



MODULE 2. Anatomie, physiologie et adaptations



KIT DE FORMATION
BIOLOGIE ET CONSERVATION DES TORTUES MARINES
EN AFRIQUE DE L'OUEST



MODULE 2.

ANATOMIE, PHYSIOLOGIE ET ADAPTATIONS

DESCRIPTION DU MODULE

Les tortues marines constituent un cas intéressant d'adaptation d'un groupe d'animaux d'origine terrestre à l'environnement marin. Des millions d'années d'évolution ont abouti au développement de caractéristiques biologiques qui leur permettent de s'adapter à l'environnement marin pour survivre, mais de conserver un lien avec le monde terrestre pour se reproduire. Leur morphologie confère aux tortues marines un hydrodynamisme sous l'eau, tandis que des adaptations physiologiques et comportementales leur permettent de tolérer les défis imposés par l'environnement marin, tels que l'excès de sel, les fluctuations de la température de la mer ou la recherche de nourriture à différentes profondeurs et les pressions associées, entre autres. Les tortues marines sont, comme le démontrent leur ancienneté et leur large répartition dans les océans, un cas de réussite adaptative dans le monde marin. Ce module aborde les limites imposées par la vie en mer et comment l'anatomie, la physiologie et la biologie sensorielle des tortues marines ont contribué à leur adaptation à l'environnement marin.

QUESTIONS TRAITÉES

- a) Anatomie de base
- b) Identification des espèces
- c) Adaptations et physiologie
- d) Biologie sensorielle

DIAPOSITIVES

- 3 - 11
- 12 - 19
- 20 - 29
- 30 - 34

DESCRIPTION DES OBJECTIFS

- √ Identifier les principales caractéristiques anatomiques internes et externes des tortues marines
- √ Savoir identifier les différentes espèces à l'aide des caractéristiques externes
- √ Connaître les principales adaptations physiologiques et comportementales aux défis imposés par la vie en mer
- √ Découvrir la façon dont les tortues perçoivent le monde marin grâce à leurs principaux sens

GUIDE DE PRÉSENTATION

#	TITRE ET CONTENU
1.	Présentation du module (couverture)
2.	Description des objectifs : <ul style="list-style-type: none">• Identifier les principales caractéristiques anatomiques internes et externes des tortues marines.• Savoir identifier les différentes espèces à l'aide des caractéristiques externes.• Connaître les principales adaptations physiologiques et comportementales aux défis imposés par la vie en mer.• Découvrir la façon dont les tortues perçoivent le monde marin grâce à leurs principaux sens.
3.	Anatomie de base <ul style="list-style-type: none">• Le corps des tortues marines n'a que peu ou pas évolué au cours des 100 derniers millions d'années. Seuls quelques détails anatomiques permettent de distinguer les différentes espèces de ce groupe (à l'exception de la tortue luth).
4.	Anatomie de base (continuation) <ul style="list-style-type: none">• La première des adaptations essentielles des tortues marines à l'environnement aquatique est leur morphologie : leurs organes internes sont protégés par une carapace hydrodynamique et leurs membres sont modifiés en forme de nageoires.• Les nageoires antérieures sont longues et ressemblent à des pagaies, elles permettent à la tortue de se propulser (parfois rapidement) dans l'eau. Les nageoires postérieures sont plus courtes et jouent le rôle de gouvernail, permettant à la tortue de manœuvrer son corps dans l'eau afin de tourner et même de freiner. Sur terre, les nageoires postérieures sont utilisées par les femelles pour creuser leurs nids.• L'évolution de la forme hydrodynamique de la carapace des tortues marines a entraîné la perte de leur capacité à rétracter leur tête dans leur carapace.
5.	Anatomie - Famille des Cheloniidae : squelette <ul style="list-style-type: none">• Le trait le plus distinctif des tortues est leur carapace, qui apparaît à l'œil nu comme une structure unique et originale de ce groupe, qui assure la protection physique du squelette

et des organes internes. En fait, la carapace résulte d'une modification remarquable du squelette.

- Chez les espèces de tortues marines de la famille des Cheloniidae (comme la tortue caouanne *Caretta caretta*), la formation de la carapace résulte de la fusion des côtes (qui, chez les tortues, sont allongées et jointes) avec la colonne vertébrale.
- Comme chez les humains et les autres espèces de vertébrés, l'extrémité des membres des tortues (dans leur cas, des nageoires) se termine par 5 doigts, cachés dans chaque nageoire. Les os des nageoires antérieures sont clairement plus longs.

6. Anatomie - Famille des Cheloniidae : carapace

- La carapace des espèces de la famille des Cheloniidae est généralement ovale, ou en forme de cœur, et recouverte d'écailles dont le nombre et la disposition varient en fonction de l'espèce. Les écailles peuvent avoir des couleurs et des motifs divers, variant selon les espèces, des tons verdâtres aux tons orangés.
- Le dessous de la carapace, appelé plastron, est lisse et complètement plat. Il provoque peu de friction ce qui permet aux tortues de glisser dans l'eau, de nager près du substrat sans s'échouer sur les obstacles et aussi de ramper sur le sable.
- Le plastron a tendance à être jaunâtre ou blanchâtre, quelle que soit l'espèce. La différence entre la coloration de la carapace et du plastron est justifiée : les motifs colorés de la carapace permettent aux tortues de se camoufler sur le fond marin (les tortues vertes *Chelonia mydas* et les tortues imbriquées *Eretmochelys imbricata* ont les couleurs les plus spectaculaires, car elles fréquentent des habitats plus colorés). La couleur plus pastel du plastron, en revanche, rend les tortues moins visibles aux yeux de prédateurs localisés en dessous d'elles.

7. Anatomie - Famille des Cheloniidae : carapace (continuation)

- Les écailles de la carapace des espèces de tortues de la famille des Cheloniidae ne font que quelques millimètres d'épaisseur, mais elles confèrent à la carapace une protection supplémentaire. Les écailles sont constituées de kératine (la même protéine qui forme nos cheveux et nos ongles) et sont liées au squelette (carapace) par du collagène. L'accumulation de kératine au fil du temps forme des motifs de formes et de couleurs variées.
- Chez toutes les espèces de la famille des Cheloniidae, à l'exception de la tortue imbriquée, les écailles de la partie supérieure de la carapace sont disposées côte à côte, c'est-à-dire juxtaposées. Chez la tortue imbriquée, les écailles se développent en se chevauchant, l'une sur l'autre, de manière ordonnée, étant disposées comme les tuiles d'une maison.

8. Anatomie - Famille des Dermochelyidae : squelette

- Les tortues luth (*Dermochelys coriacea*), seules représentantes de la famille des Dermochelyidae, se distinguent clairement des autres espèces de tortues marines par la forme, la couleur et la morphologie de leur carapace.
- La carapace diffère de celle des autres espèces : ses côtes ne sont pas attachées les unes aux autres. Les côtes sont recouvertes d'une carapace molle qui ne forme donc pas une structure osseuse solide comme chez les Cheloniidae.
- La tortue luth se distingue aussi facilement par ses sept crêtes longitudinales, qui ressemblent à la quille d'un bateau. Les crêtes ont pour fonction d'améliorer l'hydrodynamisme.

9. Anatomie - Famille des Dermochelyidae : carapace

- Les côtes des tortues luth sont recouvertes d'une sorte de structure flexible formée par une matrice de petites structures osseuses et de fibres de collagène, recouverte d'une fine couche de peau ; son aspect et sa texture sont similaires à ceux du cuir. Sous cette structure se trouve une couche de graisse dont l'épaisseur peut atteindre 8 cm.
- La matrice des petites structures osseuses n'est visible que chez les jeunes, ces structures ne sont plus visibles après la croissance.
- La carapace de la tortue luth est la plus adaptée au milieu marin : flexible, elle résiste aux pressions de l'eau à grande profondeur. L'important hydrodynamisme de la carapace, cumulé à l'action des longues nageoires, permettent aux tortues luth d'effectuer de longues migrations à plus grande vitesse, économisant ainsi temps et énergie.

10. Le dimorphisme sexuel

- Chez les tortues marines, le dimorphisme sexuel n'est visible que chez les sub-adultes. La queue plus développée des mâles ne commence à s'allonger que lorsque l'individu atteint une certaine taille corporelle. Il est donc impossible de dire, par la seule observation visuelle, si une tortue juvénile est un mâle ou une femelle.
- L'accouplement serait assez difficile si les mâles et les femelles adultes ne présentaient pas certaines différences anatomiques : les mâles ont des queues préhensiles plus longues et des griffes plus développées qui aident à positionner et à maintenir la femelle pendant la copulation. Le pénis est rétracté à l'intérieur du cloaque et n'est déployé que lors de la copulation afin d'assurer la fécondation, qui est interne.
- Un fait curieux : chez les espèces de la famille des Cheloniidae, pendant la phase d'accouplement, le plastron des mâles s'assouplit afin qu'ils puissent se placer plus confortablement sur la femelle.

11. Anatomie interne

- Sur le plan interne, toutes les tortues se ressemblent, quelle que soit la famille à laquelle elles appartiennent. Étant des vertébrés, elles possèdent une anatomie interne similaire à celle de tout autre vertébré. Elles possèdent notamment une colonne vertébrale bien définie, composée de disques et de vertèbres qui protègent la moelle, laquelle s'étend de la base du crâne à l'extrémité de la queue.
- La forme et la disposition de la plupart des organes des tortues, ainsi que la manière dont elles intègrent les systèmes nerveux, digestif et circulatoire, diffèrent également peu des autres vertébrés. La principale différence se situe au niveau du cœur, qui ne possède que trois cavités, comme cela est courant chez les reptiles.
- Toutes les tortues, y compris les tortues marines, possèdent deux poumons qui se situent sous la carapace. Les tortues doivent donc remonter à la surface pour pouvoir respirer, et restent en apnée lorsqu'elles plongent.
- Comme beaucoup d'autres animaux, tels que les oiseaux, les amphibiens, la plupart des poissons et certaines espèces de mammifères, les tortues marines possèdent un cloaque. Le cloaque est un orifice "multifonctionnel" situé à la base de la queue, où se terminent les systèmes digestif et reproducteur. En d'autres termes, c'est par ce trou que sortent les matières fécales et l'urine, les œufs et les spermatozoïdes.

12. Identification des espèces

- Bien qu'elles partagent une anatomie externe très similaire, les différentes espèces de tortues marines présentent des caractéristiques uniques qui permettent de les distinguer.

13. Identification des espèces

- Nous avons déjà vu que la tortue luth est clairement distincte de toutes les autres espèces et qu'il est donc impossible de la confondre avec les autres. Les quatre autres espèces présentes en Afrique de l'Ouest se ressemblent quelque peu et pour ceux qui ne les connaissent pas bien, il peut être difficile de les distinguer.
- Certaines caractéristiques, comme la forme, la couleur et les motifs de la carapace, sont trop variables au sein d'une même espèce et changent tout au long de la vie des tortues, elles ne sont donc pas utilisées pour distinguer les espèces. Les caractéristiques les plus appropriées pour distinguer facilement les différentes espèces de la famille Cheloniidae sont celles qui ne changent pas avec l'âge : le nombre et la position des écailles de la carapace et des écailles faciales.
- Les informations clés que nous recherchons sont le nombre d'écailles latérales sur la carapace (et moins souvent le nombre d'écailles vertébrales), la position de la première écaille latérale par rapport à l'écaille nucale (c'est-à-dire celle située dans la zone nucale) et enfin le nombre d'écailles entre les yeux (appelées préfrontales).

14. Identification des espèces

- Lorsque l'on cherche à identifier une espèce, la première chose à noter est la position de la première écaille latérale par rapport à l'écaille nucale. Si ces écailles sont en contact, l'espèce sera une tortue caouanne, une tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*), une tortue de Kemp (*Lepidochelys kempii*) ou une tortue à dos plat (*Natator depressus*). Si vous comptez le nombre d'écailles latérales, vous verrez que ces espèces en ont cinq ou plus de chaque côté.
- Si les écailles latérales sont au nombre de quatre et ne sont pas en contact avec le bouclier nual, nous sommes en présence d'une tortue verte ou d'une tortue imbriquée.
- Toutes les espèces, à l'exception de la tortue de Kemp et de la tortue à dos plat (cette dernière étant endémique de l'Océanie), peuvent être régulièrement observées dans la région de l'Afrique de l'Ouest.

15. Tortue caouanne (*Caretta caretta*)

- La tortue caouanne possède cinq paires d'écailles latérales symétriques, et est facile à distinguer des autres espèces qui nichent dans la région.
- Les tortues caouannes sont appelées tortues « loggerhead » (en anglais), en raison de leur énorme tête qui les rend uniques par comparaison aux autres espèces. Cette tête possède la mâchoire ayant la plus grande capacité de morsure de toutes les tortues marines, une caractéristique utile pour pouvoir écraser les coquilles et les carapaces de leurs proies favorites, les mollusques et les crustacés.
- Chez les adultes, la forme de la carapace se rapproche de celle d'un cœur, et l'arrière de la carapace est plus haut, donnant l'impression que la tortue a une petite bosse.
- Les nageoires antérieures sont plus courtes et plus épaisses que celles des autres espèces et possèdent deux griffes ; les nageoires postérieures peuvent avoir deux ou trois griffes.
- C'est la deuxième plus grande espèce de tortue marines de la famille des Cheloniidae, et sa carapace peut atteindre jusqu'à 100 cm de long (longueur curviligne).

16. Tortue olivâtre (*Lepidochelys olivacea*)

- La tortue olivâtre tire son nom de sa couleur vert olive, mais elle se distingue principalement des autres espèces par deux aspects : le nombre d'écailles latérales, qui est typiquement asymétrique et dont le nombre peut être compris entre six et dix (de chaque côté), et la présence de quatre petits trous, ou pores, de chaque côté du plastron.
- La carapace est légèrement en forme de dôme et sa longueur et sa largeur tendent à être similaires.

- La tête possède, comme chez la tortue caouanne, quatre écailles préfrontales ou plus, mais elle est beaucoup plus petite.
- Les nageoires antérieures possèdent chacune deux griffes.
- Ce sont de petites tortues marines, et leur carapace atteint rarement plus de 70 cm de longueur courbée.
- Ces caractéristiques sont partagées avec l'autre espèce du genre *Lepidochelys*, la tortue de Kemp, sauf que cette dernière est légèrement plus petite et possède moins d'écailles latérales (généralement cinq). Cette espèce est peu fréquente dans l'Atlantique Est, car elle se reproduit exclusivement sur la côte Est de l'Amérique du Nord. Les différences entre les deux espèces se situent essentiellement au niveau génétique.

17. Tortue verte (*Chelonia mydas*)

- Les tortues vertes ne tirent pas leur nom de la couleur de leur carapace, qui peut avoir tendance à être plus brune ou grisâtre. En fait, leur nom vient de la couche de graisse qu'elles ont généralement sous leur carapace, qui est nettement verdâtre.
- La tortue verte possède quatre paires d'écailles latérales sur sa carapace, une caractéristique qu'elle partage avec la tortue imbriquée. Cette espèce est cependant facile à distinguer, car elle est la seule à ne posséder que deux écailles préfrontales sur la tête, et chacune de ses nageoires ne possède qu'une seule griffe.
- Sa mâchoire est ronde et dentelée, ce qui lui permet de couper et de déchiqeter les algues et les herbes marines, ses aliments préférés.
- Les jeunes sont faciles à distinguer : ils sont noirs, à l'exception du plastron (partie ventrale de la carapace) qui est blanc, tandis que les extrémités de la carapace et les nageoires sont également bordées de blanc. Ces marques disparaissent avec le temps et les adultes ont tendance à avoir des nageoires, un corps et un plastron de différentes teintes.
- Dans l'océan Pacifique oriental, la tortue verte est plus petite et morphologiquement différente, avec une carapace plus sombre et plus ronde. En raison de ces différences, ainsi que de son patrimoine génétique distinct, la population de cette région est considérée comme une sous-espèce (*Chelonia mydas agassizi*) et est connue sous le nom de tortue noire.
- La tortue verte est la plus grande des tortues de la famille des Cheloniidae, et sa carapace peut atteindre 150 cm de longueur courbée.

18. Tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*)

- Les tortues imbriquées portent le nom anglais de "Hawksbill", qui signifie "bec de faucon". Il est facile de comprendre pourquoi : leur bec, utilisé pour mordre les éponges et les coraux, est nettement différent des mâchoires des autres espèces.

- Une autre caractéristique unique à cette espèce et qui permet donc de la différencier facilement est sa carapace : elle possède quatre écailles latérales comme la tortue verte, mais ses écailles se chevauchent plutôt que d'être placées côte à côte.
- Contrairement à la tortue verte qui n'a que deux écailles préfrontales, la tortue imbriquée en a quatre, et ses nageoires possèdent chacune deux griffes.
- Ce sont des tortues de taille moyenne, et leur carapace peut mesurer jusqu'à 85 cm de longueur courbée.

19. Tortue luth (*Dermochelys coriacea*)

- La tortue luth n'a presque plus besoin d'être présentée, car elle est très caractéristique et familière à tous ceux qui s'intéressent à la nature. Sa carapace, douce au toucher, est recouverte de cuir et présente sept crêtes longitudinales, ou quilles, caractéristiques.
- Cette espèce se distingue facilement par sa couleur noire et les différentes taches blanchâtres qu'elle présente, non seulement sur la carapace mais aussi sur tout le corps. Son plastron est blanc.
- Les griffes sont absentes des deux paires de nageoires. Les nageoires antérieures sont extrêmement longues par rapport à celles des autres espèces.
- Les mâchoires des tortues luths sont également complètement différentes : elles possèdent deux cuspidés, qui sont deux projections pointues et acérées en forme de dents, qui leur permettent de saisir et de couper leur nourriture préférée : les organismes gélatineux.
- C'est la plus grande des espèces de tortues, marines ou terrestres, et sa carapace peut atteindre deux mètres de longueur courbée.

20. Physiologie

- Comme elles passent la majeure partie de leur vie immergées dans la mer, les tortues marines ont non seulement besoin d'une forme hydrodynamique et de nageoires solides, mais aussi de mécanismes physiologiques et comportementaux qui les aident à faire face à un environnement hypersalin, à une eau profonde, parfois froide et souvent sombre. Dans la deuxième partie du module, nous discutons de ces adaptations.

21. Physiologie - Osmorégulation

- L'un des principaux problèmes physiologiques imposés par la vie en mer est sa salinité élevée, qui est d'environ 35g de sel pour chaque kilo d'eau.

- Il existe des animaux dont la concentration de solutés dans l'organisme est la même que dans l'eau de mer : ce sont les osmoconformateurs. C'est le cas de nombreux invertébrés marins, comme par exemple les élaémobranthes (raies et requins).
- D'autres animaux, comme les tortues marines et les mammifères marins, sont confrontés à un problème commun : leur corps n'est pas conçu pour ingérer de l'eau salée. La concentration de sel dans leur corps est exacerbée par deux facteurs : non seulement l'eau qu'ils boivent est salée, mais une partie de la nourriture qu'ils mangent l'est également. Par conséquent, ces animaux doivent réguler activement la quantité de sel et d'eau dans leur corps, et à ce titre, ils sont appelés osmorégulateurs.

22. Physiologie - osmorégulation

- Les tortues marines peuvent se débarrasser de l'excès de sel de deux façons. Une solution consiste à produire une petite quantité d'urine avec une très forte concentration de sel, et l'autre à pleurer ! Dans l'eau, leurs larmes passent inaperçues, mais lorsqu'une femelle est sur la terre ferme afin de déposer ses œufs, on peut voir des larmes épaisses et extrêmement salées couler de ses yeux.
- On croit généralement que les larmes dénotent la tristesse chez les tortues marines, mais ces larmes ne sont rien d'autre qu'une stratégie pour évacuer l'excès de sel. Les larmes sont produites par la glande lacrymale, située dans la tête. Cette glande est également présente chez les oiseaux de mer, bien que dans le cas de ces derniers les « larmes » soient expulsées par le bec et non par les yeux.
- Une tortue luth, par exemple, peut manger jusqu'à 80 % de son poids en méduses par jour, soit jusqu'à 250 kg de nourriture salée. Pour éliminer l'excès de sel, un seul individu peut produire jusqu'à 0.33 L de larmes salées par jour, soit l'équivalent d'une canette de soda. Chez cette espèce, la fonction de la glande lacrymale est si importante qu'elle occupe la majeure partie du crâne, étant trois fois plus grande que son cerveau.

23. Physiologie - thermorégulation

- La température des océans change avec la latitude, ainsi qu'avec la profondeur, et à la surface de la mer, elle peut varier entre environ 30° C sous les tropiques et -2° C près des pôles.
- Les mammifères marins et les oiseaux de mer gardent leur température corporelle constante quelle que soit la température de l'eau, c'est-à-dire qu'ils sont homéothermes. La régulation et le maintien de la température interne se font par le biais de leur métabolisme interne.
- Les tortues marines (comme tous les reptiles) sont connues pour avoir le sang froid (plus exactement, elles sont poïkilothermes), ce qui signifie qu'elles ne sont pas capables de maintenir leur corps à une température constante et que leur température interne fluctue en fonction de la température de leur environnement. Les tortues doivent donc trouver des

moyens de ne pas laisser leur température baisser excessivement, et sont sensibles à l'exposition aux températures élevées.

- La tortue luth est un cas intéressant, car elle est capable de fréquenter les zones proches des pôles et de supporter les eaux froides, où on l'aperçoit souvent se nourrir. Elles ne sont pas considérées comme homéothermes car leur température interne est variable, mais elles sont généralement plus chaudes que l'eau qui les entoure (jusqu'à environ 10° C). Les mécanismes utilisés afin de réguler la température corporelle chez cette espèce sont discutés ultérieurement.

24. Physiologie - thermorégulation

- Les tortues marines ayant du mal à se réchauffer dans les eaux froides, il n'est pas surprenant que la répartition de ces animaux dans les océans coïncide avec les températures les plus chaudes de l'eau de surface (zone délimitée en vert sur la carte globale dans la diapositive 24).
- Pour que les tortues marines puissent survivre confortablement et que leur métabolisme fonctionne, la température de l'eau doit être au moins à 18° C environ. Les températures les plus confortables pour les tortues marines se situent entre 23° C et 33° C.
- La limite maximale de la température de confort des tortues est de 33°C. En mer, si une tortue rencontre des températures supérieures à 33° C, il lui suffira de plonger dans des eaux plus profondes, normalement plus fraîches. En dessous de 18° C, les animaux sont engourdis par le froid, perdent la force de nager et commencent à devenir sensibles aux maladies et aux prédateurs.
- Sur terre, le scénario est différent. Une tortue marine qui pond ses œufs sur la plage, ou s'y retrouve accidentellement échouée, est alors exposé à la chaleur torride des plages tropicales. Un séjour prolongé sur le sable peut alors mener à un excès de chaleur de l'animal, qui peut alors être gravement affaibli et même en mourir.

25. Physiologie - thermorégulation (étourdissement par le froid)

- A l'inverse, si une tortue marine s'échoue sur des plages aux températures plus froides ou se retrouve pendant une longue période dans une eau dont la température est inférieure à 21° C, elle peut tomber dans le coma et finir par mourir. Ce phénomène, connu en anglais sous le nom de "cold-stunning", est fréquent dans l'océan Atlantique, notamment sur la côte est de l'Amérique du Nord, pendant les mois d'hiver.
- Les tortues trouvées assommées par le froid doivent être secourues au plus vite, et sont placées dans des endroits chauds pour récupérer leurs fonctions métaboliques.
- L'hiver 2020 a été marqué par le plus grand événement de sauvetage liée au « cold stunning » jamais organisé aux États-Unis, où plus de 4 000 tortues ont été secourues en une semaine seulement après qu'une vague de froid ait frappé la côte Est du pays. La grande majorité s'est rétablie après les efforts de plusieurs centaines de bénévoles !

26. Physiologie - thermorégulation (adaptations comportementales)

- Dans les zones tempérées, où la température de l'eau de mer est généralement plus basse que dans les tropiques et subit davantage d'oscillations tout au long de l'année, les tortues marines, outre la recherche d'eaux plus chaudes à fréquenter, peuvent adopter des comportements leur permettant d'augmenter leur température corporelle ou de retenir la chaleur.
- Le comportement le plus courant pour se réchauffer est de s'exposer à la chaleur du soleil, soit en passant plus de temps à la surface de l'eau, soit en se prélassant sur une plage, un comportement couramment observé chez les tortues vertes du Pacifique dans les archipels d'Hawaï et des Galápagos.
- Occasionnellement, les tortues marines peuvent entrer dans un mode similaire à l'hibernation. Attention, les tortues ne s'endorment pas pendant des semaines ou des mois en évitant les eaux froides ! Ce qu'il se passe réellement, c'est qu'elles entrent dans un état de torpeur : elles réduisent au maximum leurs dépenses énergétiques en restant immobiles. Dans ce mode de torpeur, les tortues marines peuvent se reposer jusqu'à 7 heures d'affilées sur le substrat, ou sous un rocher, sans respirer. Dès que la température de l'eau devient plus confortable, les tortues reprennent leur activité normale.

27. Physiologie - thermorégulation (tortue luth)

- Bien que les tortues luths limitent leur activité de nidification aux plages tropicales ou tempérées, elles peuvent être observées en train de se nourrir dans les eaux froides tempérées, parfois à des températures proches de 0° C.
- Les tortues luths sont capables de s'adapter à différentes températures environnementales, principalement par des ajustements physiologiques et comportementaux. Par exemple, dans les eaux plus froides, les tortues luths sont capables de maintenir leur température corporelle entre 2 et 10° C au-dessus de la température de l'eau de mer en augmentant leur activité physique et en générant ainsi de la chaleur par leur métabolisme interne.
- D'autres caractéristiques physiques qui facilitent la tolérance de cette espèce au froid sont sa grande taille, sa couleur noire et une couche grasse située sous sa carapace allant jusqu'à 8 cm d'épaisseur. Ces facteurs favorisent l'obtention et la rétention de la chaleur dans les eaux froides.

28. Physiologie - thermorégulation (mécanisme à contre-courant)

- Dans les eaux froides, il ne suffit pas de générer de la chaleur, il est également essentiel de la conserver. Chez de nombreux animaux marins dont les tortues, la perte de chaleur par les nageoires, qui contiennent très peu de graisse et sont donc mal isolées thermiquement, serait un problème s'il n'existait pas de mécanisme pour la limiter. Chez

les tortues marines, ce contrôle se fait de deux manières. La première consiste à limiter l'approvisionnement en sang des nageoires lorsque l'animal se trouve en eaux froides, par vasoconstriction périphérique. L'autre moyen, utilisé au moins par la tortue luth, consiste à utiliser un système d'échange de chaleur entre les veines et les artères, qui fonctionne à contre-courant.

- Les artères et les veines des nageoires de la tortue luth forment une matrice par laquelle le sang chaud provenant du cœur par les artères se déplace parallèlement et très près du sang plus froid transporté par les veines. Il y a donc un échange de chaleur entre les artères et les veines qui permet au sang plus froid de se réchauffer avant de réintégrer le cœur du corps. Ainsi, alors que les nageoires sont toujours froides, la température du corps reste chaude.

29. Physiologie - plongée

- Les espèces qui fréquentent les eaux océaniques doivent se nourrir de ce qu'elles trouvent dans la colonne d'eau, soit à quelques mètres de la surface, soit beaucoup plus profond, en fonction de l'abondance de la nourriture.
- Les tortues marines peuvent faire des plongées de plusieurs dizaines ou centaines de mètres. La profondeur maximale jamais enregistrée pour une tortue marine est celle d'une tortue luth, qui a atteint 1280 mètres lors d'une plongée. Les records sont beaucoup moins profonds pour d'autres espèces comme les tortues vertes (110 m), les tortues caouannes (230 m) ou les tortues olivâtres (290 m). Malgré ces records impressionnants, les plongées moins profondes sont les plus courantes. Par exemple, au sein de la principale zone d'alimentation des tortues vertes dans la région de l'Afrique de l'Ouest, localisée au niveau du banc d'Arguin en Mauritanie, les tortues fréquentent principalement des eaux de moins de 10 mètres de profondeur.
- La durée maximale d'immersion enregistrée pour une tortue marine était de 7 heures. La capacité des tortues marines à rester immergées pendant de longues heures est due à un certain nombre d'adaptations importantes. Il s'agit notamment d'un sang riche en hémoglobine qui permet le transport et le stockage efficaces de l'oxygène, ainsi que la capacité de ralentir le rythme cardiaque lors d'immersions plus profondes ou prolongées afin de réduire le flux sanguin vers les organes non essentiels et ainsi économiser l'oxygène.
- La tortue luth est la seule espèce de tortue marine capable de plonger à plus de 300 mètres de profondeur car, en plus des adaptations physiologiques mentionnées ci-dessus, elle bénéficie également d'un avantage anatomique. Sa carapace, flexible, peut être modelée par la pression exercée par l'eau.

30. Biologie sensorielle

- Jusqu'à présent, nous avons vu les adaptations physiologiques et comportementales qui permettent aux tortues marines de survivre à l'excès de salinité, aux variations de température et aux plongées profondes.
- La survie des tortues marines dépend également de la manière dont elles interprètent leur environnement et utilisent leurs sens pour trouver de la nourriture, échapper aux prédateurs et s'orienter, tant en mer que sur terre. La biologie sensorielle des tortues marines est étonnamment développée à bien des égards, comme nous le verrons dans la dernière section du module.

31. Biologie sensorielle - vision (caractéristiques générales)

- Les yeux des tortues marines sont bien développés et leur permettent de distinguer les formes mais aussi les couleurs, car ils contiennent une diversité et une quantité de photorécepteurs concentrés dans la rétine.
- Les tortues marines ont des cornées aplaties et les cristallins presque sphériques adaptée à leur mode de vie aquatique. Par conséquent, elles sont un peu myopes sur terre, mais parfaitement aptes à voir sous la surface de l'océan.
- Pour s'orienter sur les plages, les femelles adultes et les jeunes utilisent des indices visuels tels que les sources de lumière, vers lesquelles elles sont attirées, et les contrastes lumineux résultant de la présence d'obstacles, qu'il s'agisse de dunes, d'arbres, de murs, de mobilier de plage, ou même de la présence humaine, qu'elles évitent généralement.

32. Biologie sensorielle - vision (perception de la lumière et des couleurs)

- La vision des tortues marines est particulièrement sensible aux longueurs d'onde proches de 580 nm. Ces longueurs d'onde correspondent aux couleurs les plus visibles dans les eaux peu profondes. La sensibilité aux couleurs est accrue chez des espèces comme la tortue verte et la tortue caouanne, qui restent dans des habitats néritiques pendant la majeure partie de leur vie.
- Chez les espèces aux habitudes plus océaniques, comme la tortue luth, la sensibilité à la lumière est plus développée pour les longueurs d'onde plus courtes proches des couleurs bleues.
- Ces gradients de sensibilité chez différentes espèces sont des adaptations importantes à la vie marine : la luminosité et la diversité des couleurs s'estompent avec la profondeur, le bleu étant la seule couleur visible en profondeur. Ainsi, la plus grande sensibilité aux couleurs proches du bleu facilite la recherche de nourriture dans les eaux plus profondes.
- Sur terre, l'éclairage artificiel des plages de nidification entraîne la désorientation des femelles et des petits, qui sont attirés ou désorientés par ces sources lumineuses. Pour éviter de modifier le comportement des tortues marines sur les plages de nidification, les chercheurs ne travaillent qu'avec une lumière rouge, à laquelle les tortues sont moins sensibles.

33. Biologie sensorielle - olfaction

- Les tortues marines ont une paire de grandes narines externes qui sont en contact direct avec l'eau et l'air, et une paire de narines internes qui s'ouvrent dans la bouche. Les narines externes sont la porte d'entrée de la cavité nasale, où se trouvent plusieurs récepteurs chimiques qui communiquent avec le cerveau et qui sont liés à la capacité des tortues marines à distinguer les odeurs.
- On pense que ces récepteurs chimiques ne servent pas seulement aux tortues marines à localiser leur nourriture dans l'eau, mais qu'ils ont également des fonctions importantes pour localiser les zones de remontée d'eau dans l'océan et reconnaître leurs plages d'origine.
- Les expériences menées sur les tortues marines suggèrent que lorsqu'elles éclosent et entrent dans l'eau, elles conservent des informations sur les caractéristiques chimiques du sable de leur plage d'origine ainsi que de l'eau environnante (ce que l'on appelle "l'empreinte"), et utilisent ces informations (ainsi que des indices magnétiques) des décennies plus tard, afin de trouver la bonne plage où se reproduire.

34. Biologie sensorielle - audition

- La manière dont les tortues marines interprètent les sons est encore mal connue et les fonctions des différents composants de leur système auditif font l'objet de débats.
- Cependant, des études montrent que les tortues marines peuvent entendre des sons à des fréquences moyennes et basses, notamment entre 200 et 750 Hz, avec un maximum de 1 000 Hz. Les humains, par exemple, peuvent entendre de 20 à 20 000 Hz, c'est-à-dire qu'ils ont une ouïe beaucoup plus développée !
- Bien que l'oreille ne soit pas très développée, la capacité à percevoir la présence de stimuli (par exemple, la présence d'autres animaux autour d'elles) et à interpréter les changements de pression de l'eau sont des adaptations importantes pour les tortues marines afin d'interagir avec leurs habitats.

35. Des questions ?

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES PERTINENTES

- Bartol, S.M., Musick, J.A. (2003). Sensory biology of sea turtles. In: Lutz PL, Musick JA, Wyneken J, editors. *The biology of sea turtles*. Vol. II. Boca Raton (FL): CRC Press. p. 79–102 [Link](#)
- Casey, J. P., James, M. C., & Williard, A. S. (2014). Behavioral and metabolic contributions to thermoregulation in freely swimming leatherback turtles at high latitudes. *Journal of Experimental Biology*, 217(13), 2331-2337. [Link](#)
- Chen, I. H., Yang, W., & Meyers, M. A. (2015). Leatherback sea turtle shell: a tough and flexible biological design. *Acta biomaterialia*, 28, 2-12. [Link](#)
- Eckert, S. A., Eckert, K. L., Ponganis, P., & Kooyman, G. L. (1989). Diving and foraging behavior of leatherback sea turtles (*Dermochelys coriacea*). *Canadian journal of zoology*, 67(11), 2834-2840. [Link](#)
- Ketten, D. R., & Bartol, S. M. (2005). *Functional measures of sea turtle hearing*. Woods Hole Oceanographic Institution. Marine Biology Department. [Link](#)
- Reina, R. D., Jones, T. T., & Spotila, J. R. (2002). Salt and water regulation by the leatherback sea turtle *Dermochelys coriacea*. *Journal of Experimental Biology*, 205(13), 1853-1860. [Link](#)
- Samuel, Y., Morreale, S. J., Clark, C. W., Greene, C. H., & Richmond, M. E. (2005). Underwater, low-frequency noise in a coastal sea turtle habitat. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(3), 1465-1472. [Link](#)
- Southwood, A., Fritsches, K., Brill, R., & Swimmer, Y. (2008). Sound, chemical, and light detection in sea turtles and pelagic fishes: sensory-based approaches to bycatch reduction in longline fisheries. *Endangered Species Research*, 5(2-3), 225-238. [Link](#)
- Wyneken, J. (2001) The anatomy of sea turtles. US Department of Commerce NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-470. 172. [Link](#)
- Wyneken, J. (2003). The external morphology, musculoskeletal system, and neuro-anatomy of sea turtles. In: Lutz PL, Musick JA, Wyneken J, editors. *The biology of sea turtles*. Vol. II. Boca Raton (FL): CRC Press., p. 39-77. [Link](#)

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

1. "[Turtle Eye View](#)", [Oblivious Dude](#) (CC BY-NC-ND 2.0)
2. "[Turtle Eye View](#)", [Oblivious Dude](#) (CC BY-NC-ND 2.0)
3. "*Chelonia mydas*", Joana Hancock
4. "*Chelonia mydas*", Joana Hancock
5. "[Esqueleto-tortuga-boba.02](#)", "[Esqueleto-tortuga-boba.01](#)", [Daniel Calatayud Belinchon](#) (CC BY-SA 4.0)
6. "*Chelonia mydas*", Joana Hancock ; "[Underbelly of a sea turtle](#)", [Nicola Sznajder](#) (CC BY-NC 2.0)
7. "Shell - *Chelonia mydas*", "Shell - *Eretmochelys imbricata*", Joana Hancock
8. "[Dermochelys coriacea \(squelette\) au Musée Naturhistoriska de Göteborgs](#)", [Gunnar Creutz](#) (CC BY-SA 4.0) ; "*Dermochelys coriacea*", Projet Kitabanga (avec permission)
9. "*Dermochelys coriacea* bébé", "*Dermochelys coriacea* adulte", Joana Hancock
10. "*Chelonia mydas* - mâle", Olive Ridley Project (avec permission)
11. Illustration par Renata Reynaud
12. "*Chelonia mydas* + *Dermochelys coriacea*", Asociación ANAI (avec autorisation)
13. Illustration par Renata Reynaud
14. Illustrations avec l'aimable autorisation d'Alejandro Fallabrino
15. Illustrations de Renata Reynaud
16. Illustrations de Renata Reynaud
17. Illustrations de Renata Reynaud
18. Illustrations de Renata Reynaud
19. Illustrations de Renata Reynaud
20. "*Caretta caretta* - Açores", Nuno Vasco Rodrigues (avec permission)
22. "*Dermochelys coriacea* - adulte", Projet Kitabanga (avec autorisation) ; "[Une vue latérale du tubénose du Fulmar](#)", [Des Colhoun](#) (CC BY-SA 2.0)
23. Illustrations de Renata Reynaud
24. "[Aqua sea surface temperature 2003-2011 average](#)", Giorgiopl2 (CC BY-SA 3.0) ; Illustrations par Renata Reynaud
25. "[Tortues de mer étourdies par le froid](#)", [Kelly Roberts/FWC](#) (CC BY-ND 2.0)
26. "[Basking Green Sea Turtle, Punalu'u Black Sand Beach, Big Island, HI](#)", [NOAA Fisheries West Coast](#) (CC BY-NC-ND 2.0) ; "*Caretta caretta*", Nuno Vasco Rodrigues (avec permission)
27. "[Tortue luth](#)", [Commission de conservation de la faune et de la flore de Floride, permis de recherche NOAA n°15488](#) (CC BY-NC-ND 2.0)
28. Illustrations de Renata Reynaud
29. Illustrations de Renata Reynaud
30. "*Chelonia mydas*", Sara de Sousa (avec permission)
31. "[Tortue de mer caouanne \(*Caretta caretta*\)](#)", [Brian Gratwicke](#) (CC BY- 2.0)
32. "[Tortue de mer verte](#)", [Jeremy Bishop](#) (CC-Zéro) ; "traces-lumière", "patrouille", Joana Hancock
33. "*Chelonia mydas*", Denis Moser (avec permission)
34. "*Eretmochelys imbricata*", Nuno Vasco Rodrigues (avec permission)
35. "*Chelonia mydas*", Reinhard Mink (avec permission)

INFORMATIONS TECHNIQUES

Titre du module :

Anatomie, physiologie et adaptations

Auteurs :

Joana Hancock et Paulo Catry

ISPA - Instituto Universitário

Corrections :

Ana Rita Patrício, Daniel Lopes et Julie Mestre

Illustrations :

Renata Reynaud

Web Designer :

Daniel Lopes

Date de publication :

Mai 2022

©ISPA

©PRCM

