



## MODULE 10.

# Introduction aux techniques de suivi et de recherche



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



## MODULE 10

### INTRODUCTION AUX TECHNIQUES DE SUIVI ET DE RECHERCHE

#### DESCRIPTION DU MODULE

Les populations de tortues marines sont suivies aux quatre coins du monde. Il existe des protocoles de suivi d'application assez générale (avec des adaptations locales), quelle que soit l'espèce étudiée, ce qui facilite les études comparatives entre plages voisines, pays voisins, bassins océanographiques et à l'échelle mondiale. La collecte des données biométriques, ainsi que les protocoles de marquage et d'identification des individus, sont assez normalisés.

La plupart des programmes de surveillance sont basés sur la collecte de données relativement simples qui nous renseignent sur l'abondance des tortues et les tendances de leurs populations. En outre, les nouvelles technologies et les outils de recherche sophistiqués ont considérablement élargi nos connaissances et notre compréhension des tortues marines, de leur biologie et de leur comportement, ce qui a aidé les scientifiques et les gestionnaires à prendre des décisions éclairées et à maximiser l'impact de leurs actions de conservation.

La combinaison de programmes de surveillance et de projets de recherche est de plus en plus nécessaire pour garantir des stratégies de conservation qui auront des effets durables et positifs sur les populations les plus menacées. Dans ce module, nous abordons certaines des activités de suivi les plus basiques qui sont communes à la plupart des programmes de conservation et qui sont le plus souvent développées dans la sous-région. Nous présentons également plusieurs outils et méthodologies qui sont fréquemment utilisés dans l'étude de la biologie et de l'écologie des tortues marines.

#### QUESTIONS TRAITÉES

#### DIAPPOSITIVES

a) Suivi et recherche : pourquoi ?	3 - 4
b) Étude dans les zones de reproduction	5 - 15
c) Étude dans les zones d'alimentation	16 - 26
d) Étude des itinéraires de migration	27 - 31

#### DESCRIPTION DES OBJECTIFS

- √ Connaître certains paramètres fréquemment suivis dans les populations de tortues marines et les techniques de suivi associée
- √ Comprendre l'utilité du marquage et de l'identification des individus dans les zones de reproduction et d'alimentation
- √ Connaître certaines méthodes utilisées dans les programmes de recherche, qui fournissent des informations sur l'écologie dans les zones d'alimentation et la connectivité migratoire

## GUIDE DE PRÉSENTATION

#	TITRE ET CONTENU
1.	<b>Présentation du module (couverture)</b>
2.	<b>Description des objectifs :</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Connaître certains paramètres fréquemment suivis dans les populations de tortues marines et les techniques de suivi associées.</li><li>• Comprendre l'utilité du marquage et de l'identification des individus dans les zones de reproduction et d'alimentation.</li><li>• Connaître certaines méthodes utilisées dans les programmes de recherche, qui fournissent des informations sur l'écologie dans les zones d'alimentation et sur la connectivité migratoire.</li></ul>
3.	<b>Suivi et recherche : pourquoi ?</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Le suivi est la base de tout programme de conservation, car il permet de déterminer l'importance relative des différentes populations, ainsi que d'évaluer l'état de conservation d'une population ou d'une espèce, de suivre son évolution dans le temps et d'évaluer l'efficacité des actions de conservation en cours.</li><li>• La recherche, bien que n'étant pas une mesure de conservation en soi, est un outil fondamental sans lequel il serait impossible de déterminer les mesures de conservation à adopter. C'est grâce à la recherche que nous obtenons des connaissances sur la biologie, l'écologie et le cycle de vie des différentes espèces de tortues marines, que nous comprenons le rôle des différentes menaces dans la dynamique de leurs populations et que nous identifions les sites prioritaires et les stratégies d'action de conservation.</li><li>• Idéalement, les programmes de conservation des espèces devraient être informés à la fois par les actions de surveillance et par les résultats de la recherche scientifique.</li></ul>
4.	<b>Suivi et recherche</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• La première étape de l'évaluation de l'état de conservation d'une population ou d'une espèce sur un site particulier consiste à localiser les individus qui en font partie, puis à les quantifier et à déterminer leur répartition spatiale et temporelle sur le site étudié. La collecte d'informations supplémentaires sur les paramètres biologiques et démographiques des populations est également courante dans de nombreux programmes de surveillance.</li><li>• La nature migratoire et le cycle de vie complexe des tortues marines les rendent assez difficiles à étudier : elles sont plus facilement rencontrées sur les plages de nidification (où elles sont le plus facilement accessibles), mais passent presque toute leur vie en mer. Afin de créer des stratégies de conservation efficaces, nous devons combler les lacunes dans nos connaissances sur la distribution et l'utilisation des zones d'alimentation et des voies de migration.</li></ul>

## 5. Zones de reproduction (séparateur)

## 6. Surveillance des plages

- Comme les tortues marines viennent à terre pour pondre, le suivi de l'activité de nidification est largement reconnu comme le moyen le plus facile d'évaluer l'abondance relative des individus dans chaque population, ainsi que leur tendance démographique.
- La base de tout programme de surveillance des plages de nidification est la quantification de l'activité de nidification, effectuée de préférence sur une base régulière et pendant une bonne partie de la saison. Ce suivi est généralement réalisé lors des recensements de jour, de préférence tôt le matin pour garantir la fraîcheur des traces.
- Toutes les traces, y compris celles qui n'aboutissent pas à un nid (fausses pistes), sont généralement comptabilisées et peuvent parfois être associées à un lieu spécifique (géo-référencées) ou à un secteur de plage. Ces informations permettent d'établir la distribution spatiale des activités le long de la zone d'étude.
- Comme une visite sur la plage n'aboutit pas toujours à une ponte, l'existence d'un nid est confirmée, dans la mesure du possible, par la localisation des œufs. Le nombre de nids est un paramètre utile pour estimer correctement le nombre de femelles, surtout lorsque d'autres paramètres, tels que le nombre moyen de nids par femelle et l'intervalle de temps entre les pontes, peuvent également être estimés.

## 7. Surveillance des plages : forte densité de nidification

- Sur l'île de Poilão, jusqu'à 2000 pontes de tortues vertes (*Chelonia mydas*) sont enregistrées par nuit sur seulement 2 km de plage, ce qui peut rendre le suivi des nids très difficile.
- Au Cap-Vert, certaines petites plages reçoivent également chaque nuit des centaines de pontes de tortues caouannes (*Caretta caretta*) au plus fort de la saison de nidification.
- La difficulté de comptabiliser les traces sur ces plages est due, d'une part, aux limitations logistiques des équipes sur le terrain, qui parviennent difficilement à enregistrer chaque trace. D'autre part, les femelles qui pondent tard au cours d'une nuit peuvent recouvrir les traces des femelles qui ont pondu plus tôt au cours de cette même nuit, rendant les traces précédentes impossible à repérer.
- Sur ces plages, le comptage des traces devient très difficile, et des corrections statistiques doivent être utilisées pour estimer le nombre approximatif de traces.

## 8. Identification des femelles : programme de capture-marquage-recapture

- L'identification des individus est nécessaire pour déterminer les paramètres de reproduction, qui sont essentiels aux estimations de la taille de la population (tels que la fréquence de nidification et l'intervalle de remigration).

- Les femelles sont généralement interceptées alors qu'elles pondent sur les plages. L'observation directe des individus permet de recueillir des informations supplémentaires, telles que des données biométriques et comportementales.
- Principalement menés de nuit, les programmes de capture-marquage-recapture (CMR) nécessitent des ressources et une logistique spécifiques, qui ne sont pas toujours disponibles pour les projets de conservation. Des limitations telles qu'une faible densité de nids ou de femelles, un accès difficile aux plages et une faible capacité en termes de ressources humaines peuvent ne pas justifier cet effort.

## 9. Identification des femelles

- L'identification individuelle des tortues marines, qu'il s'agisse de juvéniles ou d'adultes, se fait traditionnellement par la pose de bagues à la base des nageoires antérieures (marquage externe) ou par l'insertion intramusculaire de micro-puces, mieux connues sous le nom de "micro-puce PIT" ou PIT (PIT = "passive integrated transponders"). Cette deuxième technique nécessite un lecteur électronique pour accéder au code d'identification.
- Les bagues peuvent être en plastique ou en métal et sont en quelque sorte agrafées aux nageoires des tortues. Chaque bague comporte un code d'identification unique au recto et une adresse de contact au verso. Lorsqu'une tortue est observée avec une bague et que le code ne provient pas du système de l'observateur, l'information peut être envoyée à l'adresse de contact pour obtenir plus de détails sur l'origine de la tortue.
- Le bagage est la méthode la plus courante et la plus efficace à court terme pour identifier les tortues et leurs mouvements, et les informations sont facilement accessibles à quiconque les lit. De nombreux projets utilisent les deux méthodes de marquage ensemble, ou donnent la préférence aux PIT, car ceux-ci, par leur placement intramusculaire, offrent un plus grand degré de rétention.

## 10. Analyse des données : taille de la population

- Compter le nombre exact de femelles dans une population reproductrice est une tâche presque impossible, même avec un programme CMR en place, surtout dans les endroits où le suivi est inconstant, n'intègre pas toutes les plages de ponte de la population, ou n'a commencé que récemment.
- Le nombre de femelles dans la population qui pondent au cours d'une année donnée est généralement estimé indirectement, à l'aide d'une formule très basique dans laquelle on utilise le nombre de nids enregistrés au cours d'une saison et le nombre estimé de pontes que chaque femelle pond au cours d'une saison.

## 11. Analyse des données : tendance de la population

- En raison de l'existence d'oscillations naturelles dans le nombre de tortues qui se reproduisent chaque année, le nombre de femelles ou de nids estimés lors d'une saison de ponte donnée peut ne pas être représentatif de la réalité de la population.
- Les femelles pondent généralement plus d'une fois par saison et n'ont pas tendance à pondre au cours d'années successives, ce qui peut entraîner des oscillations marquées dans le nombre de nids enregistrés chaque saison. Ces fluctuations reflètent probablement les

fluctuations des conditions environnementales dans les zones d'alimentation de la population adulte (par exemple, les fluctuations de la disponibilité de la nourriture pour les tortues) plutôt qu'une augmentation de la mortalité ou du recrutement.

- Pour ces raisons, il est imprudent de supposer une tendance de la population sur la base des chiffres de quelques saisons.

## 12. Analyse des données : distribution temporelle et spatiale des pontes

- Sur l'île de Poilão, l'analyse de la fréquence de la nidification au cours du temps a permis de comprendre quels sont les mois de l'année où le pic d'activité est attendu (dans ce cas, août, septembre et octobre). Ces informations permettent de planifier à l'avance le programme de suivi, d'étude et de conservation, en optimisant les ressources disponibles.
- L'analyse de la distribution spatiale des pontes, en revanche, permet de déterminer les sites qui présentent la plus forte densité de nids, comme nous le voyons dans l'exemple des îles de João Vieira et Cavalos (archipel des Bijagós), sur la diapositive. Grâce à ces informations, les programmes de suivi et de conservation ont une indication de l'endroit où concentrer les efforts, et peuvent également déterminer où les femelles et les nids sont les plus vulnérables à certaines menaces.

## 13. Analyse des données : identification des menaces

- La surveillance des nids tout au long de la période d'incubation jusqu'à l'éclosion des œufs est normalement assurée par des programmes de conservation. Les équipes sont attentives aux principales menaces, qui comprennent la prédation des nids et la perte des nids résultant de l'érosion côtière ou des inondations. Les résultats de cette surveillance peuvent servir de base à des mesures telles que la protection directe des nids ou le transfert des œufs vers des lieux sûrs.
- L'enregistrement de la mortalité des femelles pondeuses ainsi que de ses causes est également important afin de déclencher des mesures de conservation spécifiques.

## 14. Analyse des données : contrôle des températures d'incubation

- Le changement climatique et ses conséquences ont été mentionnés comme l'une des principales menaces pour les tortues marines dans leurs zones de nidification, et ont donc fait l'objet de plusieurs projets de recherche.
- Étant donné que les tortues marines présentent une détermination du sexe en fonction de la température, il est important de surveiller les températures d'incubation afin d'évaluer l'impact des transferts d'œufs ainsi que du changement climatique sur le sex-ratio des jeunes à l'éclosion.
- La mesure de la température d'incubation peut être réalisée en insérant des enregistreurs automatiques, qui fournissent des mesures régulières de la température à l'intérieur de la chambre à œufs pendant toute la période d'incubation. En connaissant certains paramètres de base, tels que la température pivot pour cette population (c'est-à-dire la température

à laquelle des proportions égales de tortues femelles et mâles naissent), le sex-ratio peut alors être déduit sur la base des températures moyennes d'incubation enregistrées.

- Les relevés peuvent être modélisés et corrélés avec d'autres variables environnementales, telles que la température de l'air, les précipitations ou la couverture végétale, afin d'obtenir une vision plus globale des processus susceptibles d'affecter la température d'incubation.
- Le seul moyen de connaître le sexe d'un nouveau-né est l'observation histologique des gonades, car, jusqu'à l'âge adulte, les tortues ne présentent pas de dimorphisme sexuel. Cependant, ce type de travail nécessite le sacrifice des jeunes (ou l'étude de jeunes morts naturellement sur la plage), et, pour des raisons éthiques, n'est réalisé que pour des questions de recherche très spécifiques. Par conséquent, la surveillance des températures d'incubation est la méthode la plus largement utilisée pour estimer le sex-ratio des jeunes tortues marines.

### **15. Analyse des données : évaluation du succès des nids**

- L'estimation du succès de la reproduction des tortues marines est un indicateur clé du succès des mesures de conservation mises en œuvre dans les zones de reproduction.
- Il n'est pas toujours possible d'enregistrer l'éclosion des nids et de compter directement les jeunes. Pour une estimation fiable du succès de la nidification, le contenu du nid est excavé et inventorié après l'éclosion et l'émergence des jeunes. Si l'éclosion ne se produit pas, une fois la durée considérée comme maximale pour l'incubation des œufs écoulée, on ouvre le nid pour vérifier ce qu'il s'est passé.
- Deux paramètres sont utilisés pour estimer le succès d'un nid : le taux de réussite d'éclosion (la proportion d'œufs de ce nid qui éclosent) et le taux de réussite d'émergence (la proportion de jeunes qui émergent avec succès du nid). Ces informations nous permettent d'évaluer l'impact de facteurs abiotiques (liés aux conditions météorologiques, aux inondations ou à l'érosion marine), biotiques (par exemple, la prédation ou l'infection par des champignons pathogènes) ou inhérents à la femelle (par exemple, la fertilité) sur le développement de l'embryon et le succès du nid.
- Suite à l'éclosion, il est également possible d'étudier les jeunes avant qu'ils n'entrent dans la mer, par exemple en recueillant des données de base sur leur biométrie (poids et taille), ou en les échantillonnant pour des études génétiques.

### **16. Zones d'alimentation (séparateur)**

#### **17. Identification des zones d'alimentation : méthodes indirectes**

- L'identification des zones d'alimentation, et l'étude des animaux qui les utilisent (discutée plus loin), permettent d'obtenir des données sur les juvéniles, les subadultes et les mâles adultes d'une population.
- Les données opportunistes, résultant de l'observation d'animaux échoués sur les plages, capturés accidentellement dans des engins de pêche, ou vendus sur les marchés, peuvent être utiles afin d'identifier les zones d'alimentation à proximité, et ainsi tracer le point de

départ d'un programme de recherche en mer. Ces observations peuvent être complétées, par exemple, par des informations de localisation plus précises obtenues auprès des pêcheurs.

### 18. Identification des zones d'alimentation : méthodes directes

- L'observation directe des tortues marines dans les zones d'alimentation est un défi, étant donné la visibilité limitée dans l'eau et les limitations d'accès à l'océan, facteurs qui peuvent également varier au cours des saisons. Les coûts, tant en moyens matériels (bateaux, carburant) qu'en ressources humaines liées à la surveillance en mer sont souvent élevés.
- La méthode la plus simple, qui peut être appliquée presque partout, consiste à réaliser des transects linéaires à la surface de l'eau, sur des bateaux ou autre, à partir desquels on essaie d'observer les tortues lorsqu'elles remontent à la surface pour respirer ou se réchauffer. Une fois que les zones clés ont été identifiées, un protocole d'observation plus poussé peut être mis en place, et peut inclure des transects sous-marins, en apnée ou en plongée sous-marine, si la visibilité sous-marine le permet.
- Récemment, l'utilisation de drones a donné des résultats prometteurs dans la détection des tortues marines à partir d'images aériennes, permettant de couvrir de grandes zones en peu de temps.
- Dans les endroits où les activités nautiques sont très développées, l'enregistrement photographique des animaux par les résidents et les touristes peut être un excellent moyen de promouvoir la science citoyenne et d'obtenir des informations supplémentaires sur la présence et les mouvements des animaux dans une zone donnée.

### 19. Capture d'individus

- La capture des animaux dans les zones d'alimentation a plusieurs utilités, permettant notamment (comme l'observation des femelles sur les plages de nidification) d'identifier les individus. D'autres objectifs peuvent inclure la collecte de données biométriques, l'estimation de la prévalence de parasites ou de maladies, et la réalisation d'échantillons biologiques.
- La modélisation statistique des données CMR peut, par exemple, révéler des schémas de résidence et d'immigration ou d'émigration dans les zones d'alimentation. Elle permet également de déterminer la taille et la structure de la population d'une aire d'alimentation à un moment donné.
- Les méthodes les plus courantes pour attraper des tortues en mer sont l'utilisation de sennes coulissantes, de filets maillants, ou la capture à la main par des personnes en plongée ou en snorkeling. Il est également possible de demander aux pêcheurs locaux d'informer les équipes de conservation/recherche s'ils capturent accidentellement des animaux. Les équipes peuvent alors profiter de la situation pour effectuer une collecte de données sur les animaux capturés avant leur remise en liberté.
- Une autre méthode fréquemment utilisée, qui peut être employée afin d'identifier l'individu sans le manipuler, est la photographie des tortues observées en plongée. Les images obtenues sont traitées par des programmes de photo-identification.

- Dans tous les cas, la technique employée dépendra beaucoup des caractéristiques du site à échantillonner, ainsi que des ressources disponibles et des objectifs des études.

## 20. Capture d'individus

- Dans la sous-région de l'Afrique de l'Ouest, où les eaux sont souvent turbides, la méthode de capture la plus utilisée à des fins de suivi et de recherche est l'utilisation de filets maillants et de sennes, manipulés par les pêcheurs locaux.
- Ces filets sont jetés dans la mer à des endroits peu profonds pour encercler ou bloquer un endroit particulier où des tortues ont été observées. En entrant en contact avec le filet, les tortues s'enchevêtrent et les filets sont rapidement retirés de l'eau pour éviter que les animaux ne se noient.
- En Mauritanie, par exemple, ces techniques sont utilisées avec la participation d'agents du Parc National du Banc d'Arguin, de pêcheurs Imraguen et de chercheurs.

## 21. Identification d'individus

- Les méthodes traditionnelles (marquage externe et interne) mentionnées pour le marquage des femelles sur les plages de nidification sont applicables, et toujours les plus courantes, dans le cadre des programmes de recherche menés au sein des zones d'alimentation.
- Les deux techniques mentionnées ci-dessus nécessitent la manipulation des tortues à marquer. Une méthode d'identification non invasive est la photo-identification, qui consiste à prendre des photos des écailles de la tête des tortues marines, et à les comparer à d'autres photos obtenues précédemment. La méthode est assez fiable, car les modèles d'écailles faciales sont uniques, un peu comme une empreinte digitale humaine, et sont naturellement stables à long terme. Un enregistrement supplémentaire des dommages ou des caractéristiques uniques des tortues peut également aider à leur identification.
- La photo-identification est utilisée presque exclusivement dans les zones d'alimentation, car l'utilisation des flashes lors de la réalisation de photographies est déconseillée sur les plages de nidification lors de la ponte des femelles. Cette technique est particulièrement utile dans des endroits, ou à des moments, où il n'est pas possible de capturer ou de marquer des tortues, par exemple sous l'eau, ou lorsque les tortues sont capturées par des personnes qui ne disposent pas d'équipement de marquage. Cependant, la qualité de la photo dépend fortement des conditions de l'eau et de la "coopération" des tortues au moment de la photographie.
- À notre époque, où une grande partie de la population a accès à un appareil photo sur son téléphone portable ou plonge avec un équipement photographique, c'est un excellent moyen d'impliquer le grand public dans la surveillance des tortues marines.

## 22. Paramètres biométriques : structure démographique

- L'obtention de données biométriques, telles que la longueur et la largeur de la carapace des tortues marines dans les zones d'alimentation, permet de se faire une idée de la structure démographique, c'est-à-dire de la répartition par âge de la population étudiée.

- Dans une zone d'alimentation, il est courant d'observer une distribution hétérogène des longueurs de carapace, avec la présence de différents groupes d'âge : les individus nouvellement recrutés, les juvéniles, les subadultes (en phase de maturation sexuelle) et les adultes. La distribution des tailles des adultes est plus homogène, car leur croissance est beaucoup plus lente.
- Nous présentons l'exemple d'une distribution typique des tailles au sein d'une zone d'alimentation de tortues vertes. Les valeurs de référence utilisées pour séparer les différentes classes d'âge sont tirées de diverses publications pour cette espèce dans l'Atlantique. Le passage du stade juvénile au stade subadulte correspond à l'apparition des premiers signes de maturation sexuelle (gonades bien définies). Les tailles de référence pour la maturité sexuelle sont normalement obtenues en mesurant les adultes dans les zones de reproduction.
- Le suivi de l'évolution de la taille des individus recapturés au fil du temps permet également d'établir les taux de croissance. Ce paramètre est particulièrement intéressant dans les populations juvéniles, pour lesquelles les taux de croissance sont plus rapides.

### 23. Évaluation de la condition physique

- L'évaluation de la condition physique des tortues marines capturées dans les zones d'alimentation nous aide à comprendre le type de stress qui peut affecter la santé des tortues dans ces endroits. Parmi les observations typiques, on note la présence ou l'absence de tumeurs externes (comme celles causées par la fibropapillomatose), de traumatismes physiques (comme la perte de nageoires ou les morsures de requin) ou d'anomalies physiques.
- L'évaluation peut être complétée par des prises de sang et le prélèvement de tissus (échantillons biologiques) afin d'obtenir des paramètres biochimiques et ainsi de réaliser un meilleur diagnostic, en cas de maladies ou d'exposition à des contaminants. Par exemple, des analyses sanguines telles que les hémogrammes sont effectuées afin d'identifier les changements dans la quantité de cellules qui composent le sang ; ces changements se produisant principalement lorsque les animaux sont exposés à un stress physique, comme des infections. Cependant, les informations sur les valeurs de référence et les gammes de valeurs pour les différents paramètres sont encore limitées.
- Ces mêmes prélèvements peuvent également être utilisés pour réaliser d'autres analyses, à savoir des études génétiques ou de composition en isotopes stables, discutées ci-dessous.

### 24. Écologie dans les zones d'alimentation : méthodes directes

- Connaître les détails du régime alimentaire des tortues marines est utile et intéressant pour plusieurs raisons, l'une d'entre elles étant de comprendre le type d'habitats qu'elles fréquentent le plus. L'analyse du contenu du tube digestif est l'un des moyens les plus directs de connaître le régime alimentaire.
- Dans le cas d'échouages d'animaux morts encore frais, l'estomac est souvent plein de nourriture, et la nécropsie permet d'accéder au contenu de l'estomac et de l'étudier.
- Chez les tortues marines vivantes, quel que soit le contexte dans lequel elles ont été capturées, il est possible de réaliser un lavage gastrique. Cependant, cette technique est

rarement utilisée car elle est considérée comme trop invasive et techniquement difficile à mettre en oeuvre. Une inspection minutieuse de l'intérieur de la bouche et de l'œsophage est moins invasive et, bien que moins efficace, peut donner une indication sur le régime alimentaire.

- Le moyen le plus simple de connaître le régime alimentaire est d'observer directement la tortue se nourrir sous l'eau, lors d'une activité de plongée ou de *snorkeling*. Mais ce n'est pas toujours facile, car dans de nombreuses régions, comme la plus grande partie de la côte ouest-africaine, les eaux sont troubles et la visibilité est faible ou presque nulle.

## 25. Écologie dans les zones d'alimentation : analyse des isotopes stables

- Une technique plus complexe et indirecte pour déterminer le régime alimentaire des tortues marines consiste à comparer la composition en isotopes stables de leurs tissus et de leurs proies potentielles.
- Les isotopes sont des éléments qui ont le même numéro atomique mais un nombre de masse différent (même nombre de protons mais nombre différent de neutrons). Le rapport entre les isotopes lourds et légers d'un même élément chimique dans les tissus d'un être-vivant, appelé "ratio isotopique", est le paramètre utilisé dans les études d'écologie. Ces ratios varient le long des chaînes trophiques et sont intégrés dans les tissus des animaux par le biais de leur alimentation. En analysant les valeurs isotopiques des tissus des tortues (comme la peau ou le sang), et en les comparant aux valeurs d'autres organismes, il est possible de déduire la position des tortues marines dans les chaînes alimentaires.
- Dans l'étude de l'écologie alimentaire des tortues marines, on utilise principalement les signatures (ratios) isotopiques du carbone ( $\delta^{14}\text{C}$ ) et de l'azote ( $\delta^{15}\text{N}$ ), la lettre " $\delta$ " étant appelée "delta".
- Les valeurs azotées ( $\delta\text{N}$ ) sont le résultat du métabolisme des protéines, et augmentent d'environ 3,4‰ avec le niveau trophique. C'est-à-dire que les animaux qui se nourrissent à des niveaux trophiques inférieurs, comme les herbivores, ont des valeurs plus faibles (comme c'est le cas pour la tortue verte) et les animaux carnivores présentent des valeurs plus élevées (comme c'est le cas pour la tortue caouanne).
- Les valeurs de carbone ( $\delta\text{C}$ ) reflètent les producteurs primaires des écosystèmes aquatiques, et leurs valeurs sont plus faibles dans les zones néritiques par rapport à celles des zones océaniques.

## 26. Écologie dans les aires d'alimentation : exemple d'application des isotopes stables

- Une étude menée dans la région de l'Afrique de l'Ouest a permis d'échantillonner des tortues vertes dans une zone d'alimentation, ainsi que plusieurs spécimens de trois types d'aliments probables : herbiers marins, macroalgues, et feuilles de palétuviers.
- Les valeurs isotopiques des éléments potentiels du régime alimentaire (triangles verts = herbes marines, cercles jaunes, verts et rouges = algues, triangles bruns = mangroves) ont été utilisées pour déterminer la niche trophique associée à la consommation de ces éléments (polygones). Les valeurs isotopiques des tortues échantillonnées (carrés colorés) ont été superposées sur le même graphique. Dans l'exemple donné, on peut conclure que les tortues échantillonnées se nourrissent principalement de macroalgues.

## 27. Itinéraires de migration (séparateur)

## 28. Écologie spatiale

- Les migrations étant l'un des aspects les plus fascinants de l'écologie des tortues marines, il n'est pas surprenant que de nombreux efforts soient déployés pour tenter de comprendre comment et où ces migrations se produisent.
- La télémétrie permet de suivre les tortues marines à différents stades de leur cycle de vie, car elle permet de collecter des données de localisation *in situ* et en temps réel, même dans des endroits éloignés. Les données sont collectées par des équipements spécialisés qui les transmettent automatiquement à des équipements de réception tels que des satellites ou des antennes.
- En plus de la localisation, certains équipements mesurent d'autres paramètres, comme la profondeur à laquelle les tortues plongent ou la température des eaux dans lesquelles elles se déplacent. Ce type de données nous aide à comprendre, par exemple, quels facteurs peuvent limiter la dispersion des tortues ou déterminer les itinéraires de migration.

## 29. Écologie spatiale : télémétrie des adultes

- Lorsqu'elle est utilisée pendant la saison de reproduction, la télémétrie permet de savoir quelles zones les femelles fréquentent entre deux pontes (comme dans l'exemple donné dans la diapositive). Cette information peut être utilisée pour atténuer les menaces auxquelles les femelles font face, par exemple en définissant les zones à protéger en priorité et en mettant en place des réglementations de pêche spécifiques. Une autre donnée utile obtenue par télémétrie est la durée exacte de la période entre les pontes, ou le nombre de pontes effectués pendant la saison.
- Le suivi permet également de connaître les itinéraires migratoires des tortues après la reproduction. La pose d'émetteurs satellites sur les femelles reproductrices de l'île de Poilão, en Guinée-Bissau, a montré qu'elles migrent vers les zones côtières de la Gambie, du Sénégal et de la Mauritanie, se déplaçant de préférence près de la côte. Le suivi de ces tortues a également permis de constater qu'elles cherchent à se nourrir dans certaines des aires marines protégées de la sous-région, validant ainsi l'importance du réseau régional d'aires marines protégées appelé RAMPAO.

## 30. Connectivité génétique - ADN mitochondrial

- La connectivité entre les sites et les populations peut être indirectement déduite en analysant la similarité génétique entre les individus de différentes régions.
- Les marqueurs génétiques, tels que l'ADN contenu dans les mitochondries (ADN mitochondrial, ou ADNmt), sont utilisés pour distinguer les différentes populations reproductrices. La philopatrie natale dont font preuve les femelles et la transmission maternelle de l'ADN mitochondrial font de ce marqueur le plus utilisé pour distinguer les lignées maternelles.

- Il est possible de détecter et de documenter les différences entre les populations dans l'occurrence de plusieurs séquences nucléotidiques contenues dans une région donnée de l'ADN mitochondrial (connues sous le nom d'haplotypes) des individus échantillonnés. La comparaison des fréquences des différents haplotypes chez les individus de chaque population donne une idée du degré de connectivité entre ces populations : plus elles partagent d'haplotypes, plus la connectivité entre elles est grande. Comme l'ADN mitochondrial est transmis par les femelles, cette analyse permet de comprendre la connectivité assurée par les animaux de ce sexe. La connectivité établie entre les populations par les mâles peut être différente, et dans ce cas, l'ADN nucléaire est utilisé pour l'étudier.
- Les agrégations de juvéniles et d'adultes dans les zones d'alimentation représentent des stocks génétiques mixtes, car le recrutement dans les zones d'alimentation est relativement aléatoire et, dans une même zone d'alimentation, on trouve des tortues de provenances diverses. En analysant les fréquences des haplotypes dans ces agrégations, et en les comparant aux populations reproductrices potentielles, nous pouvons déduire la population d'origine la plus probable de ces tortues ; c'est-à-dire la contribution relative de plusieurs populations d'origine à la même zone d'alimentation.

### 31. Connectivité génétique - ADN mitochondrial

- Une étude réalisée sur la dispersion des jeunes tortues vertes de la plage de Poilão après l'éclosion, dans l'archipel des Bijagos en Guinée-Bissau, montre comment l'ADN mitochondrial peut être utilisé pour tester les théories de dispersion et de connectivité chez les tortues marines.
- L'étude a comparé les données de fréquence des haplotypes dans la population reproductrice de tortues vertes de l'archipel de Bijagós avec les fréquences trouvées dans de nombreuses agrégations mixtes de juvéniles dans tout l'Atlantique. Les résultats ont montré que cette population a « exporté » des juvéniles dans plusieurs régions. Sur la côte ouest-africaine, les juvéniles originaires des Bijagós prédominent (51%). De manière surprenante, une contribution significative aux zones d'alimentation le long de la côte sud-américaine (36%) a également été trouvée, confirmant la possibilité que cette espèce effectue des migrations transatlantiques.

### 32. Des questions ?

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES PERTINENTES

- Bevan, E., Wibbels, T., Najera, B. M., Martinez, M. A., Martinez, L. A., Martinez, F. I., ... & Burchfield, P. M. (2015). Unmanned aerial vehicles (UAVs) for monitoring sea turtles in near-shore waters. *Marine Turtle Newsletter*, 145(1), 19-22. [Link](#)
- Board, O. S., & National Research Council. (2010). *Assessment of sea-turtle status and trends: integrating demography and abundance*. National Academies Press. [Link](#)
- Board, S. S. A. (2011). The state of the world's sea turtles (SWOT) Minimum Data Standards for Nesting Beach Monitoring. In *Technical Report*. [Link](#)
- Catry, P., Barbosa, C., Indjai, B., Almeida, A., Godley, B. J., & Vié, J. C. (2002). First census of the green turtle at Poilão, Bijagós Archipelago, Guinea-Bissau: the most important nesting colony on the Atlantic coast of Africa. *Oryx*, 36(4), 400-403. [Link](#)
- Godley, B. J., Almeida, A., Barbosa, C., Broderick, A. C., Catry, P. X., Hays, G. C., ... & Godley, B. J. (2003). Using Satellite Telemetry to Determine Post-Nesting Migratory Corridors and Foraging Grounds of Green Turtles Nesting at Poilão, Guinea Bissau. *Methodology*, 5(7). [Link](#)
- Godley, B. J., Blumenthal, J. M., Broderick, A. C., Coyne, M. S., Godfrey, M. H., Hawkes, L. A., & Witt, M. J. (2008). Satellite tracking of sea turtles: where have we been and where do we go next?. *Endangered species research*, 4(1-2), 3-22. [Link](#)
- Godley, B. J., Barbosa, C., Bruford, M., Broderick, A. C., Catry, P., Coyne, M. S., ... & Witt, M. J. (2010). Unravelling migratory connectivity in marine turtles using multiple methods. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 769-778. [Link](#)
- Eaton, C., McMichael, E., Witherington, B., Foley, A., Hardy, R., & Meylan, A. (2008). In-water sea turtle monitoring and research in Florida: review and recommendations. [Link](#)
- Eckert, K., Bjørndal, K., Abreu-Grobois, F. A., & Donnelly, M. (1999). Priorities for research in foraging habitats. *Research and management techniques for the conservation of sea turtles*, 12-18. [Link](#)
- Ferreira, M. B. M. D. S. (2012). *Nesting habitat preferences and nest predation of green turtles (Chelonia mydas) in the Bijagós Archipelago, Guinea Bissau* (Doctoral dissertation). [Link](#)
- Hamann, M., Godfrey, M. H., Seminoff, J. A., Arthur, K., Barata, P. C. R., Bjørndal, K. A., ... & Godley, B. J. (2010). Global research priorities for sea turtles: informing management and conservation in the 21st century. *Endangered species research*, 11(3), 245-269. [Link](#)
- Hawkes, L. A., Broderick, A. C., Coyne, M. S., Godfrey, M. H., Lopez-Jurado, L. F., Lopez-Suarez, P., ... & Godley, B. J. (2006). Phenotypically linked dichotomy in sea turtle foraging requires multiple conservation approaches. *Current Biology*, 16(10), 990-995. [Link](#)
- Marco, A., Abella, E., Liria, A., Martins, S., & de Santos, N. (2012). Manual Para a Monitorização De Tartarugas Marinhas nas ilhas de Cabo Verde. *Zoologia Caboverdiana*, 3, 24-47. [Link](#)
- Marques, A. M. C. (2014). *Que influência tem a localização do ninho na proporção de sexos da espécie tartaruga-verde (Chelonia mydas), na ilha de Poilão, Guiné-Bissau?* (Doctoral dissertation). [Link](#)
- Maxwell, S. M., Broderick, A. C., Dutton, P. H., Fossette-Halot, S., Fuentes, M. M., & Reina, R. D. (2019). Advances in the biology and conservation of marine turtles. *Frontiers in Marine Science*, 6, 9. [Link](#)
- Patrício, A. R., Marques, A., Barbosa, C., Broderick, A. C., Godley, B. J., Hawkes, L. A., ... & Catry, P. (2017). Balanced primary sex ratios and resilience to climate change in a major sea turtle population. *Marine Ecology Progress Series*, 577, 189-203. [Link](#)
- Patrício, A. R., Formia, A., Barbosa, C., Broderick, A. C., Bruford, M., Carreras, C., ... & Godley, B. J. (2017). Dispersal of green turtles from Africa's largest rookery assessed through genetic markers. *Marine Ecology Progress Series*, 569, 215-225. [Link](#)
- Patrício, A. R., Varela, M. R., Barbosa, C., Broderick, A. C., Airaud, M. B. F., Godley, B. J., ... & Catry, P. (2018). Nest site selection repeatability of green turtles, *Chelonia mydas*, and consequences for offspring. *Animal Behaviour*, 139, 91-102. [Link](#)
- Patrício, A. R., Varela, M. R., Barbosa, C., Broderick, A. C., Catry, P., Hawkes, L. A., ... & Godley, B. J. (2019). Climate change resilience of a globally important sea turtle nesting population. *Global Change Biology*, 25(2), 522-535. [Link](#)
- Piacenza, S. E., Richards, P. M., & Heppell, S. S. (2019). Fathoming sea turtles: monitoring strategy evaluation to improve conservation status assessments. *Ecological Applications*, 29(6), e01942. [Link](#)

- Prosdocimi, L., Teryda, N. S., Navarro, G. S., & Carthy, R. R. (2021). Use of remote sensing tools to predict focal areas for sea turtle conservation in the south-western Atlantic. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(4), 830-840. [Link](#)
- Rees, A. F., Avens, L., Ballorain, K., Bevan, E., Broderick, A. C., Carthy, R. R., ... & Godley, B. J. (2018). The potential of unmanned aerial systems for sea turtle research and conservation: a review and future directions. *Endangered Species Research*, 35, 81-100. [Link](#)
- Rguez-Baron, J. M., Uc, M. L., & Riosmena-Rodríguez, R. (Eds.). (2016). *Advances in research techniques for the study of sea turtles*. Nova Science Publishers, Incorporated. [Link](#)
- Reisser, J., Proietti, M., Kinas, P., & Sazima, I. (2008). Photographic identification of sea turtles: method description and validation, with an estimation of tag loss. *Endangered species research*, 5(1), 73-82. [Link](#)
- Seminoff, J. A., Benson, S. R., Arthur, K. E., Eguchi, T., Dutton, P. H., Tapilatu, R. F., & Popp, B. N. (2012). Stable isotope tracking of endangered sea turtles: validation with satellite telemetry and  $\delta^{15}\text{N}$  analysis of amino acids. *PLoS One*, 7(5), e37403. [Link](#)
- Stokes, L., Epperly, S. P., Avens, L. I., Belskis, L. C., Benson, S. R., Braun-McNeill, J., ... & Wyneken, J. (2008). Sea turtle research techniques manual. [Link](#)
- Warden, M. L., Haas, H. L., Richards, P. M., Rose, K. A., & Hatch, J. M. (2017). Monitoring trends in sea turtle populations: walk or fly?. *Endangered Species Research*, 34, 323-337. [Link](#)
- Wibbels, T., Lutz, P. L., Musick, J. A., & Wyneken, J. (2003). Critical approaches to sex determination in sea turtles. *The biology of sea turtles*, 2, 103-134. [Link](#)
- Wildermann, N. E., Gredzens, C., Avens, L., Barrios-Garrido, H. A., Bell, I., Blumenthal, J., ... & Fuentes, M. M. (2018). Informing research priorities for immature sea turtles through expert elicitation. *Endangered Species Research*, 37, 55-76. [Link](#)
- Witt, M. J., Baert, B., Broderick, A. C., Formia, A., Fretey, J., Gibudi, A., ... & Godley, B. J. (2009). Aerial surveying of the world's largest leatherback turtle rookery: a more effective methodology for large-scale monitoring. *Biological Conservation*, 142(8), 1719-1727. [Link](#)

## CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES

1. 2 "Chelonia mydas juvénile", Joana Hancock
3. "mesure", Joana Hancock
4. "biométrie", Programa Tatô (avec permission) ; "dans l'eau Mauritanie", Rita Patrício (avec permission) ; "Tortue avec étiquette", Paulo Catry (avec permission)
5. "Chelonia mydas - adulte", Joana Hancock
6. "Enquête matinale, faux rampant, nid", Joana Hancock
7. "Traces de *Chelonia mydas*", Rita Patrício (avec permission)
8. "patrouille de nuit, programme Tato" (avec permission)
9. "Chelonia mydas", Joana Hancock ; "Pit Tag", dans Marco *et al.* 2012
10. "Chelonia mydas, Poilon", Paulo Catry (avec permission)
11. "Poilon - vue aérienne", Miguel Varela (avec permission)
12. "Utilisation du GPS", Joana Hancock
13. "traces d'éclosion", "prédation des nids", "Caretta caretta mort, Boavista", Joana Hancock ; "érosion des plages", WIDECASST Amérique latine (avec permission).
14. "techniques", Rita Patrício (avec permission)
15. "techniques I", "techniques II", Rita Patrício (avec permission) ; "exhumation du nid", Joana Hancock
16. "tortue étiquetée", Joana Hancock
17. "Chelonia mydas échouée", "Chelonia mydas capturée", "viande de tortue à vendre", Joana Hancock
18. "tortue de mer", Dennis Jarvis (CC-BY-SA-2.0) ; "Área de Proteção Ambiental de Fernando de Noronha", Carlosaycaes (CC-BY-SA-4.0) ; "Sea turtles observed from a drone on shallow reef foraging habitat", dans Bevan *et al.* (2018) doi : 10.1371/journal.pone.0194460.
19. "Capture Imraguen", Joana Hancock ; "Photo ID", Joana Hancock ; "Hand capture", Programa Tatô (avec permission)
20. "La pêche à l'Imraguen", Joana Hancock
21. "tortue avec étiquettes", "motifs faciaux", Joana Hancock
22. "mesurer le CCL, mesurer la queue", Joana Hancock
23. "Prélèvement de sang de tortue verte", Hector Barrios-Garrido (avec permission) ; "Tortue de mesure", "Tortue de prélèvement", "Tortue avec tumeurs", Joana Hancock
24. "Analyse du contenu de l'estomac", Karumbe (avec permission) ; "Nager avec les tortues à l'île d'Apo, Philippines", AchilezWeb (CC-BY-SA-4.0)
27. "tortue avec étiquette sat", Joana Hancock
28. "marquage de *Chelonia mydas* à Poilão", Miguel Varela (avec permission) "tortue individuelle", Joana Hancock
29. "Chelonia mydas avec étiquette sat", Paulo Catry (avec permission)
30. "Chelonia mydas - adulte", "Chelonia mydas hatchlings", "Chelonia mydas juveniles", Joana Hancock
31. "Les éclosions de *Chelonia mydas*", Joana Hancock
32. "Collecte de données", Joana Hancock
34. "Chelonia mydas avec tag", Paulo Catry (avec permission)

## INFORMATIONS TECHNIQUES

Titre du module :

Introduction aux techniques de suivi et de recherche

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

