



Argonimaux

Suivi des tortues marines par satellites



Exemple concret de suivis

Ce document est structuré en 3 grandes parties :

- **Introduction - Les données Argonautica (pages 2-3)**

Comment accéder aux positions et trajets de tortues marines en « direct » ou des années précédentes à partir de la plateforme de données Argonautica.

- **Observation, problématisation et hypothèses (pages 4-5)**

Comment amorcer une démarche d'investigation en classe à partir d'observations des cartes du déplacement et des cartes satellites environnementales.

- **Investigations (pages 6-16)**

Comment la mise en relation des trajets des tortues marines, cartes de paramètres environnementaux et biologie de l'espèce permet d'approfondir nos connaissances et ouvre de nouvelles pistes de recherches.

- **Annexes (pages 17-26)**

Comment la mise en relation des trajets des tortues marines, cartes de paramètres environnementaux et biologie de l'espèce permet d'approfondir nos connaissances et ouvre de nouvelles pistes de recherches.



© COUTANT (Aquarium La Rochelle)

Introduction - Les données Argonautica

Argonautica permet de suivre des tortues marines et conditions environnementales associées « en direct » (mise à jour hebdomadaire, le jeudi) mais également des années antérieures (« période de données complète ») sur la plateforme des données Argonautica.

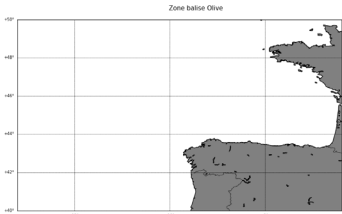
Matériel : Ordinateurs avec liaison internet, google earth installé si possible.

Site de la plateforme de données satellites : <http://argonautica.jason.oceanobs.com>

Tutoriel : Annexe 1-1 et 1-2, Page 18 et 19.

Observation des positions et déplacements

Exemple du trajet de la tortue marine caouanne « Olive »

A partir des tableaux de position	Directement sur les cartes de position	Avec google earth																														
Positions Cartes Positions du 27/08/2024 Télécharger le fichier des positions ci-dessous ? Télécharger le fichier de toutes les positions ? Télécharger la carte vierge de la zone de la balise ? <table border="1"><thead><tr><th>num</th><th>cl.</th><th>date</th><th>h.</th><th>lat.</th><th>lon.</th></tr><tr><th></th><th></th><th>yyyy/mm/dd</th><th>hh:mm</th><th>deg.</th><th>deg.</th></tr></thead><tbody><tr><td>266007</td><td>2</td><td>2024/08/21</td><td>04:34</td><td>47°18'</td><td>-75°07'</td></tr><tr><td>266007</td><td>8</td><td>2024/08/21</td><td>04:45</td><td>47°20'</td><td>-74°50'</td></tr><tr><td>266007</td><td>9</td><td>2024/08/21</td><td>05:11</td><td>47°15'</td><td>-75°10'</td></tr></tbody></table> En reportant les positions fournies dans le tableau sur une « carte vierge de la zone balise » 	num	cl.	date	h.	lat.	lon.			yyyy/mm/dd	hh:mm	deg.	deg.	266007	2	2024/08/21	04:34	47°18'	-75°07'	266007	8	2024/08/21	04:45	47°20'	-74°50'	266007	9	2024/08/21	05:11	47°15'	-75°10'	Positions Cartes Cartes du 27/08/2024 Cliquez sur les images pour les agrandir; Faire un clic-droit sur une image et choisir "sauver le lien sous" (ou "sauver la cible du lien sous" selon votre navigateur) vous permet de récupérer l'image en grande taille sans l'avoir visualisée au préalable. Télécharger toutes les images Visualisez les cartes avec Google Earth  En rouge les déplacements effectués la dernière semaine, en bleu les déplacements précédents.	
num	cl.	date	h.	lat.	lon.																											
		yyyy/mm/dd	hh:mm	deg.	deg.																											
266007	2	2024/08/21	04:34	47°18'	-75°07'																											
266007	8	2024/08/21	04:45	47°20'	-74°50'																											
266007	9	2024/08/21	05:11	47°15'	-75°10'																											
Sur les cartes Argonautica, les zones grises sont des terres émergées ; les blanches des zones océaniques. En rouge les déplacements effectués la dernière semaine, en bleu les déplacements précédents.																																

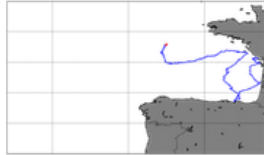
En participant à Argonautica, vous pourrez également demander l'envoi d'une carte planisphère couleur grand format pour situer la zone fréquentée par les tortues et afficher en classe.

Cartes environnementales

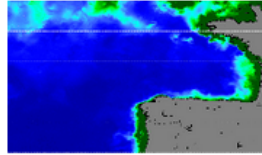
Dans la rubrique « Cartes » se trouvent des données environnementales : cartes des températures, des courants, salinité ...

Il faut cliquer sur la carte pour avoir la carte en grand et lire la légende des valeurs des paramètres.

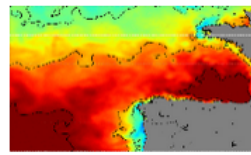
Exemple des cartes disponibles pour la tortue marine caouanne « Olive », suivie du 21/08/2024 au 27/08/2024



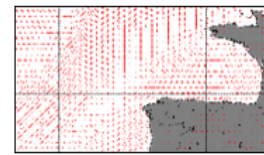
Trajet de la balise



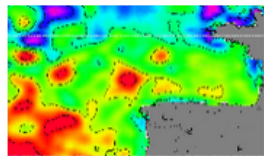
Chlorophylle -
Phytoplancton



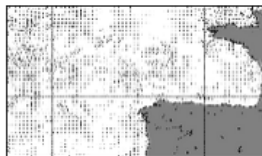
Température à la surface
mesurée par satellite



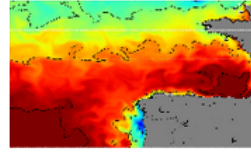
Vents à la surface



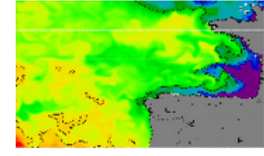
Topographie de l'océan



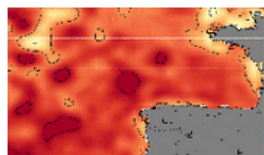
Courants géostrophiques



Température Mercator à la
surface



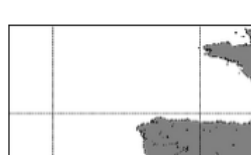
Salinité Mercator



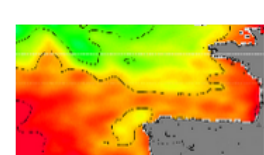
Écart à la moyenne de la
topographie de l'océan



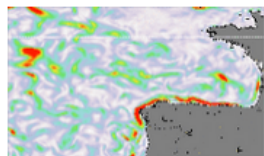
Courants géostrophiques
déduits



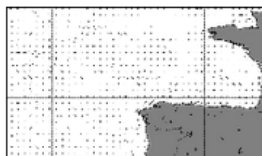
Zone de la balise



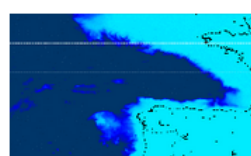
Topographie océanique
moyenne



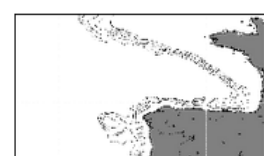
Courants de surface



Courants de surface



Bathymétrie



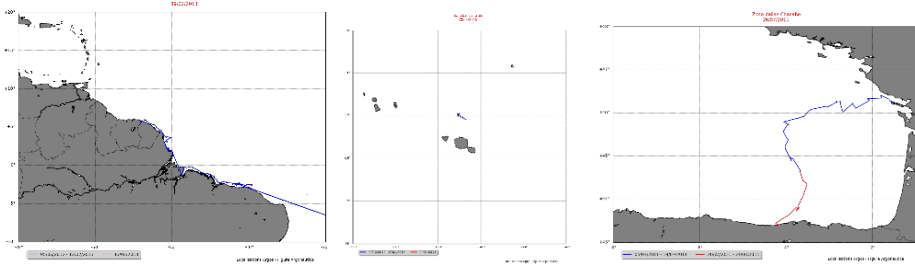
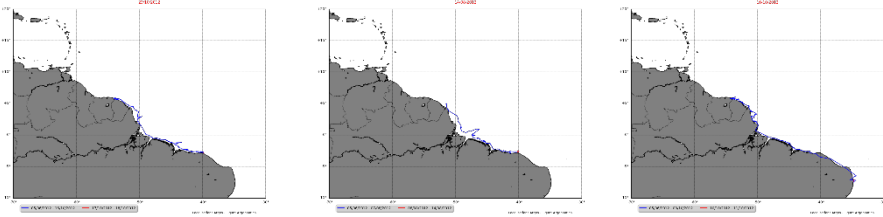
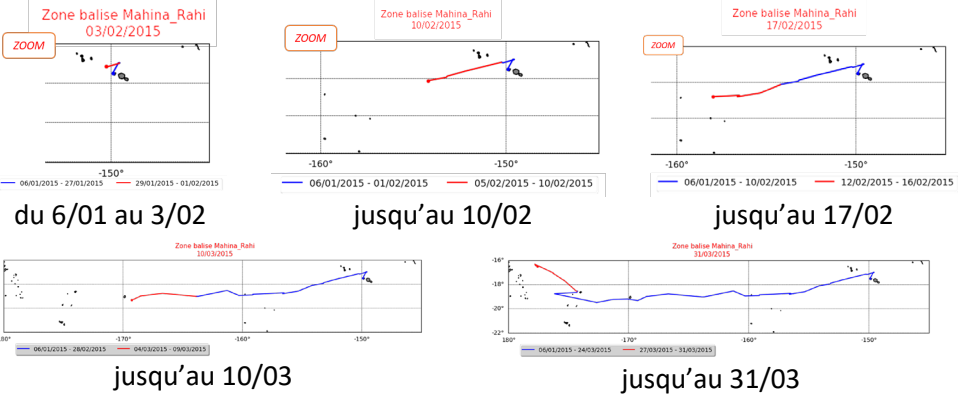
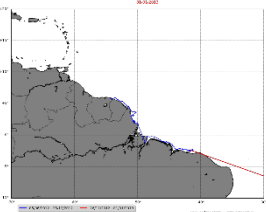
Bathymétrie (contours)

Observation, problématisation et hypothèses

Le suivi est réalisé dans des régions différentes selon les années, en fonction des équipes de scientifiques partenaires. Différentes espèces de tortues marines sont suivies.

Observation des trajets

La découverte des cartes soulève rapidement de nombreuses questions pour les élèves, que ce soit sur les déplacements des tortues ou sur les caractéristiques environnementales dans lesquelles elles évoluent.

Cartes	Observations et Questions
Cartes de suivi des tortues Moutouchi, Tarita, Chacahé : 	Des tortues vertes se retrouvent dans des zones géographiques variées. <i>Où se trouvent ces tortues ?</i> <i>Pourquoi les trouve-t-on dans des zones si différentes ?</i> <i>Se rencontrent-elles ?</i>
Cartes de trajets similaires : Awala, Kalina, et Jul57 	Observation de trajets similaires le long de la Guyane française et de la côte brésilienne. <i>Qu'est ce qui « guide » les tortues dans leurs déplacements ? Pourquoi ces trajets en bordure en direction du sud ? Se déplacent-elles « en groupe » ?</i>
Trajet de la tortue verte Mahina Rahi entre le 6/01 et le 31/03/2015 : 	Après 1 mois dans la même zone, Mahina Rahi part... <i>Pourquoi ce départ au bout d'un mois ?</i> <i>Où va-elle ? pourquoi ce trajet « rectiligne » vers l'ouest ?</i> <i>Quelle distance a-t-elle parcourue ?</i> <i>Comment se déplace-t-elle ?</i>
Trajet de la tortue verte Moutouchi du 5/06/2012 au 1/01/2013 : 	Le dernier trajet (en rouge) est très rectiligne et éloigné du trajet global. <i>A quoi correspond la position très éloignée ?</i> <i>A quelle vitesse la tortue va-t-elle ?</i>

Problématiques et hypothèses

La découverte de positions et trajets permet ainsi de sérier des problématiques et de proposer des hypothèses.

Problématiques	Questions à résoudre	Hypothèses
Où vivent les tortues vertes ?	Comment lire les cartes ? Que sont les zones grisées, les zones blanches ? Comment repérer la position géographique des tortues ? Quel est le point de départ du trajet d'une tortue ?	<i>Les zones grisées sont des terres, de l'océan ? Il y a des repères géographiques sur les cartes.</i> <i>C'est l'endroit où les scientifiques peuvent l'équiper, c'est l'endroit où elle est née, où on l'attrape ...</i>
Pourquoi se déplacent-elles ?	Pourquoi partent-elles ? Comment s'organise la vie des tortues vertes ? Où et de quoi se nourrissent-elles ? Quels sont leurs prédateurs ? Comment, quand et où se reproduisent-elles ?	<i>Elles partent pour aller se nourrir ailleurs ? Elles suivent des bancs de poissons ? Pour fuir les scientifiques, des prédateurs ou d'autres dangers ? Pour aller se reproduire ?</i>
Quels sont les trajets effectués par les tortues marines ?	Vers où se déplacent les tortues vertes ? Qu'est ce qui « induit » leurs déplacements ? Quelles sont les caractéristiques des zones fréquentées ? Pourquoi certaines tortues suivent-elles un même trajet ?	<i>Elles vont là où les conditions de vie sont meilleures ? Leur trajet dépend de leur point de départ ? du vent ? du courant ? Elles cherchent des choses différentes en fonction des endroits, découvrent leur région, vont vers un milieu froid ? Chaud ? Venté ? ...</i> <i>Elles vivent en groupe, en famille, elles se suivent... ?</i>
Comment les tortues marines se déplacent-elles ?	Comment sont leurs membres antérieurs et postérieurs ?	<i>Les tortues marines nagent, flottent et plongent ? Elles peuvent marcher ?</i>
	A quelle vitesse se déplacent les tortues marines ?	<i>Elles nagent plus ou moins vite, en fonction du jour, nuit, des vents, des courants ... La nuit, elles dorment ?</i>
	Comment expliquer les positions brutalement très éloignées de la trajectoire certaines fois ?	<i>Parce qu'elle a été très vite ? est-ce qu'il peut y avoir des données fausses ? D'où cela peut venir (satellites, calculs...) ?</i> <i>Voir des infos complémentaires Annexe 1-3, Page 20.</i>
Pourquoi les équipe-t-on de balises ?	Le travail des scientifiques : Quelles études font-ils sur les tortues marines ? Comment se fait l'équipement d'une tortue marine ?	<i>Ils veulent découvrir où elles vont et pourquoi. Ils les étudient car elles sont rares ?</i>

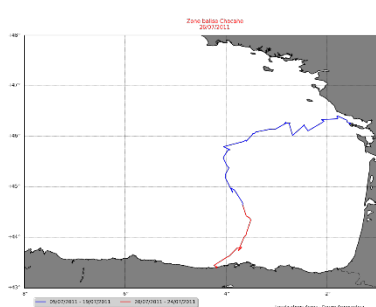
Investigations

Argonautica permet également la mise en relation des trajets de tortues marines avec différentes cartes satellites environnementales : cartes des températures, de la salinité, de la topographie, des courants de surface de l’océan, des vents... Cela permet de soulever de nouvelles questions et de formuler des hypothèses sur les relations déplacement/environnement.

Exemples de superposition de trajets et cartes environnementales

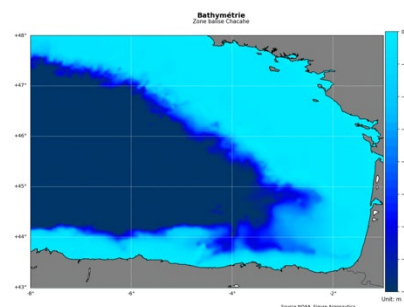
- Trajet de Chacahé, carte océanographique de la bathymétrie et superposition :

Carte du trajet de Chacahé



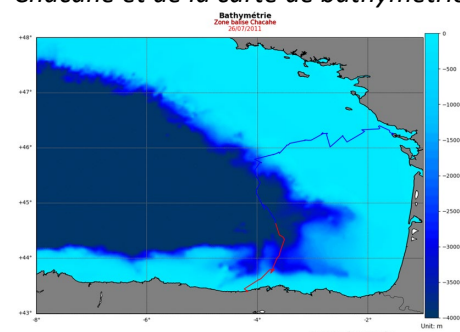
Chacahé part de l’île de Ré en direction du large, vers l’ouest, puis se dirige vers le sud jusqu’aux côtes de l’Espagne.

Carte de la Bathymétrie



2 zones différentes : une zone de profondeur inférieure à 500 m (plateau continental), une de profondeur supérieure à 1500m.

Superposition de la carte du trajet de Chacahé et de la carte de bathymétrie

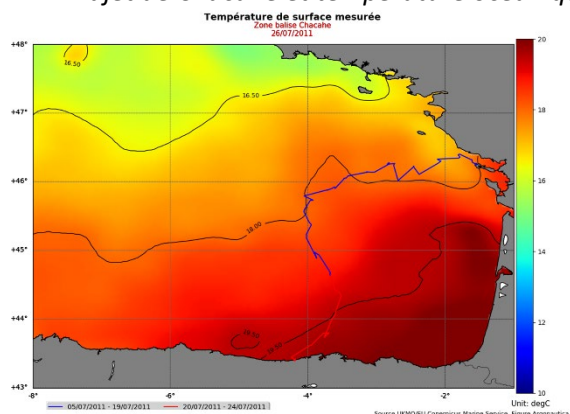


La superposition des cartes montre que Chacahé a changé de direction lorsqu’elle s’est trouvée à la bordure du plateau continental.

➡ Est-ce que la bathymétrie influencerait le déplacement de Chacahé ?

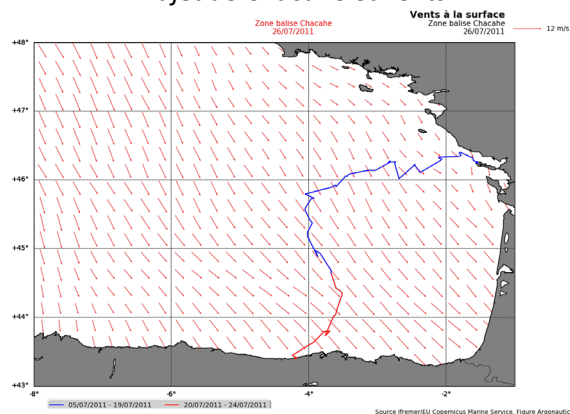
- Superpositions trajet/carte des températures océaniques et carte des vents marins

Trajet de Chacahé et température océanique :



La première partie du trajet suit l’isotherme 18°C. Ensuite, Chacahé se dirige vers le sud où les eaux sont de températures plus élevées (supérieures à 19°C).

Trajet de Chacahé et vents :

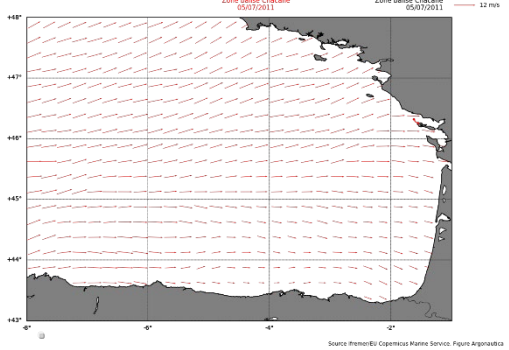
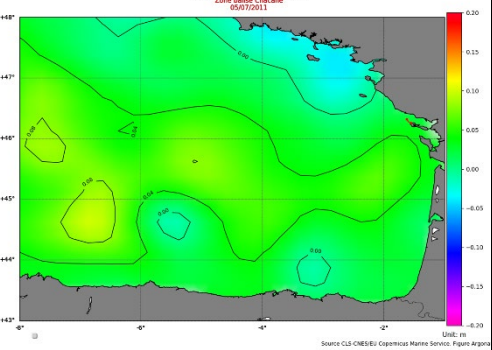
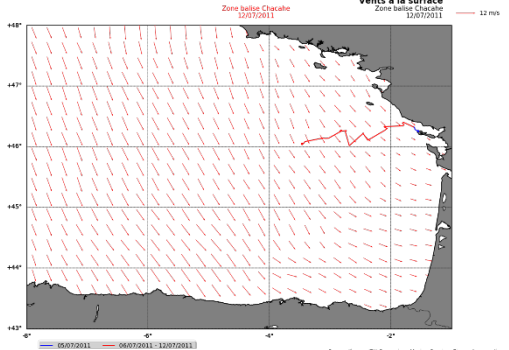
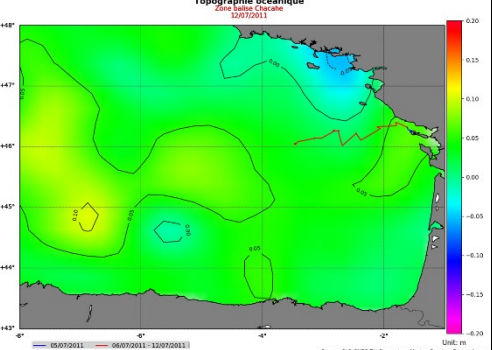
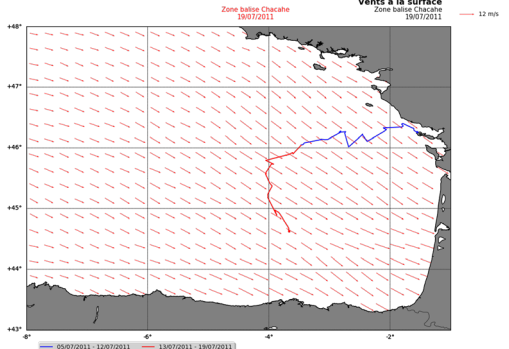
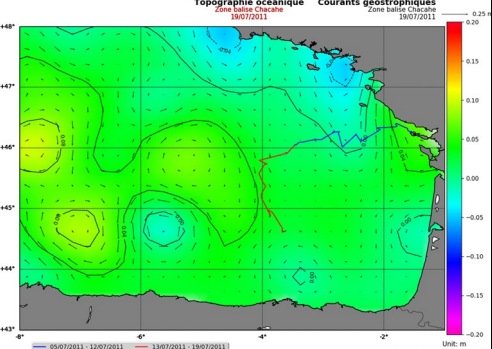


La superposition avec la carte des vents de surface de la dernière semaine laisse entrevoir une possible influence de la direction des vents sur le déplacement pour la deuxième partie du parcours.

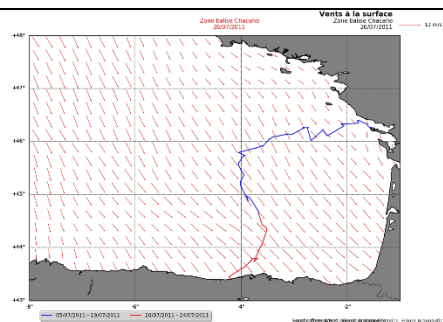
- ➡ La température de l’eau influencerait-elle le déplacement de Chacahé ?
- ➡ Les vents l’entraineraient-ils dans leur direction ?

- Superpositions semaine après semaine du trajet et de cartes environnementales

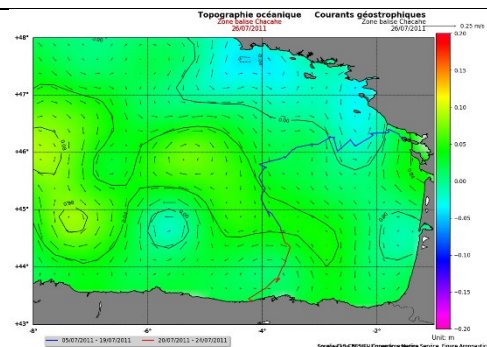
Le suivi semaine après semaine permet d'observer quelle variation de paramètres océaniques entraîne des modifications de déplacement.

Date	Trajet et vents à la surface	Trajet et topographie + courants	Hypothèses
5/07	 Vents de surface (10m/s) vers l'est.	 Zones de hauteur de mer positive (jaune) et un peu négative (bleu clair).	<i>La Tortue Chacahé ne fait pas un grand trajet après avoir été relâchée. Les vents assez forts la maintiennent ils sur la côte ?</i>
12/07	 Les vents ont changé de direction et ne soufflent plus directement vers la côte (vent de nord-ouest).	 Globalement le même relief mais avec des différences de hauteur moins marquées. Chacahé traverse une zone à topographie négative.	<i>Chacahé se dirige vers le large, avec quelques déplacements «contre le vent». Compense-t'elle une dérive pour maintenir un cap ?</i>
19/07	 Les vents se maintiennent en direction du sud-est.	 La zone en bosse (0,1m) centrée sur 5°W et environ 46°N crée un courant en direction du sud (longitude 4°).	<i>Le trajet de Chacahé se modifie, direction sud. Le vent fort est il responsable du « virage » ? Ou est ce qu'elle suit le courant créé par la topographie océanique ?</i>

26/07



Les vents se maintiennent, toujours en direction sud-est.



Elle arrive sur une zone en creux (-0,05m) qui entraîne des courants dans le sens inverse des aiguilles d'une montre.

Chacahé réalise un nouveau changement de direction, vers le sud-ouest jusqu'à la côte espagnole. Le creux a-t-il modifié sa trajectoire ?

➡ Les vents (direction et force) ou la topographie influenceraient le trajet ? Et quid de l'influence de la salinité, de la température, la couleur de l'eau (quantité de chlorophylle) ?

Les différentes hypothèses nécessitent de poursuivre l'investigation pour être validées ou non et pourront être soumises aux scientifiques partenaires d'Argonautica !

Mises en relation avec la biologie

Cette partie montre comment certaines questions issues des observations des **cartes de déplacements et cartes satellites environnementales fournies par Argonautica** trouvent réponse avec une mise en relation avec le **mode de vie** des tortues marines.

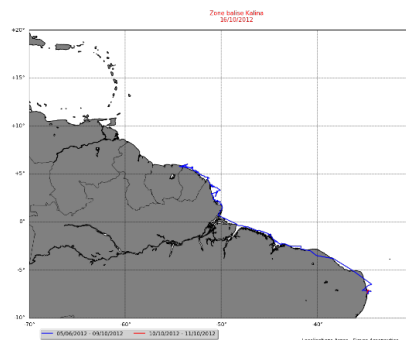
Pour les connaissances sur la biologie des tortues marines (stades de vie, reproduction ...), il sera nécessaire d'utiliser **des ressources documentaires** : livres, sites web, questions aux scientifiques d'Argonautica...

Chaque question est traitée ici individuellement mais dans le cadre de la démarche d'investigation, les réponses s'imbriquent souvent les unes dans les autres ! Les exemples choisis se concentrent sur les tortues vertes.

○ Où vivent les tortues vertes ?

Les tortues vertes ont une large répartition, elles sont présentes dans tous les océans entre 40° nord et 35° sud (en été), en Europe, et peuvent même remonter jusqu'à 60° nord (Angleterre).

Exemple de la localisation de la tortue verte Kalina sur les côtes de la Guyane française et Brésil :



○ Quel est le point de départ du trajet d'une tortue ?

La balise Argos étant mise en fonctionnement dès l'équipement de l'animal, le début des trajets correspond donc à l'endroit où les scientifiques ont équipé la tortue marine.

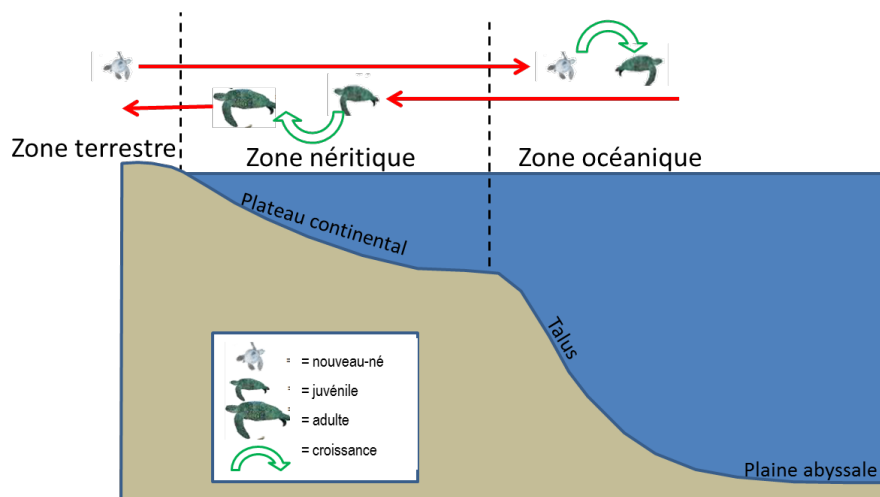
Les cartes de suivi Argonautica montrent des trajets qui démarrent de quelques endroits récurrents: l'équipement se fait souvent dans un lieu de ponte, dans un centre de soin après échouage...

Les indications latitude/longitude fournies sur Argonautica permettent d'identifier ces lieux. Les scientifiques partenaires écrivent parfois un journal de bord à l'attention des classes (à retrouver sur le site web CNES Argonimaux).

○ Pourquoi les tortues vertes se déplacent-elles ?

Pourquoi partent-elles ? Comment s'organisent les déplacements des tortues vertes au cours de leur vie ?

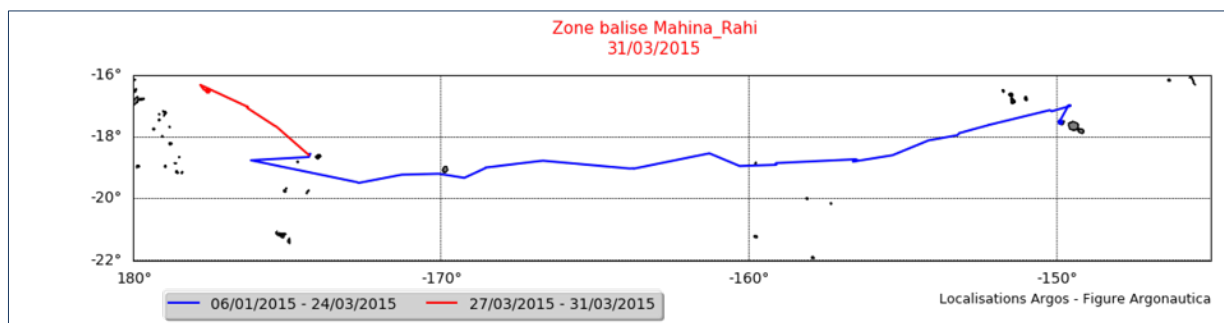
Les cartes de déplacement montrent que les tortues vertes se trouvent essentiellement le long des côtes continentales, autour d'îles océaniques ou dans les océans : elles passent la quasi-totalité de leur vie dans des habitats marins. Elles fréquentent en fait plusieurs milieux au cours de leur cycle de vie : terrestre pour la ponte des femelles et l'émergence des nouveau-nés, zone océanique pour les juvéniles avant de revenir progressivement puis rester en zone néritique. Les adultes fréquentent également le milieu néritique pour se nourrir avant reproduction.



Milieux fréquentés et déplacements selon le stade de vie de la tortue verte

De plus, les suivis des tortues marines adultes révèlent un comportement migratoire entre lieu de reproduction et lieu d'alimentation géographiquement différents. La vie des tortues vertes, liée aux impératifs de se reproduire et de se nourrir, s'organise ainsi autour de déplacements entre différents lieux, liés au stade de vie de la tortue concernée.

Exemple avec Mahina Rahi qui effectue un déplacement de Fidji (lieu d'alimentation) à Tahiti (lieu de ponte).



○ Où et de quoi se nourrissent les tortues vertes ?

Au cours de leur phase océanique, les juvéniles tortues vertes ont un régime alimentaire avec dominance carnivore : crustacés, mollusques, poissons... Quand ils se rapprochent des côtes, leur régime alimentaire change progressivement et devient herbivore.

A l'âge adulte, les tortues vertes mâles et femelles sont herbivores et broutent dans les prairies sous-marines et herbiers toute la journée, avec une phase de repos à mi-journée. Elles se nourrissent de phanérogames (*Halophila*, *Thalassia*, *Posidonia*, *Halodule*, *Syringodium*, *Cymodocea*, *Thalassodendron ciliatum*) ou d'algues (*Gelidiella acerosa*, *Chaetomorpha aerea* et *Sargassum illicifolium*) dans les zones côtières très peu profondes.

Tortue verte broutant un herbier
By P.Lindgren - CC BY-SA 3.0



Certaines caractéristiques du site d'alimentation influencent le comportement alimentaire des tortues : température, répartition bathymétrique des herbiers, fréquentation par les humains...

Le suivi par satellite permet d'observer en outre que certaines tortues vertes adultes (près de 30 %) fréquentent le milieu océanique et se nourrissent de macro-plancton, méduses et cténophores ...

Les sites d'alimentation sont répartis sur toutes les latitudes en zone chaude. Sur un même site d'alimentation, on peut trouver des tortues vertes de populations différentes :

- Populations du Pacifique est, du sud-est asiatique, de l'Australie et de l'océan Indien pour les sites d'alimentation Indo-Pacifique ;
- Populations de l'est ou de l'ouest des Caraïbes, de la Méditerranée, de l'Atlantique sud et de l'ouest de l'Afrique pour les sites d'alimentation Atlantique-Méditerranée.

Les tortues adultes constituent des réserves de graisse, étape indispensable avant la phase de reproduction pendant laquelle elles ne s'alimentent que rarement.

- Comment, quand et où se reproduisent-elles ?



La saison de reproduction dure quelques mois et a lieu tous les 4 à 5 ans pour les femelles.

La femelle fait entre 3 et 4 pontes, espacées de deux semaines environ. Elle creuse dans le sable avec ses membres avant et aménage un puits de ponte en creusant avec ses membres arrière. Après la ponte, elle recouvre les œufs et le nid de sable.

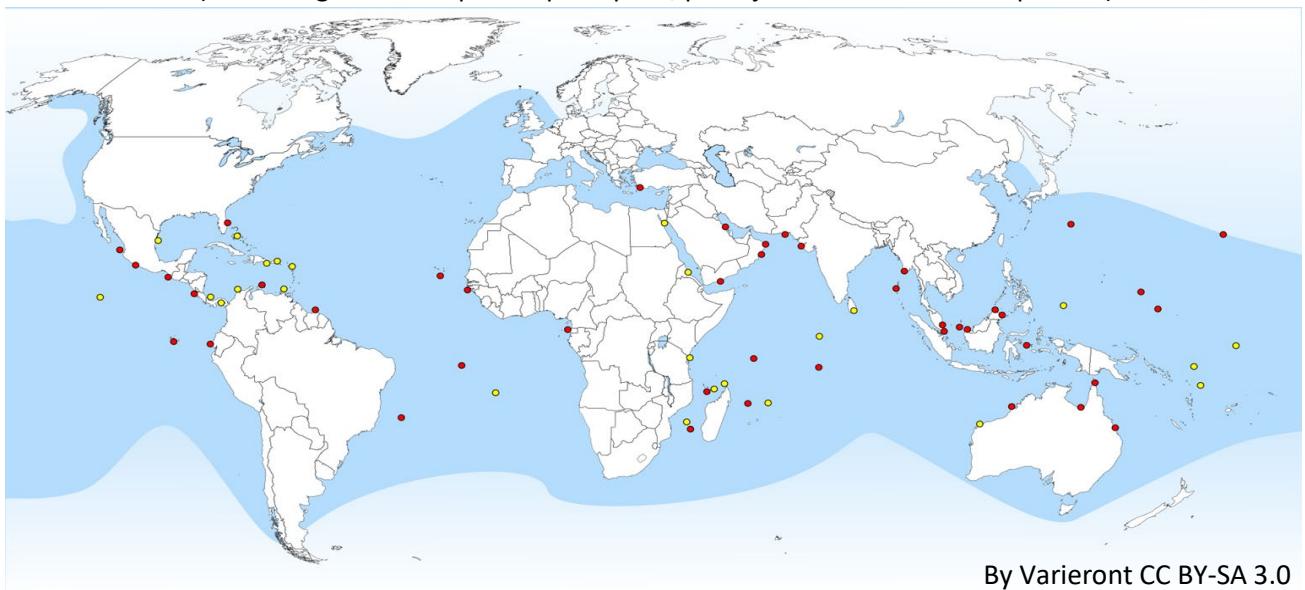
Ponte d'une tortue verte @Laurie Minor-Penland (Smithsonian Institution)

Lors de l'accouplement, seule la femelle nage, le mâle étant accroché à sa carapace à l'aide de longues griffes recourbées sur ses membres avant. La fécondation est interne et une spermathèque permet la fécondation des œufs plusieurs mois après l'accouplement.

Les zones de nidifications des tortues vertes sont nombreuses : Océan indien, Mer d'Oman, nord et sud Pacifique (Japon, Australie, Equateur et Mexique), Océan Atlantique (Cap vert, Suriname, Venezuela, Brésil, Guyane), ...

Lieux de pontes de tortues vertes

(Point rouge=lieux de pontes principaux, point jaune=autres lieux de pontes.)



By Varieront CC BY-SA 3.0

Sur un site de reproduction donné, on ne trouve qu'une seule population de tortues vertes, originaires de la même région géographique. Les études génétiques montrent cependant que les différents groupes de tortues vertes se croisent et se mélangent. Voir Annexe 3 Page 23 : *Éléments de phylogéographie des populations de tortues vertes.*

- Quels sont les trajets effectués par les tortues vertes ?

Vers où se déplacent les tortues vertes ? Qu'est ce qui « induit » leurs déplacements ? Quelles sont les caractéristiques des zones fréquentées ? Pourquoi certaines tortues vertes suivent-elles un même trajet ?

Au moment de se reproduire, les tortues quittent leur site d'alimentation et migrent fidèlement vers une zone de reproduction : les femelles pondent toujours sur le même site géographique.

L'hypothèse qu'il s'agirait de leur site de naissance (*philopatrie*) n'est pas prouvée. Cela nécessiterait des suivis sur plusieurs années d'une même tortue (de la naissance jusqu'à l'âge adulte et la ponte), et l'équipement de balise sur les nouveau-nés est récent dans la recherche.

Après la phase de reproduction qui dure quelques mois, les tortues migrent vers leur site d'alimentation selon des trajets précisés grâce aux suivis d'individus par satellite.

Pour découvrir les déplacements migratoires des tortues marines et voir ce qui peut les influencer, on pourra comparer des trajets de tortues relâchées à un même endroit, comparer avec les trajets des années passées, voir si l'on fait à plusieurs reprises les mêmes observations concernant les interactions avec les paramètres environnementaux ... et mettre cela en relation avec leur biologie.

Stade de vie	Déplacements	Caractéristiques
Emergence (nouveaux- nés)	De la plage à l'eau	Déplacement actif jusqu'au large : nage frénétique
Premier stade juvénile	En milieu océanique	Déplacements supposés passifs selon les courants océaniques, parfois en association avec des objets dérivants (radeaux de sargasses...)
Second stade juvénile	Trajet vers les côtes	Déplacement actif vers les sites d'alimentation les plus proches de leur plage de naissance
Adulte en phase d'alimentation	Sédentarité	Déplacements pour brouter dans les herbiers sous-marins du lieu d'alimentation
Adulte en déplacement migratoire	Migration entre site d'alimentation et de reproduction (migration génésique)	Trajets migratoires actifs avec orientation globale olfactive, visuelle et magnétique. Déplacements de dérive passive (au repos, nageoires relevées sur la carapace) influencés par les courants océaniques.
Adulte en phase de reproduction	Trajets sur plage et trajets interpontes marins	Femelles : ponte, retour à l'eau et trajets marins de deux semaines.

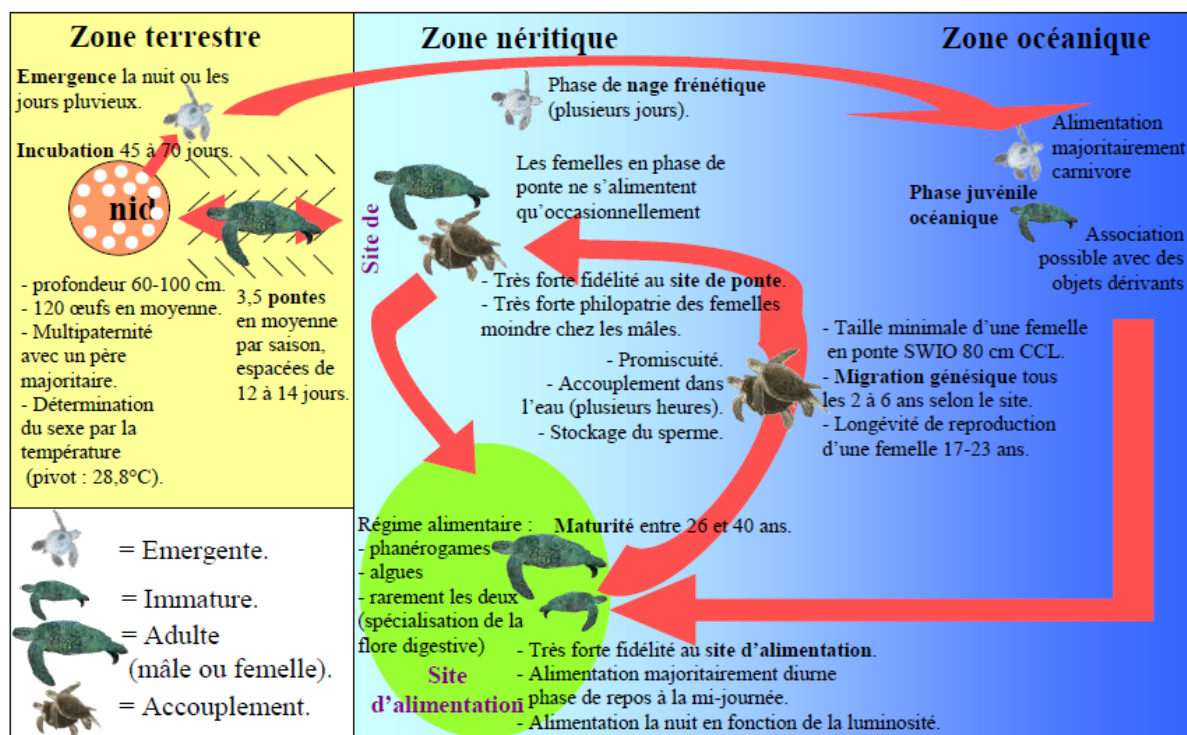


Figure 1-6 : Résumé du cycle de vie de la tortue verte (*Chelonia mydas*).

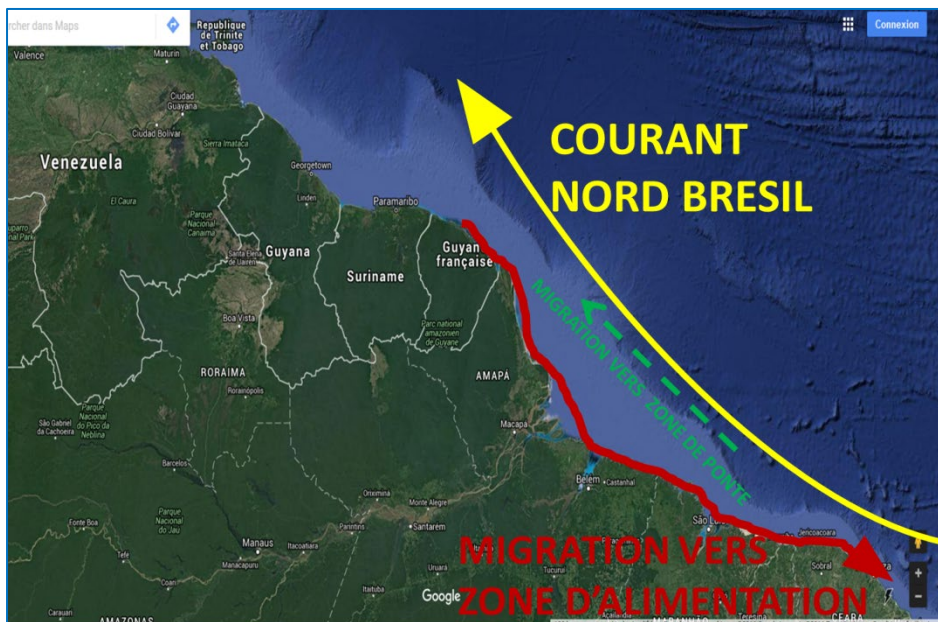
Taquet C., 2007 - Diversité et différenciation génétiques des populations de tortues vertes (*Chelonia mydas*) dans les sites de ponte et d'alimentation du sud-ouest de l'océan Indien : Application aux stratégies de conservation de l'espèce. Thèse de Doctorat de l'Université de la Réunion, Biologie Marine, 226p.

○ Exemple d'analyse avec le suivi de tortues vertes en Guyane

Le suivi par satellite des tortues vertes équipées de balise Argos dans leur zone de ponte en Guyane révèle qu'après reproduction, les tortues vertes adultes se déplacent vers le sud en réalisant une migration côtière similaire de plusieurs milliers de kilomètres.

Ces tortues vertes vont rejoindre une zone d'alimentation au large du Brésil. Lors d'une nouvelle période de reproduction, elles reprendront une migration en sens inverse, vers le nord, pour revenir en Guyane se reproduire.

Sens migratoire des tortues vertes se reproduisant en Guyane et sens du courant nord Brésil :



Migration vers zone d'alimentation : les tortues restent à très faible distance du rivage et vont à contre-courant du courant nord Brésil rejoindre la zone d'alimentation au large du Brésil.

Migration vers zone de ponte : pour revenir des zones d'alimentation du Brésil vers les zones de pontes, les tortues bénéficient du courant porteur et dépensent moins d'énergie pour leur trajet.

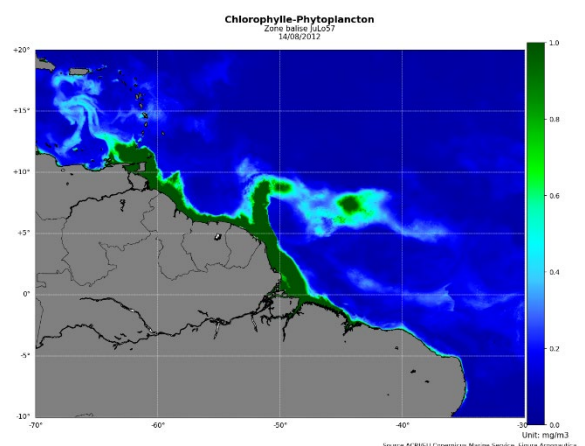
Ces migrations se sont révélées de sens contraire à ce que l'on pensait concernant l'utilisation du sens du courant océanique nord Brésil. En effet, après la phase de reproduction qui utilise déjà beaucoup d'énergie, on aurait pu s'attendre à une migration qui ne soit pas « à contre-courant ».

Peut-être les tortues se nourrissent-elles dans les zones côtières parcourues lors de leur migration post-reproduction à contre-courant ?

La « couleur de l'eau » mesurée par satellite correspond à la concentration en chlorophylle-a et donc en phytoplancton, base des chaînes alimentaires. Elle est importante en bordure continentale au nord de l'Amazonie : le courant nord Brésil, entraînant les sédiments et nutriments déversés par le fleuve Amazone situé plus au sud, favorise l'activité biologique dans ces zones. Les tortues s'y nourrissent peut-être en quittant la zone de ponte.

Au niveau de l'estuaire de l'Amazonie au courant exceptionnel, on observe deux stratégies de passage :

- certaines tortues vertes contournent la « plume » de l'Amazonie en s'éloignant des côtes jusqu'à 200 km. Elles s'exposent au fort courant nord-brésilien avec un coût énergétique important
- d'autres poursuivent leur trajectoire en traversant l'estuaire de l'Amazonie près des côtes (à environ 30 km). Cette stratégie permet de traverser l'embouchure de l'Amazonie plus rapidement que la première stratégie.



Carte de la « couleur de l'eau » : une forte activité biologique sur la bordure

Certaines tortues font des haltes migratoires inattendues dans des eaux très troubles (concentration élevée en particules dont nutriments et chlorophylle), à seulement quelques kilomètres de l'embouchure de l'Amazone, en réalisant des plongées d'une trentaine de mètres pour une durée de 35 minutes en moyenne.

Les sites d'alimentation sont des lieux où les paramètres physico chimiques de l'eau permettent le développement des herbiers et prairies marines.

- Comment les tortues marines se déplacent-elles ?

Comment sont leurs membres antérieurs et postérieurs ?

L'anatomie des tortues marines montre des membres avant très adaptés à la nage, en forme de « palette natatoire » s'appuyant sur l'eau lorsque la tortue les ramène vers elle. Les membres arrière, courts et arrondis, servent de gouvernail et pour la propulsion. Les membres permettent aux femelles de creuser le sable pour pondre.



Des membres adaptés à la nage

By Brocken Inaglory - CC BY-SA 3.0

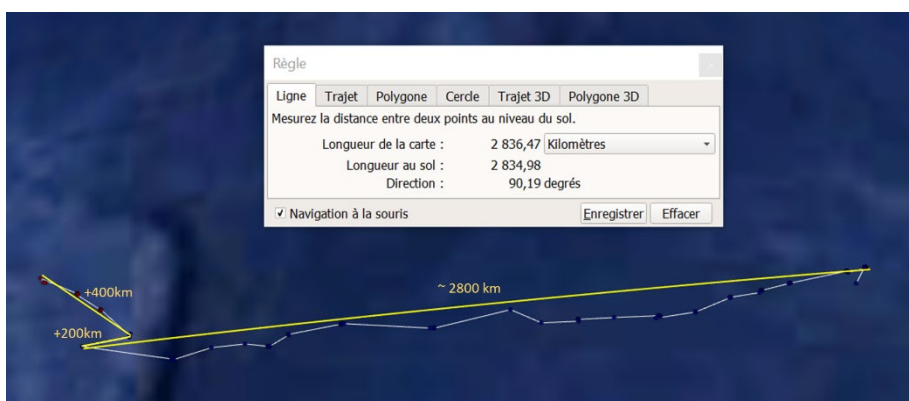
A quelle vitesse se déplacent les tortues marines ?

Pour calculer les vitesses de déplacement (vitesse = distance/temps) à partir des données d'Argonautica, on pourra utiliser le tableau des positions qui donne l'emplacement exact des positions des tortues marines avec dates et heures correspondantes.

A partir des cartes, pour des trajets plutôt linéaires, on peut utiliser l'outil « règle » avec Google Earth ou mesurer approximativement avec une règle directement sur la carte.

Calculer la distance entre deux points à partir des longitudes et latitudes est complexe (formule de trigonométrie sphérique pour tenir compte de la rotondité de notre planète). Il est aussi possible d'utiliser un site qui effectue directement les calculs et convertit la distance en kilomètres (comme celui-ci : <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>).

Exemple avec le trajet de Mahina Rahi entre Fidji et Tahiti : on peut l'approximer à environ 3400 km.



Carte argonautica avec google earth et outil « règle »

Comment expliquer les positions brutalement très éloignées de la trajectoire trajets ?

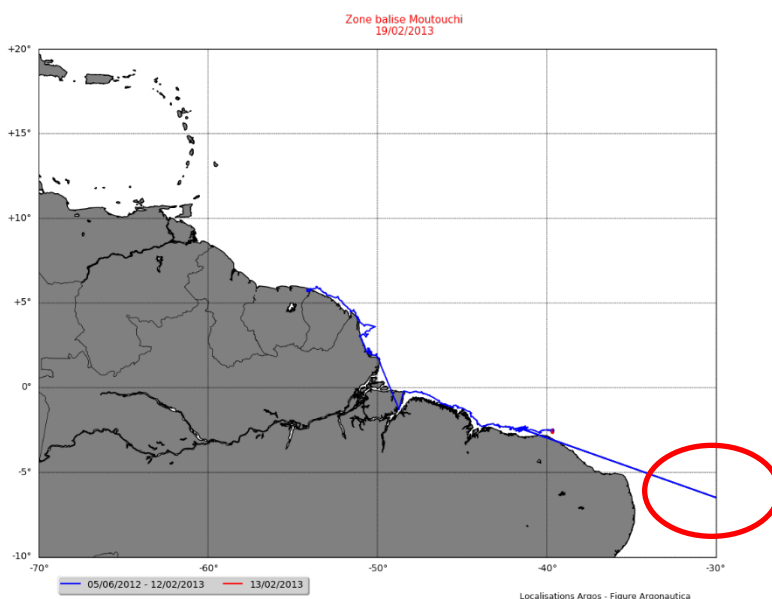
On observe parfois certaines localisations très éloignées de la trajectoire d'ensemble.

Le calcul de la vitesse de déplacement de Moutouchi du trajet jusqu'au rond rouge (hors carte) donne une vitesse de plusieurs centaines de km/h... physiquement impossible !

Il s'agit là d'une valeur aberrante, une donnée fautive : un artéfact lié aux mesures, à la transmission ou à la réception du signal...

Les scientifiques repèrent et éliminent ces données erronées pour leur recherche ; cette étape est un préalable à l'exploitation des résultats.

Plus d'informations annexe 1-3, Page 20.



○ Pourquoi équipe-t-on les tortues de balises ?

Le travail des chercheuses et chercheurs : Quelles études sont faites sur les tortues marines ? Comment se fait l'équipement d'une tortue marine ?

Les tortues marines sont en danger d'extinction depuis 1982, elles sont classées de « vulnérables » à « en danger critique d'extinction », selon les espèces, sur la liste rouge de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN). Le maintien et le développement de leurs populations nécessitent une parfaite connaissance de leur biologie: pour être efficaces, les plans de gestion et de conservation doivent protéger *à la fois* les zones de reproduction, les zones d'alimentation et les couloirs de migration, et nécessitent une coordination internationale.

L'étude des populations se fait souvent au niveau des sites de pontes, faciles d'accès et qui donnent une bonne indication de l'état de santé des populations. Cela permet d'agir pour la protection des femelles, extrêmement vulnérables au moment de la ponte (peu de motricité) et les œufs, embryons et émergentes qui rencontrent de nombreux dangers.

Cependant, le temps passé à terre par les tortues marines est extrêmement court et seul le suivi par satellite fournit des renseignements sur les déplacements océaniques réalisés. Les satellites constituent donc un outil incontournable pour la protection des tortues marines dans les zones marines où de nombreux risques existent aussi.

Conclusion et perspectives

Les questions abordées dans ce document ne sont pas exhaustives. Le suivi des tortues marines par satellite peut s'élargir à de nombreuses thématiques : histoire des découvertes, biodiversité océanique, courants marins, mais également protection de l'environnement. La pollution des océans, notamment par les plastiques, pourra être développée en particulier.

Avec le suivi des tortues marines, les élèves abordent de nombreuses notions : géographie, cycle de vie des tortues marines, ... Les élèves découvrent également le travail des chercheuses et chercheurs mais également que la recherche scientifique nécessite de mener des investigations et que toutes les questions ne sont pas solutionnées.

*Retrouvez ce dossier ainsi que ses compléments : fonds de cartes, journaux de bord, portraits de scientifiques ...
sur le site Argonimaux !*



<https://cnes.fr/education/argonautica/argonimaux>

Sommaire des Annexes

Annexe 1-1 Tutoriel d'utilisation de la plateforme de données Argonautica

Annexe 1-2 Superposition et utilisation de Google Earth

Annexe 1-3 Données aberrantes sur les trajets

Annexe 2 Cycles de vie des tortues marines

Annexe 3 Migrations des tortues vertes dans le sud-ouest de l'océan Indien

Annexe 4 Phylogéographie des populations de tortues vertes

Annexe 5 Tortues Caouanne et tortues Luth en océan Atlantique et Méditerranée

Annexe 6 Stratégies migratoires des tortues olivâtres dans l'Atlantique équatorial

Annexe 7 Pollution des océans par les plastiques et tortues marines



ANNEXE 1-1 Tutoriel d'utilisation de la plateforme de données Argonautica

- 1- Aller sur la page d'accueil ARGONAUTICA : PLATEFORME DE DONNEES Argonautica.jason.oceanobs.com

Cliquez sur : « Consultez les données ArgOcéan/Argonimaux »



- 2- Choisissez une balise en cliquant :

- soit à partir de la liste
- soit à partir de la carte (balises récentes)



- 3- Choisir le groupe à suivre :

(Exemple : les tortues)



- 4- Choisir la balise à suivre

Seules les tortues suivies cette année apparaissent. Pour avoir la liste de toutes les tortues, cliquer sur :

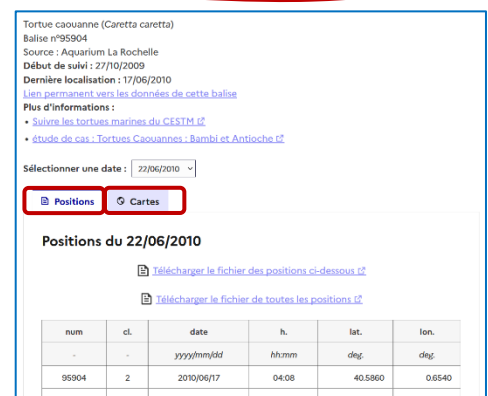
[Sélectionner la période de données complète](#)

Choisir une balise dans la liste :



- 5- Accéder aux données en cliquant :

- sur **Positions** pour avoir les coordonnées latitude/longitude
- sur **Cartes** pour avoir la carte de déplacement de la balise et toutes les cartes environnementales.



ANNEXE 1-2 Superposition et utilisation de Google Earth

Pour superposer la carte du trajet à celle du facteur environnemental choisi, 2 possibilités :

- soit en téléchargeant les cartes et en superposant les images directement à l'aide de Power point ou draw (version Open office). Il est possible aussi de réaliser directement un copié collé.

Attention, pensez bien à cliquer sur la carte choisie pour l'ouvrir en grand et avoir la légende avant de télécharger ou copié collé l'image.

- soit directement en cliquant sur « Visualiser les cartes avec Google Earth ».

L'interface Google Earth a été faite pour superposer trois types d'informations :

- des cartes "en couleurs"
- avec des cartes "en contours/vecteurs"
- avec les points représentant le trajet des balises

Pour utiliser ces possibilités, ouvrez le fichier ".kmz" proposé (pour chaque balise, par date) dans les pages Argonautica. Cliquez ensuite sur la ou les carte(s) que vous voulez visualiser. Les trajectoires sont proposées dès l'ouverture du fichier.

Sur le bandeau gauche de Google Earth, choisir une par une les cartes environnementales à superposer.

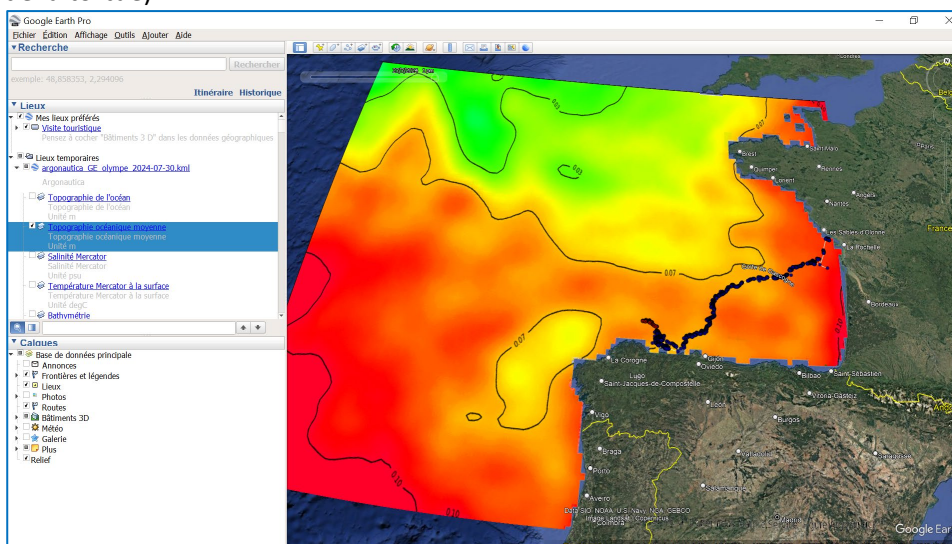
NB : si vous superposez deux cartes "en couleurs", l'une sera visible mais pas l'autre ! Même chose pour des "contours/vecteurs".

Exemple avec la tortue Olympe, carte du 30/07/2024 :

En cliquant sur visualisez les cartes avec Google Earth, je lance le téléchargement du fichier « olympe_2024-07-30_fr.kmz ».



En l'ouvrant dans Google Earth, j'obtiens ceci (visualisation de la topographie océanique moyenne et du trajet de la tortue).



ANNEXE 1-3 Données aberrantes sur les trajets

Les positions aberrantes qui donnent des vitesses physiquement impossibles mettent en évidence des données fausses qui peuvent exister : artéfacts de calcul, de saisie, de transmission...

Ces données aberrantes sont conservées dans Argonautica pour :

- l'esprit critique : « est ce qu'une tortue peut effectuer 1000km en quelques heures ? » ...
- travailler comme un scientifique qui doit « nettoyer » ces données avant de les utiliser.

Pour aller plus loin, dans le tableau des positions vous trouverez une colonne « cl. » (pour « classe ») qui donne la classe, soit la précision de la position de la balise – ou autrement dit le rayon d'erreur de localisation Argos.

Il est possible de trier les données de cette façon-là : n'en gardez qu'une seule par jour, et dont la classe est de « grande qualité » soit classe 1, 2 ou 3.

Table 1. Argos Doppler location class (LC) accuracy as estimated and documented by CLS (2011), based on the least-squares method of location derivation

Location class	Estimated error radius	Number of transmissions
3	<250 m	≥4
2	250–500 m	≥4
1	500–1500 m	≥4
0	>1500 m	≥4
A	No estimation	3
B	No estimation	2
Z	Invalid location	

Doppler location errors are not strictly isotropic; the CLS error radius is calculated as $\sqrt{wr}$, where r and w are the semi-major and semi-minor axis lengths of an estimated error ellipse.

ANNEXE 2 Cycles de vie des tortues marines

Les individus d'une espèce donnée de tortue marine suivent généralement le même cycle de vie, quelle que soit la zone géographique dans laquelle ils vivent. Seule la tortue olivâtre a un cycle de vie différent selon la région considérée.

On distingue 3 « schémas » différents, principalement au niveau de l'habitat des juvéniles et des adultes hors phase de reproduction.

Les tortues à dos plat suivent un cycle de TYPE 1 (pas d'habitat océanique)

Les tortues vertes et tortues olivâtres en Atlantique et en Australie suivent un cycle de TYPE 2

Les tortues luth et tortues olivâtres de l'est du Pacifique suivent un cycle de TYPE 3

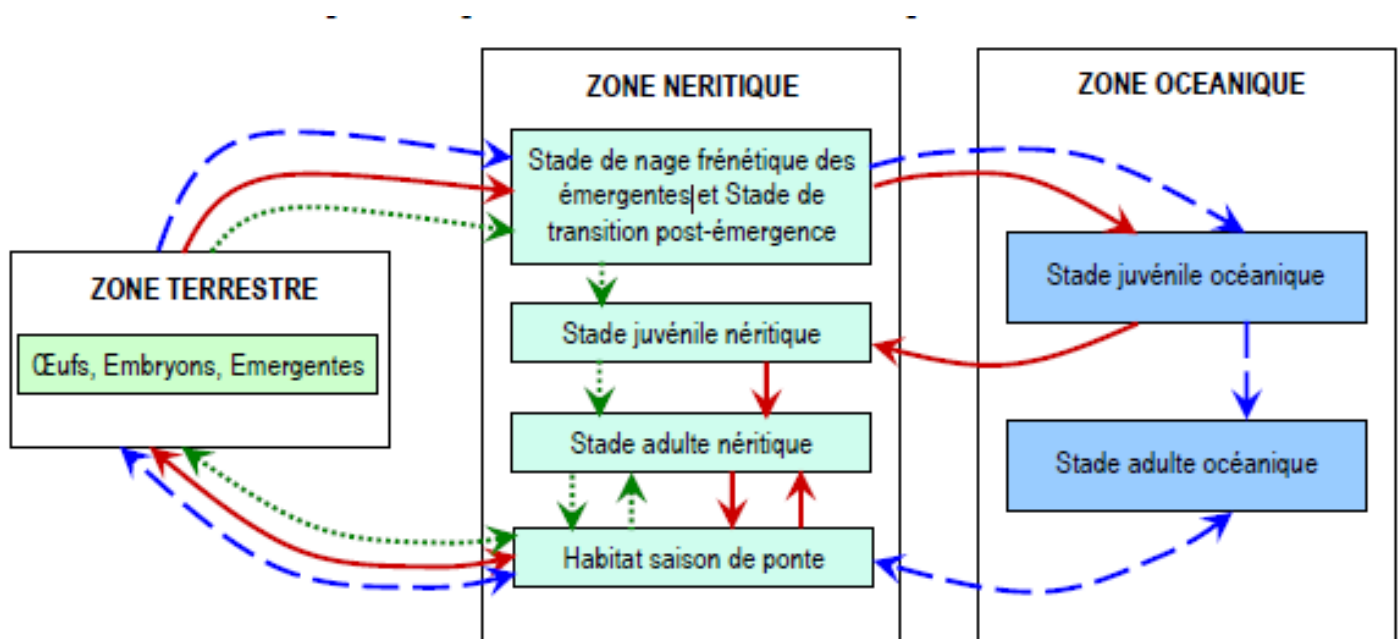


Figure 1-5 : Schéma des 3 types de cycle de vie existant chez les tortues marines (d'après Bolten, 2003). : Type I ; —> : Type II ; —> : Type III.

Taquet C., 2007 - Diversité et différenciation génétiques des populations de tortues vertes (*Chelonia mydas*) dans les sites de ponte et d'alimentation du sud-ouest de l'océan Indien : Application aux stratégies de conservation de l'espèce. Thèse de Doctorat de l'Université de la Réunion, Biologie Marine, 226p.

Les connaissances sur les couloirs migratoires et les zones d'alimentation des tortues vertes adultes sont partielles et récentes.

Dans le sud-ouest de l'océan Indien, le suivi de plus de cent tortues vertes équipées de balises Argos à Europa, Mayotte, Tromelin, Glorieuses, Mohéli et Juan De Nova a montré que les tortues vertes effectuent après reproduction un trajet en deux temps :

- un trajet direct dans la zone océanique (pour rejoindre les côtes soit est-africaine soit malgache)
- suivi d'un trajet en bord de côte (généralement à moins de 50 km) dans la zone néritique (côtière) pour terminer leur migration et rejoindre le site d'alimentation final.

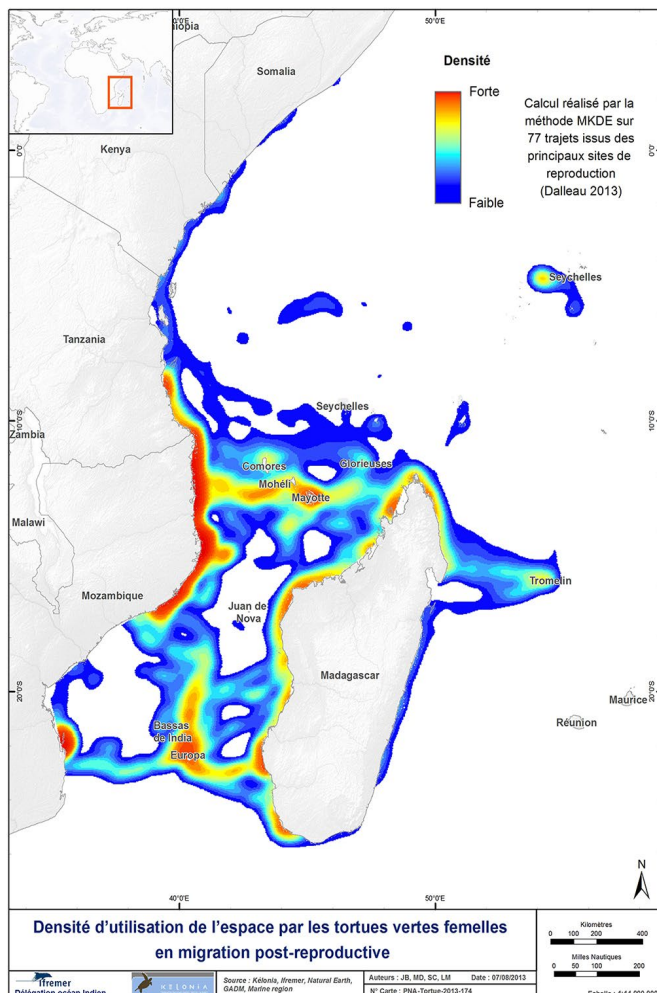
Les connaissances sur les couloirs migratoires et les zones d'alimentation des tortues vertes adultes sont partielles et récentes.

Dans le sud-ouest de l’océan Indien, le suivi de plus de cent tortues vertes équipées de balises Argos à Europa, Mayotte, Tromelin, Glorieuses, Mohéli et Juan De Nova a montré que les tortues vertes effectuent après reproduction un trajet en deux temps :

- un trajet direct dans la zone océanique (pour rejoindre les côtes soit est-africaine soit malgache)
- suivi d’un trajet en bord de côte (généralement à moins de 50 km) dans la zone néritique (côtière) pour terminer leur migration et rejoindre le site d’alimentation final.

Migrations des tortues vertes dans le sud-ouest de l’océan Indien

Projet DYMITILE Ifremer



En fonction du site de reproduction, les couloirs migratoires et zones d’alimentation sont différents :

Population	Couloir de migration	Sites d’alimentation
Populations se reproduisant dans la région nord du canal du Mozambique	Couloir migratoire principal s’étend de la pointe nord de Madagascar à la frontière du Mozambique et de la Tanzanie	Zones d’alimentation quasiment toutes dans le nord du Canal : côtes de l’Afrique de l’est (Mozambique, Kenya, Tanzanie et Somalie), côtes de Madagascar
Population se reproduisant à Europa	1 couloir migratoire principal : Europa/ côtes Mozambique nord 2 couloirs secondaires : Europa/ Madagascar, Europa/ Mozambique.	Bordure du canal Mozambique, avec un site ciblé au sud du Mozambique Côtes de Madagascar

Les femelles tortues vertes sont surtout menacées le long des couloirs migratoires côtiers (pêche traditionnelle, pêche au filet et pêche au chalut).

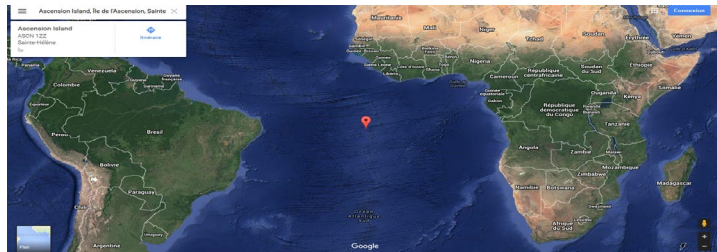
35% des tortues suivies ont eu un site d’alimentation localisé dans des aires marines protégées.

ANNEXE 3 Eléments de phylogéographie des populations de tortues vertes

Tectonique des plaques et tortues vertes

Les migrations des tortues qui pondent sur l'île de l'Ascension puis vont se nourrir au Brésil ou sur les côtes de l'Afrique de l'ouest pourraient s'expliquer par la tectonique des plaques : il y a 80 millions d'années, les côtes américaines et africaines étaient très proches, avec l'île de l'Ascension en position médiane et proche des côtes, facilement accessibles aux tortues.

Avec l'extension de l'océan Atlantique, l'île de l'Ascension s'est retrouvée à 2000 km des côtes brésiliennes et africaines. Les femelles étant fortement philopatriques, elles auraient continué de fréquenter l'île pour pondre.



D'autres migrations génésiques pourraient s'expliquer de façon similaire par la tectonique des plaques lithosphériques.

Les études génétiques montrent que la population ancestrale des différentes populations actuelles d'Atlantique-Méditerranée se situait autour de la latitude de l'île de l'Ascension. La population de la Méditerranée serait apparue secondairement, à partir de la population de l'ouest des Caraïbes.

Courants marins et tortues vertes

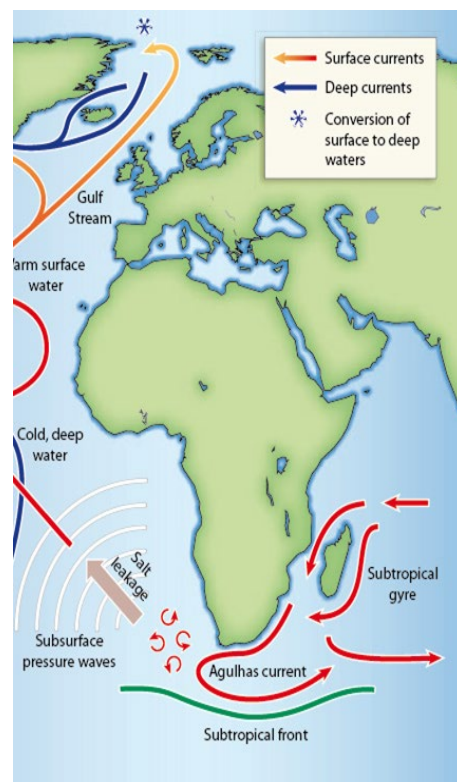
La région sud-ouest de l'océan Indien constitue une zone de brassage génétique à l'échelle de l'espèce. En effet, si les 2 métapopulations Atlantique-Méditerranée et Indo-Pacifique de tortues vertes sont séparées par une barrière avec la présence de gyres divergents au sud de l'Afrique, elles sont cependant en contact :

- les tortues vertes mâles passent de l'océan Indien vers l'Atlantique en suivant le *courant des Aiguilles* au niveau du Cap Agulhas, en lien avec le courant à cet endroit,
- les tortues femelles passent de l'Atlantique vers l'océan Indien de façon contraire au courant général observé dans cette zone.



©IRD/ L.Corsini Circulation océanique

Les courants océaniques constitueraient également un facteur important dans la dispersion des immatures.



Les cycles de glaciation et leur influence sur le courant des Aiguilles pourraient augmenter le passage de tortues vertes de l'océan Atlantique vers l'océan Indien.

Les 2 métapopulations Atlantique-Méditerranée et Indo-Pacifique de tortues vertes ne constituent ainsi pas des sous-espèces et le sud-ouest de l'océan Indien (même si on ignore encore l'étendue et la localisation de la zone de contact) est une zone importante pour le maintien de la diversité génétique des tortues vertes.

ANNEXE 4 Tortues Caouanne et tortues Luth en océan Atlantique et Méditerranée

Document réalisé à partir de : DELL'AMICO, F. & GAMBAIANI, D. 2013. *Bases scientifiques et techniques en vue de l'élaboration d'un objectif de qualité environnementale pour l'impact des déchets sur les tortues marines en Europe.*

	Répartition géographique et déplacements		Lieu de ponte	Lieu d'alimentation
Tortues caouannes	EN ATLANTIQUE	Nouveau-nés : transportés par les courants du site de ponte vers des zones d'alimentation océaniques. Dispersion sur régions très vastes. Individus juvéniles stade océanique : s'observent dans l'Atlantique nord : Mer du nord, Mers Celtiques, Golfe de Gascogne, côtes ibériques et au large. Certains individus sont déviés par des épisodes de forts courants ou de tempêtes et se retrouvent dans les eaux de l'Europe du nord. Adultes dans la Mer des Caraïbes, 2 comportements : sédentarité plusieurs jours dans une même zone, ou trajets rapides et longs (centaines de km) - migrations entre zones néritiques et océaniques.	Principaux sites : le long des côtes américaines de Virginie du sud jusqu'en Alabama, à l'ouest et à l'est des îles du Cap Vert. Les sites de pontes sont souvent proches des principaux courants océaniques.	<u>Nouveaux nés</u> : alimentation océanique dans le gyre nord-Atlantique <u>Juveniles</u> : sites d'alimentation connus dans l'Atlantique nord-est (Acores, Madère, îles Canaries, Andalousie, îles du Cap Vert) et bassin occidental de la Méditerranée* <u>Adultes</u> : alimentation en zone néritique ou océanique
	EN MEDITERRANEE	La tortue caouanne est l'espèce la plus représentée en Méditerranée, avec une large répartition. <u>Adultes</u> : migrent entre bassin occidental et oriental.	Sites surtout situés dans le bassin oriental (Chypre, Lybie Grèce, Turquie, Egypte, Liban, Israël, Tunisie) et parfois en Espagne, Corse et Italie.	<u>Individus juvéniles et sub-adultes</u> : alimentation dans le bassin Occidental. <u>Tortues juvéniles et adultes</u> nés en Méditerranée s'alimentent dans les bassins oriental et occidental.
Tortues luths	EN ATLANTIQUE	<u>Juveniles et sub-adultes</u> : eaux tropicales (>26°C) puis dans des eaux plus froides. <u>Sub-adultes et adultes</u> : migration à travers les branches nord du Gulf Stream ou du courant nord Atlantique vers zones d'alimentation des hautes latitudes avec plusieurs milliers de kilomètres parcourus. Plongées en profondeur pour se nourrir de proies gélatineuses notamment (méduses). Vaste répartition géographique (71°N à 47°S).	Sites de ponte majeurs en Atlantique nord : ouest de la Guyane, Suriname, Guyana. Entre les 5 à 10 pontes successives de la saison de reproduction (mai/juin), trajets de courte durée (10j en général) près des côtes.	Alimentation dans les eaux de l'hémisphère nord riches en proies : zones de front, de convergence, etc. Aussi bien sur les plateaux continentaux et zone côtière qu'en zone profonde : péninsule ibérique, golfe de Gascogne. En été, nutrition parfois en Atlantique nord-est.
	EN MEDITERRANEE	En Méditerranée, des tortues Luth sub-adultes et adultes sont observées tout au long de l'année, plus à l'ouest (proche Atlantique) qu'à l'est. Elles proviennent des sites de ponte situés en Amérique du sud (depuis le Costa Rica jusqu'en Colombie) et en Guyane française.	Pontes rares en Israël et sur la côte sud de la Sicile	Après avoir traversé le détroit de Gibraltar, ces tortues s'alimentent surtout dans la mer Alboran et le Golf de Gabès

*Certains juvéniles nés au sud-est des Etats-Unis ou à l'archipel du Cap Vert traversent le détroit de Gibraltar, suivant le puissant courant de surface, pour atteindre les zones d'alimentation pélagiques dans la Mer Alboran notamment. Après développement de leur masse musculaire, ces tortues Caouanne retraverseront le détroit de Gibraltar et retourneront dans leur région d'origine et s'y reproduiront à maturité sexuelle.

Les remontées d'eau froides ("up-welling") amènent un apport de nutriments dans les eaux de surface et favorisent l'activité biologique avec développement des chaînes alimentaires.

Les centres des tourbillons cycloniques ainsi que les bordures des tourbillons anticycloniques, avec des eaux plus froides que les eaux environnantes, connaissent ainsi une accumulation des ressources et constituent des zones intéressantes pour la recherche alimentaire des tortues marines.

ANNEXE 5 Stratégies migratoires des tortues olivâtres dans l'Atlantique équatorial

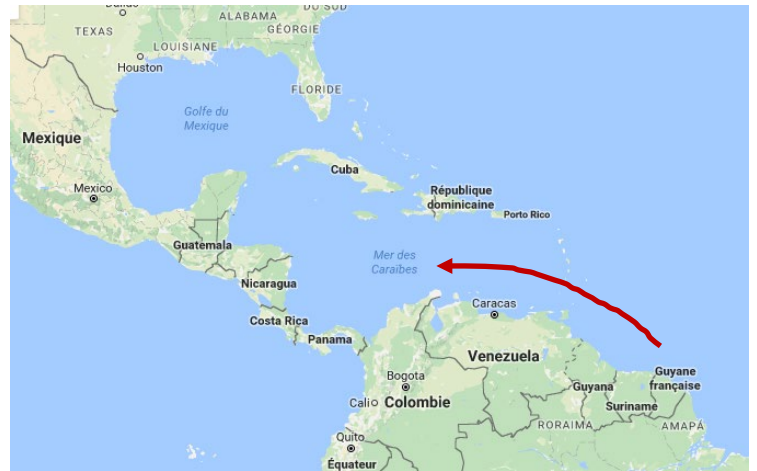
Si les tortues olivâtres ont des sites de ponte communs avec les tortues luths et tortues vertes (exemple sur les côtes de Guyane française), elles ont ensuite des zones d'alimentations différentes, réparties au gré des mouvements océaniques méso-échelle dans l'Atlantique (courants ou tourbillons marins, qui apparaissent périodiquement et s'étendent sur plusieurs centaines de kilomètres).

Les tortues olivâtres, omnivores mais à tendance carnivore, suivent le courant nord Brésil, courant qui entraîne les nutriments déversés par le fleuve Amazone situé plus au sud et favorise le développement des chaînes alimentaires.

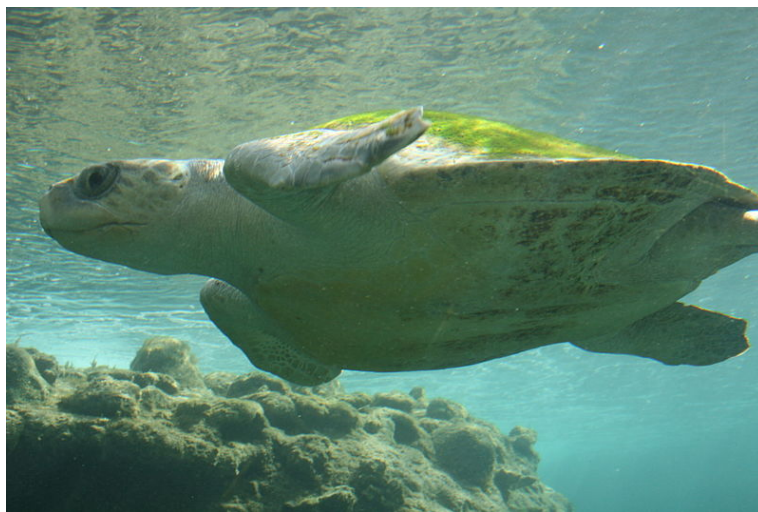
Elles migrent ensuite vers l'ouest pour s'alimenter.

Les suivis avec indication des profondeurs fréquentées ont montré que certains individus se nourrissent de crustacés vivants dans les fonds marins, en milieu benthique et d'autres se nourrissent en milieu pélagique, en pleine eau. Cela indique une variété alimentaire assez étendue : une partie des tortues olivâtres se nourriraient de proies évoluant entre deux eaux, comme par exemple les méduses.

Ces connaissances permettent d'adapter les mesures de protection de cette espèce.



Google



Tortue olivâtre CC Thierry Caro

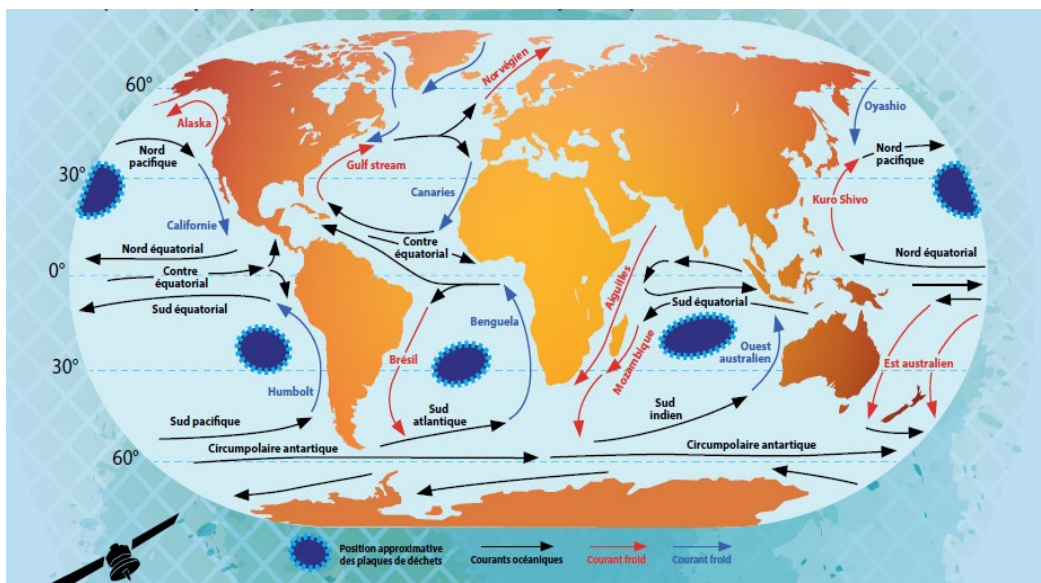
ANNEXE 6 Pollution des océans par les plastiques et tortues marines

Chaque seconde, des dizaines de tonnes de déchets plastiques arrivent dans les océans, acheminés principalement par les cours d'eau. 80% des plastiques observés dans les océans provient ainsi des continents, l'autre partie provient des activités en mer.

En fonction de leur densité, les déchets vont soit couler vers les fonds marins, soit flotter et être entraînés par les courants marins qui, à l'échelle du globe, présentent une circulation « en tourbillon », en spirale, appelés gyres. Les courants marins de surface transportent ainsi les déchets plastiques vers les zones centrales de grandes zones océaniques, les gyres.

Les plastiques se concentrent, se fragmentent et se désagrègent ainsi très lentement sur d'immenses surfaces, les « continents plastiques* », qui existent ainsi dans les cinq grands bassins océaniques :

Localisation des plaques de déchets au centre des gyres formés par les grands courants marins



On dénombre 5 gyres principaux : le gyre de l'océan Atlantique nord, celui de l'océan Atlantique sud, celui de l'océan Indien, de l'océan Pacifique nord et du Pacifique sud.

En plus d'entraîner certaines blessures ou étouffements, les déchets plastiques sont souvent confondus avec des proies et ingérés par de nombreuses espèces : de taille microscopique ou macroscopique, les plastiques entrent dans les écosystèmes marins à tous les niveaux et même dès le début des chaînes alimentaires.

Les observations montrent ainsi la présence de plastique dans le système digestif d'oiseaux de mer, de phoques, d'otaries, de baleines, de poissons... et même des microplastiques dans le zooplancton.

Les fragments plastiques peuvent également passer dans l'estomac de nouveaux prédateurs si la chaîne alimentaire se poursuit, ou parfois être déféqués si leur taille le permet.

En ce qui concerne les tortues marines, celles qui suivent les courants marins de surface – comme les juvéniles – se retrouvent dans les zones de convergence où s'agrègent les sargasses et plastiques et celles qui fréquentent les zones côtières sont confrontées à l'arrivée des déchets en mer. Elles confondent les plastiques avec des proies ou les ingèrent de façon accidentelle, se prennent au piège dans des déchets, ce qui peut entraîner leur mort. Des cas d'ingestion de matières plastique ont été constatés pour toutes les espèces de tortues marines et à tous les stades de leur vie.

La pollution des océans par les plastiques est une préoccupation environnementale contemporaine.

**Le terme « continent » est une métaphore : les surfaces concernées sont de l'ordre des continents, mais il ne s'agit pas d'étendues solides ; plutôt une « soupe de plastique », autre terme également utilisé.*