déterminées. Certaines vivent aux températures glaciales qui règnent dans le fond des océans. D'autres à une température plus clémente, entre 10° à 30°C, dans la zone où les fluides hydrothermaux se mêlent aux eaux froides de l'océan. Elles servent de nourriture aux organismes filtreurs ou cohabitent par symbiose avec les pogonophores ou les moules géantes. Enfin, au niveau des parois minérales des cheminées se sont installés des bactéries hyperthermophiles, capables de résister aux températures élevées régnant dans cette région. Le record, détenu jusqu'à présent par la bactérie *Pyrolobus Fumarii* (113°C), vient d'être récemment pulvérisé par une souche qui se sent parfaitement à l'aise à 121°C ! Pour cultiver cette bactérie, il suffit de l'enfermer dans un autoclave, un appareil utilisé dans tous les hôpitaux et laboratoires du monde pour stériliser instruments et milieux de culture. A la sortie, non seulement la bactérie est vivante, mais elle s'est en plus multipliée !

La découverte d'une vie dans les profondeurs océaniques a permis d'étendre considérablement le champ de la biosphère terrestre. Plus récemment encore, des chercheurs ont identifié des bactéries vivant à plusieurs kilomètres de profondeur, dans des basaltes de la croûte terrestre. Cet environnement austère et inhospitalier présente de nombreuses ressemblances avec les événements et les fissures océaniques. Ici aussi, ces bactéries des profondeurs tirent leur énergie de composés chimiques prélevés dans les roches. L'eau, ainsi que le carbone, se fait cependant beaucoup plus rare qu'au niveau des sources chaudes abyssales, et le métabolisme des bactéries est donc extrêmement ralenti : elles ne se reproduiraient qu'une fois par siècle !

Les sources hydrothermales ont été qualifiées dès leur découverte d'*oasis de vie*. Cet écosystème regroupe en effet une luxuriante faune se développant grâce à la chimiosynthèse. La biomasse est très importante mais la diversité spécifique est faible. Aucune plante n'est retrouvée dans le système hydrothermal

Les caractéristiques de la faune

La faune qui colonise l'écosystème des sources hydrothermales sous-marines possède de nombreuses caractéristiques qui la distinguent de la faune d'autres environnements.

- **Endémicité** : les espèces hydrothermales sont strictement inféodées à la présence de sources actives. Elles ne peuvent pas survivre loin des sources puisque les fluides leur fournissent leur source d'énergie. Les espèces retrouvées dans les différents champs hydrothermaux varient d'une dorsale à l'autre.
- **Patrimoine d'espèces uniques et symbioses bactériennes** : appartenant à de nouvelles familles taxonomiques, les espèces hydrothermales présentent des caractéristiques inusitées, comme des symbioses obligatoires ou facultatives.

Les organismes symbiotiques :



L'observation des vestimentifères, ces animaux sans bouche, et sans tube digestif a permis la mise en évidence de la symbiose bactérienne hydrothermale. Les branchies de ces organismes captent les composés inorganiques du flux hydrothermal et les transmettent aux milliers de bactéries qui tapissent le trophosome du vestimentifère. Ces bactéries utilisent ces composés pour leur survie et leur développement et transmettent les composés

organiques formés aux vestimentifères.

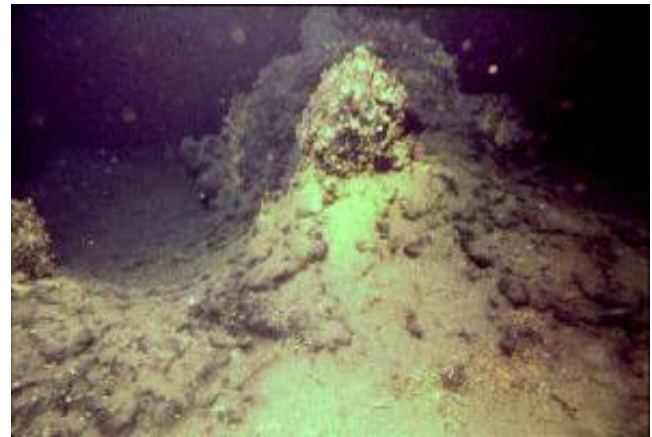
Les organismes non-symbiotiques :

Les organismes ne possédant pas de symbiose bactérienne ingèrent la matière organique disponible dans les particules en suspension et/ou sur le substrat hydrothermal.

Exemples d'organismes non-symbiotiques : les annélides *Paralvinella sulfincola* (espèce déposivore), *Paralvinella palmiformis* (espèce suspensivore).



La faune hydrothermale



Des bouquets de vers *Riftia pachyptila* et une communauté microbienne laminaire (LMC) supposée en train de construire un Stromatolite près d'une source hydrothermale par 2.500m de profondeur au large de la faille des Galápagos. Ces deux sociétés organiques captent l'énergie du milieu grâce à la chimiosynthèse, oxydant les composés sulfureux. Documents Discovery Channel et Corliss/SYSLAB/Dave Williams

La vie dans les profondeurs : une histoire de solidarité !

Si l'importance de la chimiosynthèse dans l'écosystème hydrothermal est un fait maintenant établi, les mécanismes de transmission entre producteurs et consommateurs sont plus surprenants



© Photo Ifremer/Phare

L'étude du ver *Riftia pachyptila* y apporta de nombreuses informations. Ce ver géant que l'on avait supposé être un filtreur, est une créature singulière qui ne possède pas de tube digestif. L'organe d'échange entre le ver et le milieu est un panache branchial. Extérieurement, le tronc est une poche indifférenciée qui abrite les glandes sexuelles et un organe massif, le trophosome. Ce dernier est fait d'un tissu richement vascularisé : il est formé de lobules organisés autour de capillaires sanguins, et est constitué de cellules renfermant de petites bactéries. Le *Riftia* "respire" les composés nutritifs que son sang transporte vers les bactéries de son trophosome. Les bactéries se multiplient et fournissent la matière organique au ver.

L'hémoglobine de *Riftia* est capable de transporter à la fois sulfures et oxygène. Le CO_2 , lui, est transporté aux bactéries sous la forme d'ion bicarbonate.

C'est une symbiose quasi parfaite qui minimise les pertes par excrétion et est beaucoup plus productive qu'un système ingestion / digestion / excrétion.

Il faut aussi noter que bien que les fonds océaniques sédimentaires abritent la plus grande densité de bactéries, les populations les plus actives se trouvent dans un lieu assez inattendu : les intestins des poissons abyssaux. En effet, de nombreuses créatures pélagiques des grands fonds et des animaux benthiques concentrent dans leurs tissus organiques une grande variété d'organismes qui les assistent dans leur activité nourricière. Ces bactéries installées dans leurs intestins produisent diverses enzymes qui dégradent la nourriture au bénéfice à la fois de l'animal et des bactéries. Actuellement les scientifiques étudient ces bactéries dans

des milieux de culture pressurisés, afin d'en extraire des enzymes extrémophiles capables de fonctionner dans le froid et à haute pression.

Petits rappels :

La canopée est composée de la strate supérieure des arbres de la forêt équatoriale. Elle est formée de la partie sommitale de la couronne des arbres. C'est à cet endroit précis que la forêt tire son énergie. La canopée capte en effet entre 95 et 99 % de l'énergie solaire. Ne laissant qu'un infime pourcentage arriver au sol. C'est dans ces quelques mètres que ce concentrent 80 % du feuillage des arbres. Et c'est bien sûr en hauteur que s'épanouissent les plus belles fleurs, celles des lianes entre autres.

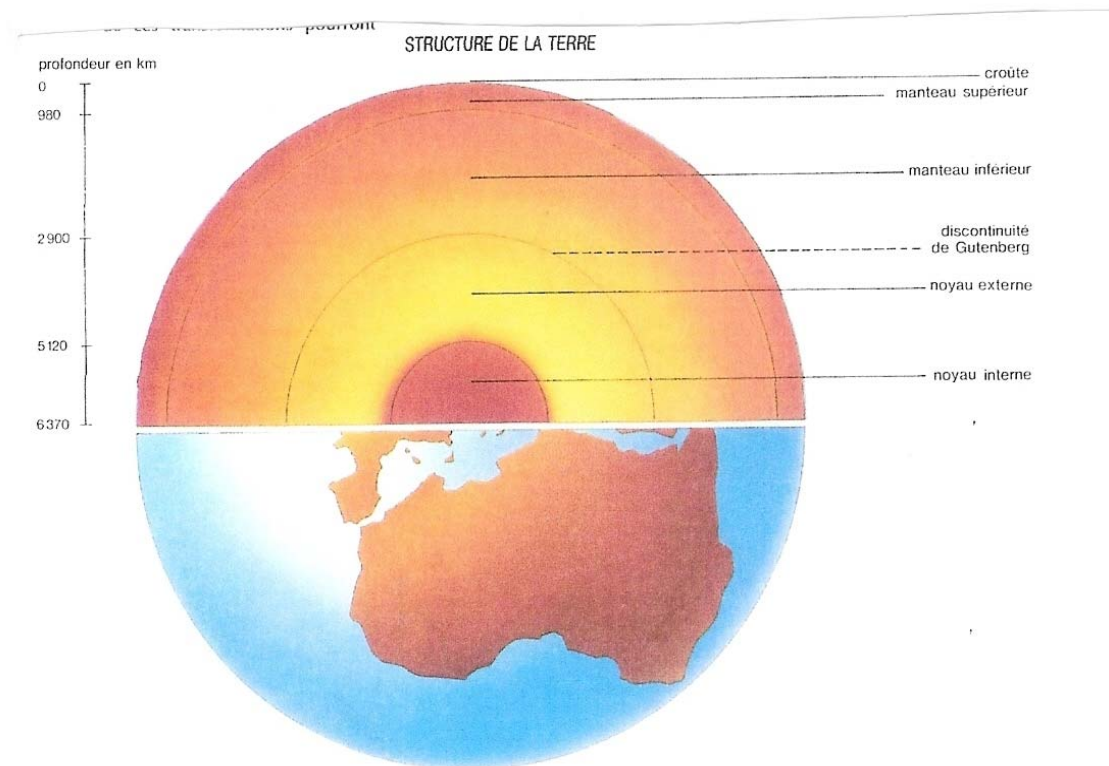
« **Benthique** » : relatif au « **benthos** », est l'ensemble des organismes aquatiques, végétaux et animaux, qui vivent en relation avec le fond, ou près du fond, de l'eau, tels les algues marines, les mollusques, les anémones, les étoiles de mer, les polychètes (vers marins), etc. Il qualifie également une des divisions principales du milieu aquatique et comprend la totalité des fonds où le benthos se retrouve – par opposition à pélagique.

Un **micromètre** (symbole μm) vaut 1 millième de millimètre

On utilisait auparavant le nom micron ; il a été retiré du système international en 1968. Le symbole qu'il utilisait (μ) est maintenant réservé pour le préfixe SI (système international) Ceci est un renseignement que j'ai trouvé sur internet, mais Daniel m'a assuré que le signe μ est toujours d'actualité.

A la surface de la terre, l'eau bout à 100° . On ne peut donc pas trouver d'eau liquide à des températures supérieures à 100° . Et en 1979, lorsque le sous-marin ALVIN a plongé sur la dorsale du Pacifique oriental, il a trouvé ces fameux fumeurs noirs à 2.600 m de profondeur parce que là, en raison de la pression hydrostatique qui fait 260 bars, l'eau demeure liquide à de très hautes températures et peut atteindre jusqu'à 350° .

Structure de la terre

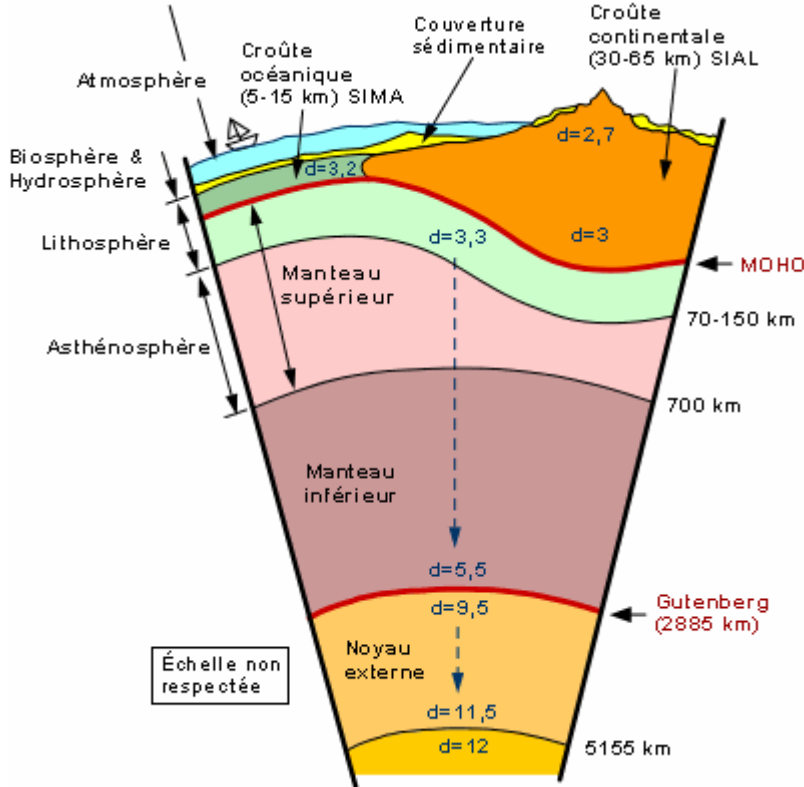


Dans le globe terrestre, il existe des zones où l'on observe des modifications brutales de la vitesse de propagation des ondes sismiques, ces zones correspondent à des changements de milieu. Les discontinuités physiques délimitent les différentes grandes enveloppes de la Terre.

Il existe 3 discontinuités principales :

- la discontinuité de Mohorovic, située entre 7 et 60 km de profondeur, marque la limite entre la croûte (océanique ou continentale) et le manteau, et montre une variation de la nature des matériaux. Le Moho se situe entre 0 et 15 km sous la croûte océanique, 30 km sous une croûte continentale de type socle et à plus grande profondeur (jusqu'à 80 km) sous les chaînes de montagnes récentes.
- la discontinuité de Gutenberg, située vers 2900 km, marque la limite entre le manteau inférieur et le noyau externe - qui se comporte comme un liquide.
- la discontinuité de Lehmann, située vers 5100 km de profondeur, délimite le noyau externe et le noyau interne (appelé aussi "graine solide")

La structure interne de la terre



La couche plastique du manteau supérieur est appelée asthénosphère, alors qu'ensemble, les deux couches solides qui la surmontent, soit la couche solide de la partie supérieure du manteau supérieur et la croûte terrestre, forment la lithosphère. On reconnaît deux types de croûte terrestre: la croûte océanique, celle qui en gros se situe sous les océans, et qui est formée de roches basaltiques de densité 3,2 et qu'on nomme aussi SIMA (silicium-magnésium); et la croûte continentale, celle qui se situe au niveau des continents, et qui est plus épaisse à cause de sa plus faible densité (roches granitiques à intermédiaires de densité 2,7 à 3) et qu'on

nomme SIAL (silicium-aluminium). La couverture sédimentaire est une mince pellicule de sédiments produits et redistribués à la surface de la croûte par les divers agents d'érosion (eau, vent, glace) et qui compte pour très peu en volume

Avant de passer la parole à Jean Michel qui va vous parler de la faune des abysses , je tiens à vous citer les sources de mon exposé

- D'où vient la vie : M.Labrot.
- La faculté d'adaptation Luxorian.
- Faune sources hydrothermales UQAM université de Quebec à Montreal.
- Futura sciences La vie dans les abysses.Daniel Desbruyères Ifremer.
- Dossier pour la science. Les humeurs de l'océan.Peter Rona.
- Grand dictionnaire encyclopédique Larousse
- Séquence Ailleurs et autrement "Les bactéries de l'extrême
- Pr. Daniel Prieur CNRS Roscof
- Discontinuité de Wildpédia
- Terre (un site perso sur internet)

Pour terminer, je tiens à remercier Daniel qui avec une grande patience a comblé mes lacunes pour l'animation de mes diapos.