



Argonimaux

Suivi des éléphants de mer par satellites



cnrs
CENTRE NATIONAL
D'ÉTUDES SPATIALES

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 d'éléphants de mer en « direct » ou des années précédentes à partir de la plateforme de données Argonautica.

- **Observation, problématisation et hypothèses (pages 4-6)**

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

- **Investigations (pages 7-15)**

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

- **Annexes (pages 16-18)**



Eléphante de mer équipée d'une balise Argos

Droits réservés CNRS CEBC C. Guinet B. Picard

Introduction - Les données Argonautica

Argonautica permet de suivre des éléphants de mer et les 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.

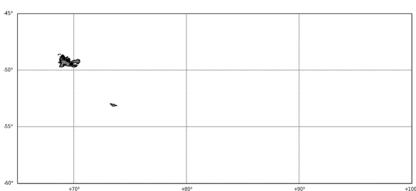
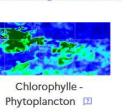
Matériel : Ordinateurs avec liaison internet, google earth installé si possible.

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

Tutoriel : *Voir Annexe 1, Page 16.*

Observation des positions et déplacements

Exemple du trajet de l'éléphante de mer « Chelsea »

| A partir des tableaux de position | Directement sur les cartes de position | Avec google earth | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------------|-------|----------|---------|------|---|---|------------|-------|------|------|--------|---|------------|-------|----------|---------|--------|---|------------|-------|----------|---------|--------|---|------------|-------|----------|---------|---|--|
| <p>Positions Cartes</p> <p>Positions du 24/12/2024</p> <p>Télécharger le fichier des positions ci-dessous</p> <p>Télécharger le fichier de toutes les positions</p> <p>Télécharger la carte vierge de la zone de la balise</p> <table border="1"><thead><tr><th>num</th><th>cl.</th><th>date</th><th>h.</th><th>lat.</th><th>lon.</th></tr></thead><tbody><tr><td>-</td><td>-</td><td>yyyy/mm/dd</td><td>hh:mm</td><td>deg.</td><td>deg.</td></tr><tr><td>225879</td><td>B</td><td>2024/12/18</td><td>01:58</td><td>-49.0625</td><td>74.4768</td></tr><tr><td>225879</td><td>B</td><td>2024/12/18</td><td>02:22</td><td>-49.0865</td><td>74.4536</td></tr><tr><td>225879</td><td>B</td><td>2024/12/18</td><td>02:45</td><td>-49.0564</td><td>74.4444</td></tr></tbody></table> <p>En reportant les positions fournies dans le tableau sur une « carte vierge de la zone balise »</p> <p><i>Zone balise Chelsea</i></p>  | num | cl. | date | h. | lat. | lon. | - | - | yyyy/mm/dd | hh:mm | deg. | deg. | 225879 | B | 2024/12/18 | 01:58 | -49.0625 | 74.4768 | 225879 | B | 2024/12/18 | 02:22 | -49.0865 | 74.4536 | 225879 | B | 2024/12/18 | 02:45 | -49.0564 | 74.4444 | <p>Positions Cartes</p> <p>Cartes du 24/12/2024</p> <p>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.</p> <p>Télécharger toutes les images</p> <p>Visualisez les cartes avec Google Earth</p> <p> Trajet de la balise</p> <p> Chlorophylle - Phytoplancton</p>  |  |
| num | cl. | date | h. | lat. | lon. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| - | - | yyyy/mm/dd | hh:mm | deg. | deg. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 225879 | B | 2024/12/18 | 01:58 | -49.0625 | 74.4768 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 225879 | B | 2024/12/18 | 02:22 | -49.0865 | 74.4536 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 225879 | B | 2024/12/18 | 02:45 | -49.0564 | 74.4444 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p><i>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.</i></p> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

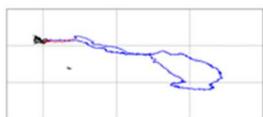
En participant à Argonautica, vous pourrez également demander l'envoi d'une carte planisphère couleur grand format pour situer la zone fréquentée par les éléphants de mer et afficher en classe.

Cartes environnementales

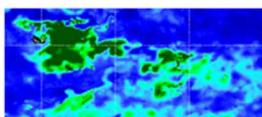
Dans la rubrique « Cartes » se trouvent des données environnementales : cartes des températures, des courants, salinité ...

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

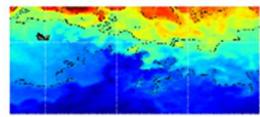
Exemple des cartes disponibles pour l'éléphant de mer « Chelsea », suivi du 08/10/2024 au 04/12/2024



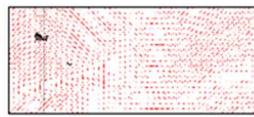
Trajet de la balise



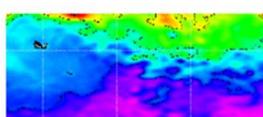
Chlorophylle -
Phytoplancton [?](#)



Température à la surface
mesurée par satellite [?](#)



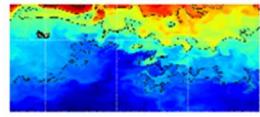
Vents à la surface [?](#)



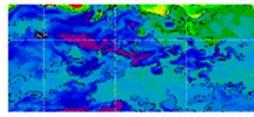
Topographie de l'océan [?](#)



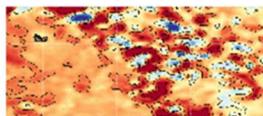
Courants géostrophiques [?](#)



Température Mercator à la
surface [?](#)



Salinité Mercator [?](#)



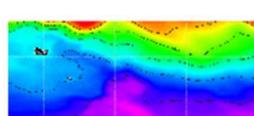
Écart à la moyenne de la
topographie de l'océan [?](#)



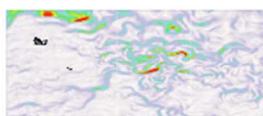
Courants géostrophiques
déduits [?](#)



Zone de la balise



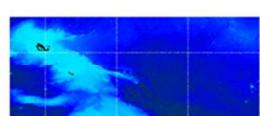
Topographie océanique
moyenne [?](#)



Courants de surface [?](#)



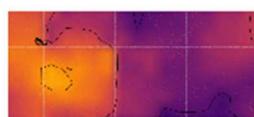
Courants de surface [?](#)



Bathymétrie



Bathymétrie (contours)



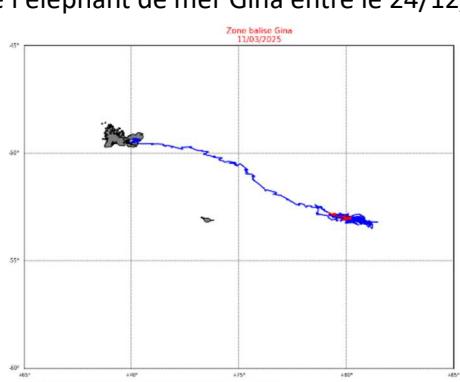
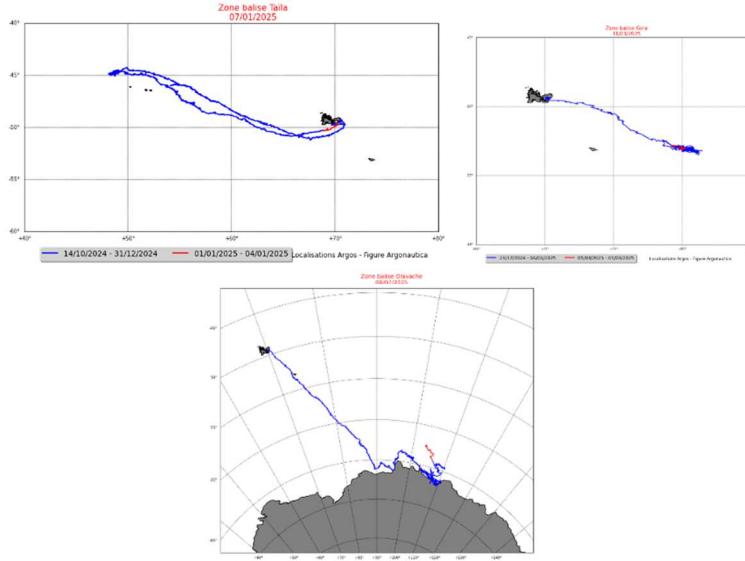
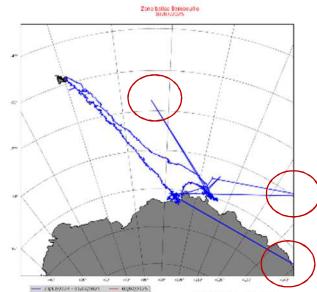
Hauteurs de vagues [?](#)

Observation, problématisation et hypothèses

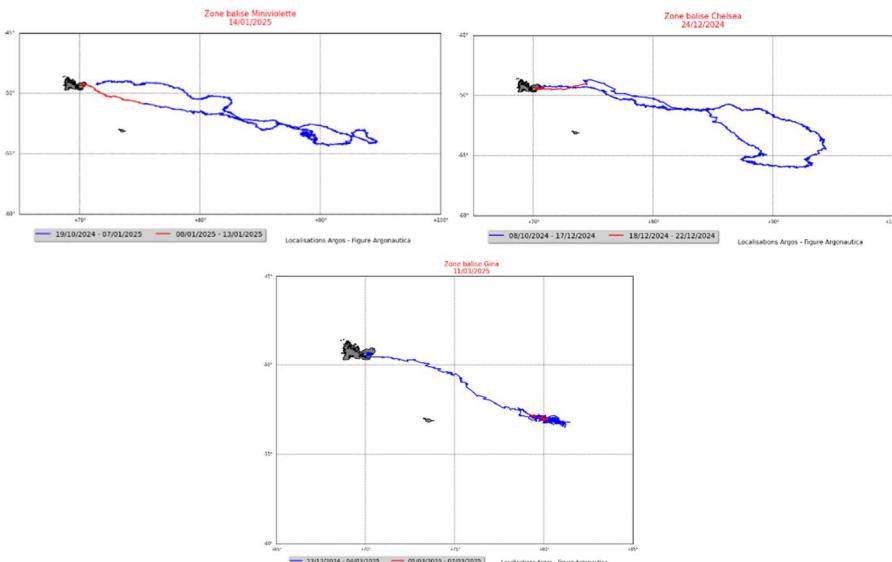
Le suivi est réalisé dans des régions différentes selon les années, en fonction des équipes de scientifiques partenaires. Les exemples qui suivent sont au départ de l'île de Kerguelen.

Observation des trajets

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

| Cartes | Observations et Questions |
|--|---|
| <p>Carte du trajet de l'éléphant de mer Gina entre le 24/12/2024 et le 11/03/2025</p>  | <p>Où est Gina ? Comment se repérer sur la carte ? Comment et pourquoi se déplace-t-il ? Pourquoi Gina fait un trajet vers la droite/vers l'est ? Pourquoi reste-t-il sur une même zone à l'est ? Quelle distance a-t-il parcouru et à quelle vitesse va-t-il ?</p> |
| <p>Des trajets différents, pour un même point de départ : Taïla, Gina et Olavache.</p>  | <p>Un éléphant de mer part vers la gauche/vers l'ouest, un autre vers la droite/vers l'ouest et un autre vers le sud jusqu'à l'Antarctique.</p> <p>Pourquoi ces différences de trajectoires ? Quels sont les trajets des éléphants de mer en général ?</p> |
| <p>Trajet de l'éléphant de mer Bambouille du 24/12/2024 au 08/07/2025 :</p>  | <p>On repère ponctuellement des trajets très rectilignes vers des positions très éloignées du trajet.</p> <p>A quoi correspond la position très éloignée ? A quelle vitesse l'éléphant de mer va-t-il ?</p> |

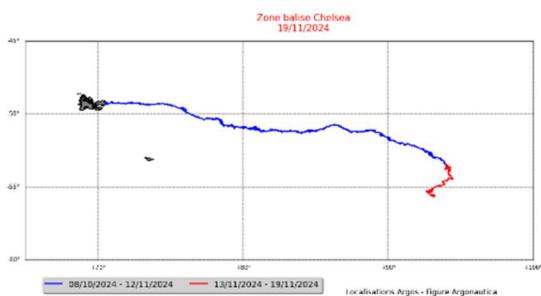
Cartes de trajets très similaires, au départ de Kerguelen : Miniviolette, Gina et Chelsea.



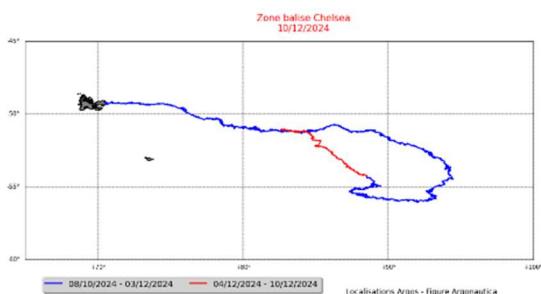
Suivi de l'éléphante de mer Chelsea :



Jusqu'au 12/11/2024
Trajet plutôt linéaire, plein ouest.



A partir du 19/11/2024
Elle fait « demi-tour ».



Jusqu'au 10/12/2024
Elle finit sa boucle et revient au même endroit.

Des trajets similaires sont observables chez de nombreux éléphants de mer...

Pourquoi ces boucles ? Pourquoi vers la droite/vers l'ouest ? Qu'est ce qui « guide » les éléphants de mer dans leurs déplacements ?

En 1 mois, Chelsea a fait un trajet en boucle.

A quoi correspond ce trajet « en boucle » ? Quel est le point où revient Chelsea au bout d'1 mois ?

Problématiques et hypothèses

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

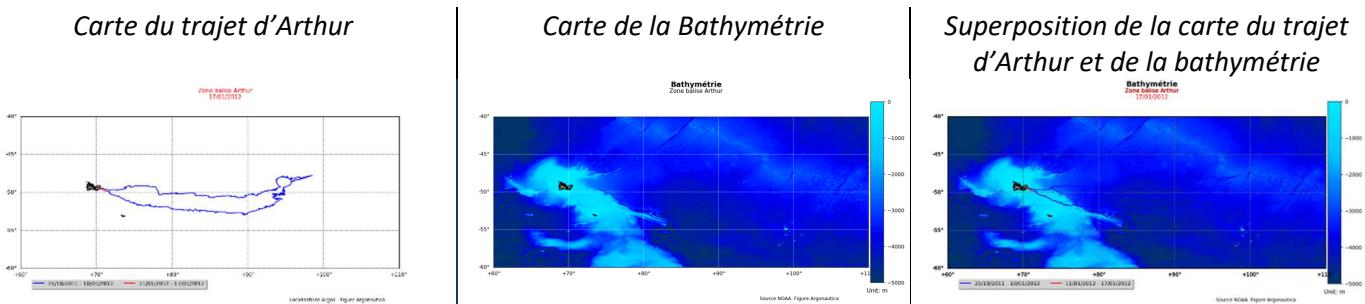
| Problématiques | Questions à résoudre | Hypothèses |
|--|---|--|
| Où vivent les éléphants de mer ? | Comment lire les cartes ? Que sont les zones grisées, les zones blanches ? Comment repérer la position géographique des éléphants de mer ? Où se déplacent les éléphants de mer ? Pourquoi les éléphants de mer reviennent sur une même zone ? Qu'y font les éléphants de mer ? Quel est le point de départ du trajet d'un éléphant de mer ? | <i>Les zones grisées sont des terres, de l'océan ? Il y a des repères géographiques sur les cartes.</i> <i>Sur terre, dans l'eau sur la banquise ? Milieu froid, chaud ?</i> <i>Il y a leur famille, c'est l'endroit où ils sont nés, ils s'y reposent, s'y réchauffent, s'y nourrissent...</i> <i>C'est le lieu où les scientifiques l'équipent, à partir d'un bateau ? ou sur l'île ?</i> |
| Quels sont leurs trajets ? Pourquoi certains vont au sud, d'autres vers l'est ou encore à l'ouest ? | Comment s'organise la vie des éléphants de mer ? Qu'est ce qui « induit » leurs déplacements ? | <i>Leur trajet dépend de leur île de départ.</i> <i>Ou du vent ? Du courant ?</i> <i>Ou ils se suivent les uns les autres.</i> <i>Ils vont chercher des choses différentes en fonction des endroits.</i> <i>Ils découvrent leur région.</i> |
| Pourquoi les éléphants de mer se déplacent ? Comment est-ce qu'ils se déplacent ? | Comment vivent-ils : Comment se nourrissent-ils ? Vivent-ils en groupe ? Quels sont leurs prédateurs ? Quand et où se reproduisent-ils ? Ont-ils des « pattes » ? Est-ce qu'ils peuvent marcher ? Nager ? Comment sont leurs membres antérieurs et postérieurs ? Nagent-ils le jour ou la nuit ? Combien de temps restent-ils à Terre, dans l'eau ? | <i>Ils suivent des bancs de poissons. Ils fuient des prédateurs ou d'autres dangers...</i> <i>La zone marine leur permet de chasser, de se mettre à l'abri, ... Ils mangent des poissons dans l'eau, des oiseaux à terre...</i> <i>L'éléphant de mer peut marcher et nager ? Plonger ?</i> <i>La nuit, ils dorment et flottent en suivant les courants marins.</i> |
| A quelle vitesse se déplacent les éléphants de mer ? | A quelle vitesse se déplacent les éléphants de mer (vitesse moyenne, minimale, maximale de déplacement) ? | <i>Ils nagent plus ou moins vite, en fonction du jour, nuit, des vents, des courants ... La nuit, ils dorment ?</i> |
| | Comment expliquer les positions brutalement très éloignées de la trajectoire certaines fois ? | <i>Parce qu'il a été très vite ?</i> <i>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 18.</i> |
| Pourquoi les équipe-t-on de balises ? | Le travail des scientifiques : Quelles études sont faites sur les éléphants de mer ? Pourquoi les équiper surtout entre Octobre et Janvier ? | <i>Les chercheuses et chercheurs veulent découvrir où les éléphants de mer vont et pourquoi !</i> <i>Ils sont plus faciles à équiper, car c'est la saison où ils sont à Terre ?</i> |
| Comment se fait l'équipement d'un éléphant de mer ? | Comment les scientifiques approchent l'éléphant de mer ? Est-ce que c'est dangereux ? | <i>Les scientifiques l'approchent par derrière, l'endorment ?</i> |

Investigations

Argonautica permet également la mise en relation des trajets d'éléphants de mer 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

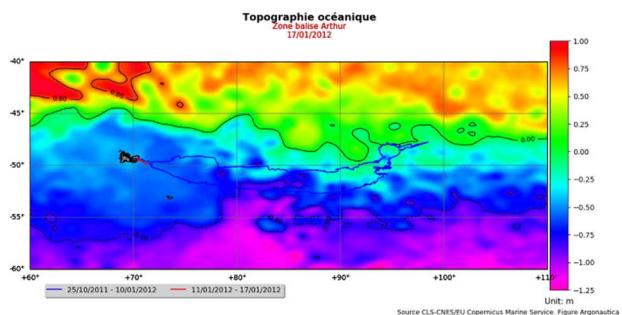
- Superposition trajet/bathymétrie et topographie, exemple d'Arthur :



Arthur va en direction de l'est presqu'en « ligne droite » puis fait demi-tour après quelques grands virages et repart de manière assez rectiligne vers l'île de départ. Le trajet de direction est-ouest se fait en partie dans des zones de grands fonds marins. La zone où il effectue des « virages » avant de faire demi-tour présente une bathymétrie correspondant à une zone de talus de 500m de profondeur en bordure du plateau de Kerguelen.

→ *Est-ce que la bathymétrie influencerait le déplacement d'Arthur ?*

- *Trajet d'Arthur et topographie océanique :*



La superposition avec la carte « topographie » montre que le trajet de direction est-ouest se fait dans la zone où la hauteur d'océan reste comprise entre -80 et -35 cm par rapport à la hauteur de référence.

La zone où il effectue des « virages » avant de faire demi-tour présente une hauteur d'eau proche du 0.

→ *La topographie océanique influencerait-elle le déplacement de Chacahé ?*

On peut faire l'hypothèse que la zone à bathymétrie -500m et topographie proche de 0 permet à Arthur de trouver de nombreuses proies et que ses virages indiquent qu'il explore cette zone avant de faire demi-tour. Ces conditions environnementales pourraient correspondre à des zones plus poissonneuses qu'au-dessus de grands fonds marins ou de zones à faible ou forte topographie.

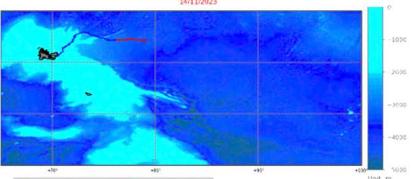
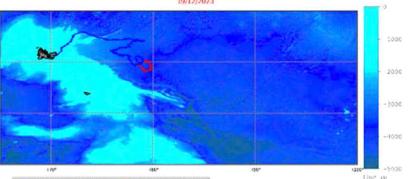
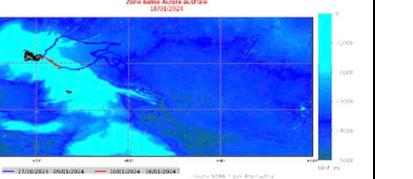
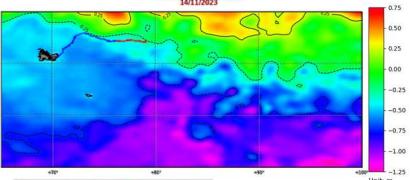
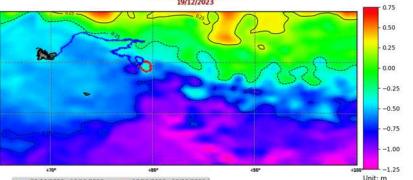
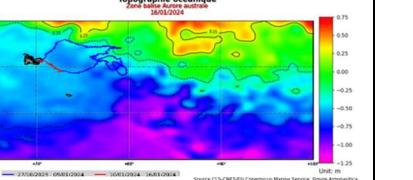
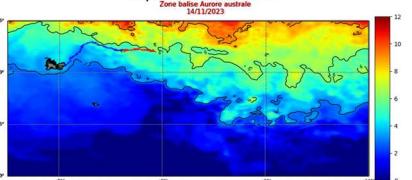
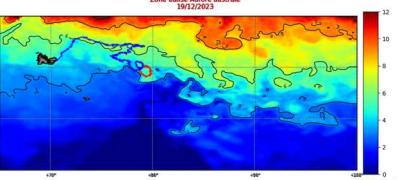
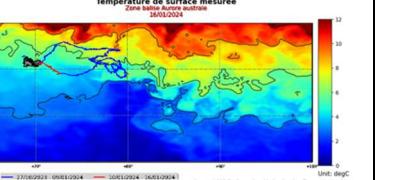
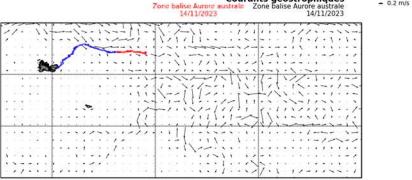
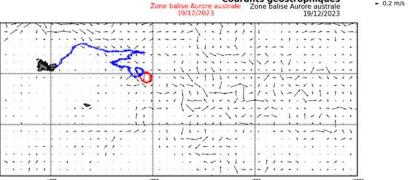
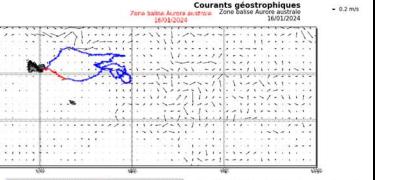
Ces hypothèses nécessitent de poursuivre les recherches (comparer avec d'autres trajets d'éléphants de mer, au cours du temps, avec d'autres années ...) pour être validées... ou non !

La superposition peut être faite avec chaque carte environnementale fournie par Argonautica...

- Superpositions semaine après semaine

Le suivi semaine après semaine permet d'observer quels facteurs influent le déplacement des éléphants de mer et quelle variation de paramètres océaniques entraîne des modifications de déplacement.

Exemple avec l'éléphant de mer Aurore australe, entre le 31/10/2023 et le 16/01/2024.

| | 14/11 | 19/12 | 16/01 |
|---|---|--|---|
| Bathymétrie océanique |  |  |  |
| <i>Comme l'éléphant de mer Arthur, Aurore australe fait des « boucles » au-dessus d'une zone de glacis de profondeur (-2000m) correspondant au plateau continental de Kerguelen avant de revenir sur l'île.</i> | | | |
| Topographie océanique |  |  |  |
| <i>Aurore australe part de zone où la hauteur d'océan est de -25 cm par rapport à la hauteur de référence et se dirige ensuite vers des zones plus basses. Il fait des trajets en « boucles » lorsque la hauteur est comprise entre -50 et -75 cm avant de faire demi-tour.</i> | | | |
| Température |  |  |  |
| <i>Aurore australe se dirige d'abord vers des zones d'eaux plus chaudes (6° Celsius) puis fait des boucles à la limite avec des eaux plus froides (3° Celsius).</i> | | | |
| Courants de surface |  |  |  |
| <i>Aurore australe s'est déplacée vers des zones où la vitesse des courants de surface est plus forte.</i> | | | |

→ Tous ces paramètres environnementaux influencerait le trajet ? Et quid de l'influence de la salinité, de la couleur de l'eau (quantité de chlorophylle), des vents... ?

Aurore australe s'est déplacé de façon assez linéaire en direction d'une zone en bordure du plateau continental. Au niveau de cette zone, il semble avoir stoppé son déplacement « rectiligne » pour y faire des boucles avant de faire demi-tour. Cette zone semble présenter un intérêt : s'agit-il d'une zone de « bonne » pêche ? Les données environnementales de surface mesurées par les satellites, telles la topographie, la température et les courants de surface sont-elles des indicateurs des zones de pêche existantes en profondeur ?

Il est essentiel pour valider les hypothèses d'avoir des données sur « ce qui se passe » en profondeur pendant les trajets : caractéristiques des eaux, de la pêche, quantité de proies... Les capteurs ajoutés aux balises qui équipent les éléphants de mer ont permis d'en savoir plus !

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 l'**écologie** des éléphants de mer. Ces animaux étant le plus souvent en plongée, les données enregistrées en profondeur sont également essentielles pour compléter les données de surface.

Les capteurs ajoutés aux balises ont permis d'étudier les stratégies alimentaires des éléphants de mer et d'essayer de les mettre en relation avec les paramètres environnementaux locaux et globaux. Ci-dessous un tableau présentant les grandes catégories de plongées.

| Classe de plongée | Déplacements | Caractéristiques |
|--|--|---|
| Plongées passives, ou encore dites Plongées de dérive | Faible vitesse de descente et de remontée en se laissant "glisser" dans la colonne d'eau. Mouvements liés aux caractéristiques de l'éléphant de mer : leur épaisse couche de gras permet une grande flottabilité et une remontée passive. | Correspondent à une faible dépense énergétique qui permet du repos, de la récupération, de la digestion, ... Déplacements pendant lesquels les éléphants ne s'alimentent pas et ne s'engraissent pas. |
| Plongées d'exploration | Descente progressive et sur de longues distances horizontales. | Associées à de grands déplacements horizontaux qui seraient des phases « exploratoires » lors de changement de zones de pêche. |
| Plongées actives | Vitesse de descente et de remontée rapide et jusqu'à des profondeurs de -200/ -300m ou -500/ -600 m. Le parcours en profondeur est marqué par des « sinuosités ». | Nécessitent une grande dépense énergétique et se justifient pour les zones de pêche intense. Les plongées à grande profondeur sont plus courtes. Les sinuosités observées indiquent une intensification de la recherche et des captures alimentaires. |

Ces différents types de plongée correspondent à des phases différentes dans la stratégie de recherche de nourriture : les éléphants de mer adaptent continuellement leur comportement de plongée à l'accessibilité de leurs proies dans la colonne d'eau. Ils équilibrent vitesse, profondeur de plongée (dépense énergétique) et temps de récupération, digestion, repos.

Les variabilités saisonnières modifient la distribution et les types de proies. L'éléphant de mer pourrait modifier sa stratégie alimentaire en fonction : par exemple, avoir un plus court rayon de recherche si les densités de proies sont élevées.

Pour ces connaissances biologiques et de plongée, 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 !

- Où vivent les éléphants de mer ?

On découvre grâce aux cartes Argonautica que les éléphants de mer suivis vivent en zone sub-Antarctique et Antarctique. Leurs localisations montrent des positions sur les îles de l'Archipel des Crozet, Kerguelen ainsi que des déplacements sur de grandes distances en plein océan, parfois jusqu'aux côtes de l'Antarctique.

- Pourquoi les éléphants de mer partent-ils du même endroit ?

Les cartes de suivi Argonautica montrent, pour une année donnée, des trajets qui démarrent à peu près à la même date et au même endroit. 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 équipent les éléphants de mer.

Les indications de latitude longitude fournies sur Argonautica permettent d'identifier ces lieux: îles subantarctiques (Kerguelen, Crozet, Macquarie, îles Heard-et-MacDonald,...).

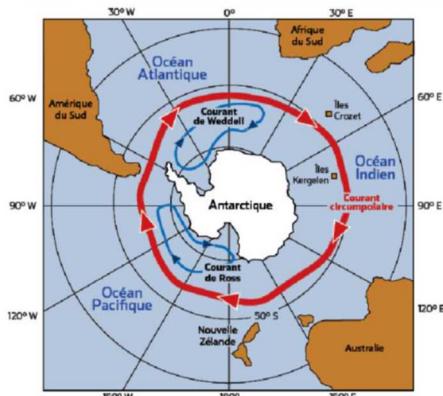
Les îles subantarctiques connaissent un climat océanique (froid mais non polaire, avec des températures moyennes de 5°C) avec des pluies souvent abondantes et des vents violents. La végétation se limite à des mousses, des lichens et quelques graminées.



Le suivi des éléphants de mer en 2024-2025 a débuté en octobre pour certains, et le 24 décembre et 14 janvier pour les autres. La position des éléphants à ces dates montre que l'équipement a été fait sur une plage de la baie Royale aux Kerguelen.

Position de l'éléphant de mer Oskoure au 14/01/2025 sur Google earth

- Quelles sont les caractéristiques de l'environnement océanique parcouru par les éléphants de mer ?



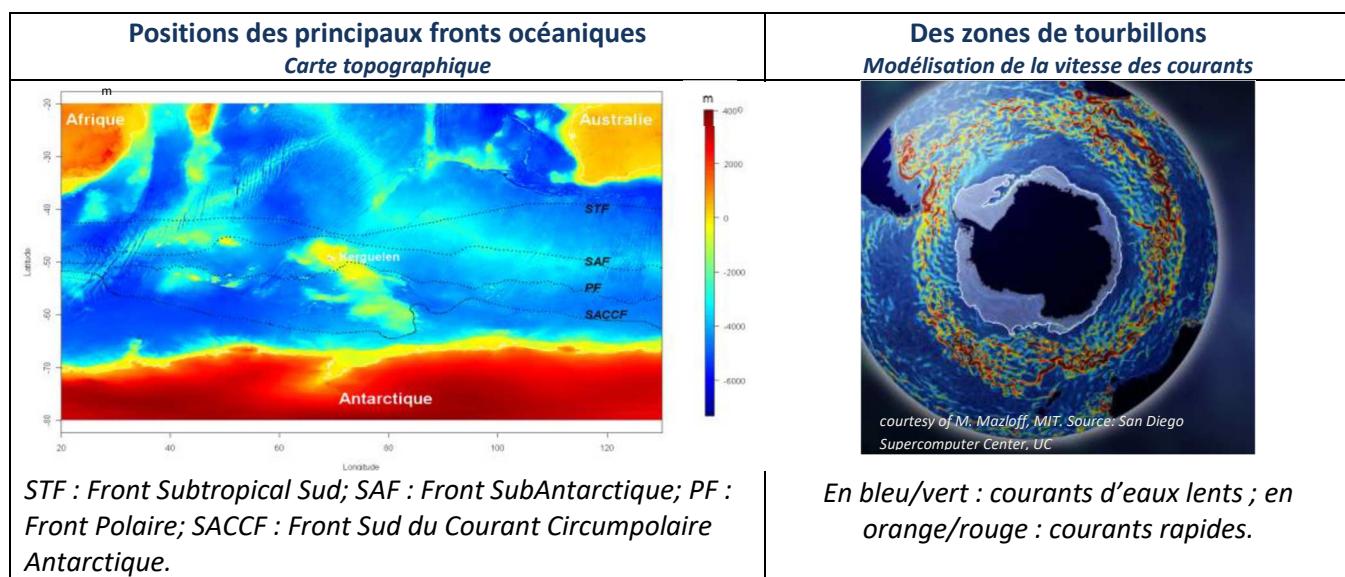
L'océan Austral (ou Antarctique) se déplace selon un puissant courant circumpolaire et permet les échanges entre océans (température, salinité, ...).

La rencontre des eaux froides antarctiques avec les eaux plus chaudes des océans Indien, Atlantique et Pacifique sud entraîne l'existence de grandes masses d'eau aux caractéristiques différentes séparées par des fronts océaniques, identifiables en surface par des isothermes.

Sous l'action des vents, les courants de surface entraînent la convergence ou la divergence des masses d'eaux superficielles et

la formation de structures très dynamiques, nommées tourbillons. Ces structures circulaires d'une centaine de kilomètres de diamètre apparaissent et disparaissent en quelques jours à quelques semaines.

Les tourbillons cycloniques tournent dans le sens horaire, les tourbillons anticycloniques dans le sens antihoraire.



- Pourquoi les éléphants de mer se déplacent ils ?

L'observation des éléphants de mer montre que ceux-ci se regroupent pendant plusieurs semaines sur les plages des îles subantarctiques mais passent l'essentiel de leur temps, jour et nuit, dans l'océan - en fait, 80% de leur vie ! Les éléphants de mer viennent à terre pour la reproduction (en octobre, printemps austral) et la mue (entre novembre et avril) mais ont une alimentation océanique (poissons, calamars, ...).

L'équipement avec balises, qui vise à étudier le trajet des éléphants de mer dans l'eau, est réalisé sur des éléphants prêts à repartir en mer. Rester à terre pendant plusieurs semaines consécutives, sans possibilité d'approvisionnement, impose aux éléphants de mer d'avoir accumulé en mer des réserves suffisantes pour pouvoir jeûner. Leurs déplacements océaniques sont ainsi nécessités par l'objectif de recherche alimentaire pour se nourrir et faire des réserves.

- Comment les éléphants de mer se déplacent ils ?

L'anatomie des éléphants de mer montre des membres arrière très adaptés à la nage, en forme de « palette natatoire ».

Les membres avant permettent de courts déplacements à terre par propulsion du corps (vitesse maximale de 8km/h sur de courtes distances).

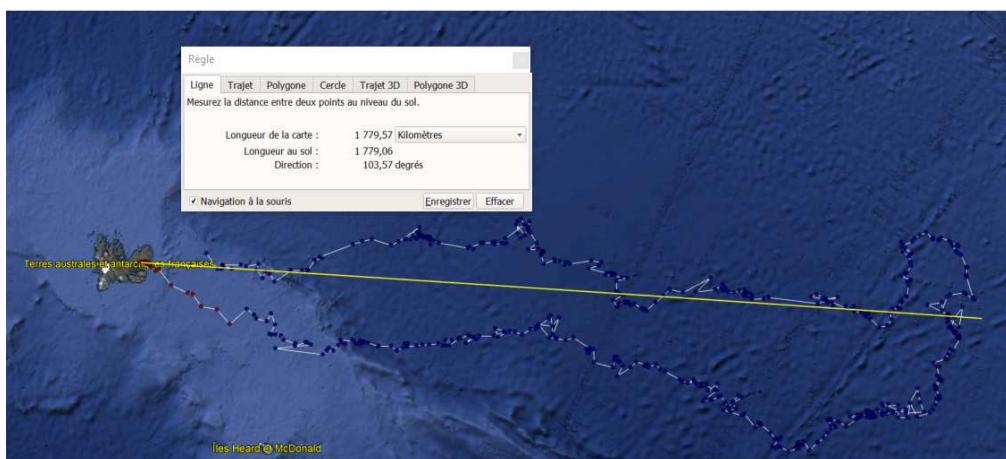


Quels sont les trajets des éléphants de mer ? Sur quelles distances se déplacent-ils ?

Les éléphants de mer parcourent des zones géographiques assez vastes de l'océan circumpolaire pour s'approvisionner, avec des comportements de plongée et de pêche adaptées selon les lieux.

Une carte d'un trajet de quelques semaines suffit à illustrer les distances que parcourent les éléphants de mer : une à deux fois par an ils font des trajets de plusieurs milliers de kilomètres !

Ces trajets sont accompagnés de 60 plongées par jour en moyenne !



A quelle vitesse se déplacent les éléphants de mer ?

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 éléphants de mer 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. *Voir le trajet de Mirounga ci-dessus.*

Calculer la distance entre deux points à partir des longitudes et latitudes est complexe (formule de trigonométrie sphérique pour tenir compte de la rotundité 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>).

De manière générale, les éléphants de mer ne se nourrissent pas en surface et sont presque toujours en plongée. Les plongées ont lieu tout au long de leurs trajets, de jour comme de nuit, en continu. Ils ne passent que quelques minutes en surface entre deux plongées successives.

La distance parcourue en surface entre deux positions transmises par satellites ne reflète donc pas la réelle distance parcourue pendant le temps concerné.

Les capteurs associés aux balises ont montré que les plongées peuvent atteindre 2000 m de profondeur pour une durée moyenne de 20 à 30 min, selon la profondeur atteinte.

L'ordre de grandeur de la vitesse de nage peut alors être estimée : 2x2000m en 20 min soit 200m/min, c'est-à-dire 12 km/h pour la descente et la remontée d'une plongée très profonde. (En réalité, la vitesse est proche de 20km/h).

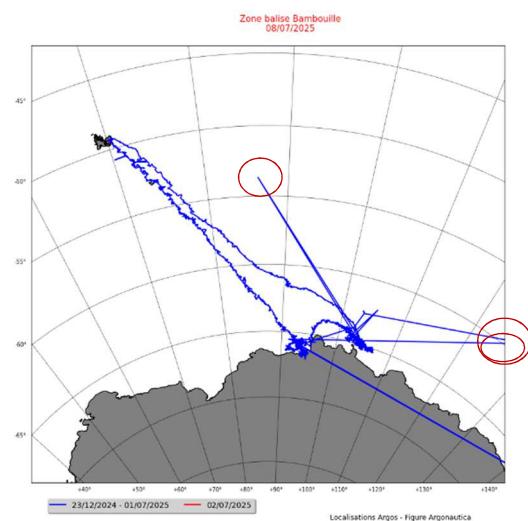
Comment expliquer les positions brutalement très éloignées de la trajectoire ?

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

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

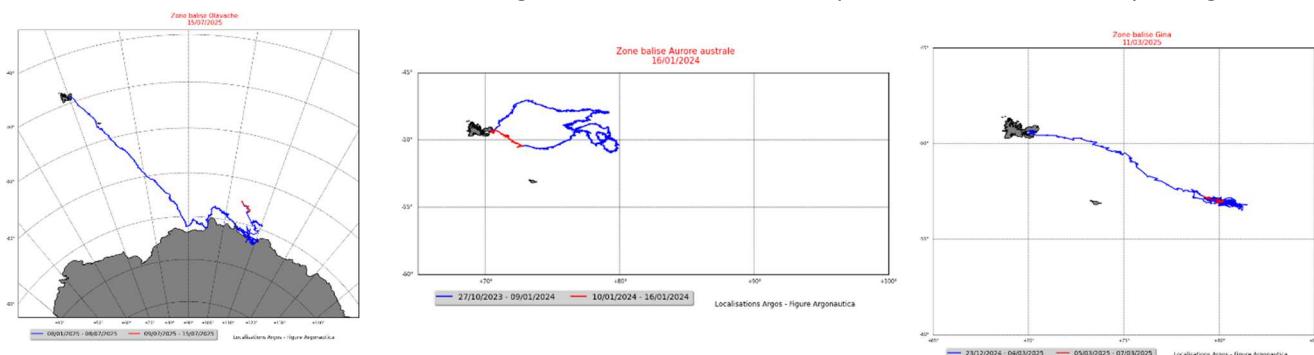
Il s'agit là d'une valeur aberrante, une donnée fausse : un artéfact lié aux mesures, à la transmission ou à la réception du signal... Les scientifiques repèrent et éliminent ces données erronées pour leur recherche ; cette étape est un préalable à l'exploitation des résultats.

Plus d'informations Annexe 1-3, page 18.



Pourquoi certains vont au sud, d'autres vers l'est ou à l'ouest ?

Le suivi par satellite des populations principales d'éléphants de mer (Géorgie du Sud, îles MacQuarie et Kerguelen) montre que les mêmes zones sont explorées pour s'approvisionner au cours du temps : la zone interfrontale tourbillonnaire et la zone des glaces en bordure antarctique sont les destinations privilégiées.



Les études montrent que les trajets sont différents selon le sexe, l'âge de l'éléphant de mer et la période :

- les mâles adultes se rendent principalement sur des plateaux (plateau de Kerguelen ou plateau Antarctique) et se nourrissent de grosses proies benthiques : calmars, légumes australiens, ...
- les femelles adultes et les jeunes se rendent dans la zone inter-frontale ou dans la zone marginale des glaces à proximité du continent Antarctique (notamment en période post mue) et se nourrissent de poissons lanterne meso-pélagiques. En post-reproduction, les femelles gravides ont tendance à faire des recherches alimentaires le long de leurs trajets, « à échelle réduite » : sans doute disposent-elles de moins de temps pour stocker de la graisse avant le retour à terre pour accoucher.

- Comment les éléphants de mer organisent ils leur recherche alimentaire ?

L'éléphant de mer s'orienterait à deux niveaux :

- A **grande échelle**, en allant assez directement en « ligne droite » vers la zone d'alimentation de prédilection : bordure Antarctique ou zone interfrontale selon l'âge, le sexe et la période (cf. « *Pourquoi certains vont au Sud, d'autres vers l'Est ou à l'Ouest ?* » ci-dessus) avec une grande fidélité interannuelle.
- A un niveau **plus local**, en alternant entre des phases de recherche active et des phases sans recherche. Le long du trajet et dans la zone de destination, l'éléphant de mer semble en effet identifier des zones optimales au niveau quantité/qualité des proies et des zones où il serait inutile d'engager un comportement de recherche intensive.

Des études comparatives montrent que des femelles éléphants de mer s'alimentant dans la zone interfrontale ont sevré leurs petits avec une masse plus faible que ceux des femelles s'étant alimentées dans les eaux Antarctiques. A contrario, certains éléphants de mer restés dans une zone tourbillonnaire localisée ont pris deux fois plus de poids que la norme...

Pour des trajets similaires, on peut également constater des prises de poids très différentes, de plus de 100 kg. Quelle que soit la destination visée, l'expérience individuelle semble jouer un rôle important pour identifier et exploiter de façon efficace des zones riches en proies.

- Quelles relations entre paramètres environnementaux et activité biologique ?

Le développement des réseaux trophiques océaniques est intimement lié aux paramètres physico chimiques de l'eau et ceux-ci peuvent fournir aux éléphants de mer des indices permettant « d'identifier » les zones potentiellement riches :

- **Température de l'eau et activité biologique**

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

Dans la zone interfrontale, 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 éléphants de mer.

Dans cette zone tourbillonnaire très mouvementée, ils peuvent ainsi, avec une bonne stratégie locale, trouver des proies abondantes à une profondeur moyenne (-200/ -300m).

Dans les zones Antarctiques à forte concentration en glace de mer (aussi appelée « pack ») ou de talus continental Antarctique, les proies sont très énergétiques et abondantes en profondeur. Le déplacement vers cette localisation éloignée des îles subantarctique peut correspondre à une stratégie efficace.

Les éléphants de mer en plongée ciblent ainsi des couches d'eau très froides ou à fort gradient de température pour la recherche alimentaire. Une hypothèse sur la léthargie des proies qui faciliterait leur capture par les éléphants de mer homéothermes a également été émise.

- **Influence des variations de température**

Les masses d'eaux froides, favorisant l'activité biologique, induisent la présence des poissons lanternes à des profondeurs plus faibles. Dans ces zones, les femelles éléphants de mer intensifient leur comportement de plongée et diminuent leur profondeur puisque les proies sont plus proches de la surface.

Une étude laisse penser que les poissons lanternes, bioluminescents, adaptent leur localisation dans la colonne d'eau plutôt en fonction du niveau de lumière qu'en fonction de la densité ou de la température de l'eau. Le jour, ces poissons s'enfoncent dans la colonne d'eau vers les couches d'eau moins lumineuses, ce qui permet d'échapper à certains prédateurs. Les femelles éléphants de mer adaptent elles leur profondeur de plongée en suivant l'enfoncement progressif des bancs de poissons lanterne au lever du jour où restent elles dans les eaux plus froides ?

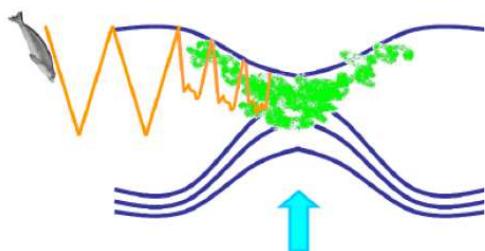
Les années chaudes, les proies se trouveraient plus en profondeur, entraînant des plongées plus profondes pour les éléphants de mer, avec augmentation de leur dépense énergétique et baisse du stockage.

- Couleur de l'eau et Luminosité

La « couleur de l'eau » mesurée par satellite, correspondant à la concentration en chlorophylle – a (et donc en phytoplancton), montre l'activité biologique : une concentration élevée indique que les réseaux trophiques peuvent se développer et permettre une densité élevée en proies. Une importante biomasse dans les couches de surface entraîne une atténuation de la lumière dans la colonne d'eau. Les enregistrements montrent que les éléphants de mer pourraient être sensibles à cette diminution de la luminosité.

L'adoption d'une stratégie « active » de recherche alimentaire par les éléphants de mer (diminution de la distance parcourue entre deux plongées, augmentation du nombre de plongées actives, de la sinuosité de leurs trajets) est ainsi observée dans les zones caractérisées par :

- une diminution de la température de l'eau et de la hauteur d'eau (niveau de la mer, topographie)
- une augmentation de la concentration en chlorophylle (mesurée par satellite par la couleur de l'eau).



La faible distance de déplacement horizontale associée à des plongées plus fréquentes indique une intensification de la recherche alimentaire. Cela s'observe particulièrement dans les zones à forte concentration chlorophyllienne (en vert) et à remontées d'eaux froides (flèche bleue) présentes au centre de tourbillons cycloniques ou en bordures de tourbillons anticycloniques.

Figure extraite de la thèse de Anne-Cécile Dragon.

DR

Modélisation des stratégies d'approvisionnement des éléphants de mer australiens - Environmental sciences, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, 2011. French. <tel-00660213>

Conclusion et perspectives

L’Océan Austral est particulièrement sensible aux changements climatiques : les variations de la fonte des glaces de mer et continentales, les précipitations, les vents pourraient modifier la stratification et la structuration de cet océan, impactant sur la production primaire, les populations de krill et les réseaux trophiques. Les îles subantarctiques, isolées géographiquement, présentant des conditions optimales pour des organismes souvent endémiques et à fort degré de spécialisation et d’adaptation, sont particulièrement surveillées.

Très peu de navires océanographiques se rendent dans les régions hostiles subantarctiques ou antarctiques et les collectes d’informations y sont difficiles. Le suivi et les données enregistrées par les capteurs lors des plongées des éléphants de mer sont des compléments essentiels pour la recherche océanographique. Les profils verticaux des paramètres environnementaux océaniques (température, salinité, concentration en chlorophylle a...) permettent d’étudier les dynamiques océaniques, les variations climatiques au cours du temps, leurs conséquences sur la vie marine et d’élaborer des modèles climatiques globaux.

Les questions abordées dans ce document ne sont pas exhaustives. Avec le suivi des éléphants de mer, les élèves abordent de nombreuses notions : géographie, saisons de l’hémisphère sud, adaptation et cycle de vie des éléphants de mer, travail des scientifiques... Ils découvrent également que la recherche scientifique nécessite de mener des investigations et voient que toutes les questions ne sont pas solutionnées !

Le suivi des éléphants de mer par satellite peut s’élargir à de nombreuses thématiques : histoire des découvertes, biodiversité antarctique, grands courants marins, rôle de l’Océan dans la régulation climatique ou encore l’impact du réchauffement actuel sur l’environnement austral.

L’importance des connaissances scientifiques et l’apport des satellites sur notre connaissance de la terre et des espèces qui l’habitent pourront être mis en évidence.

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>

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 »

Argonautica : la plateforme de données

The screenshot shows the Argonautica homepage with two main sections. The left section is titled 'Consultez les données ArgOcéan / Argonimaux' and contains a sub-section 'Filtrer par date, espèce...' with a note: 'Sur le site, tous les jeudis, sont publiées des localisations de balises pour la semaine passée, ainsi que des cartes de l'océan.' The right section is titled 'Consultez les données ArgoHydro' and contains a note: 'Filtrer par projet regroupant plusieurs sites et instruments'.

- 2- Choisissez une balise en cliquant :

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

The screenshot shows the 'Choisir une balise dans une liste' interface. It includes a map titled 'Les balises récentes sur une carte' showing the world map with green icons representing recent tags. Below the map is a list of icons representing different tags, with the icon for 'Juan' (Tortue caouanne) highlighted with a red circle.

- 3- Choisir le groupe à suivre :

(Exemple : les tortues)

The screenshot shows the search period and names sections. The 'Noms' section lists turtle names with their species: Juan (Tortue caouanne), Océanide (Tortue caouanne), Octant (Tortue caouanne), Offshore (Tortue caouanne), Oki (Tortue caouanne), Oléron (Tortue caouanne), Olive (Tortue caouanne), Olympie (Tortue caouanne), Osmose (Tortue caouanne), Oum (Tortue caouanne), Ouragan (Tortue caouanne), and Ovni (Tortue caouanne). The icon for 'Juan' is highlighted with a red circle.

- 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 :

The screenshot shows the search period and names sections. The 'Noms' section lists turtle names with their species: Juan (Tortue caouanne), Océanide (Tortue caouanne), Octant (Tortue caouanne), Offshore (Tortue caouanne), Oki (Tortue caouanne), Oléron (Tortue caouanne), Olive (Tortue caouanne), Olympie (Tortue caouanne), Osmose (Tortue caouanne), Oum (Tortue caouanne), Ouragan (Tortue caouanne), and Ovni (Tortue caouanne). The icon for 'Juan' is highlighted with a red circle.

- 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.

The screenshot shows the detailed view of the 'Juan' tag. It includes the tag ID (65904), source (Aquarium La Rochelle), and last location (27/06/2010). It also includes a note about permanent links to the data and download options for positions and environmental data. The 'Cartes' button is highlighted with a red circle.

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.

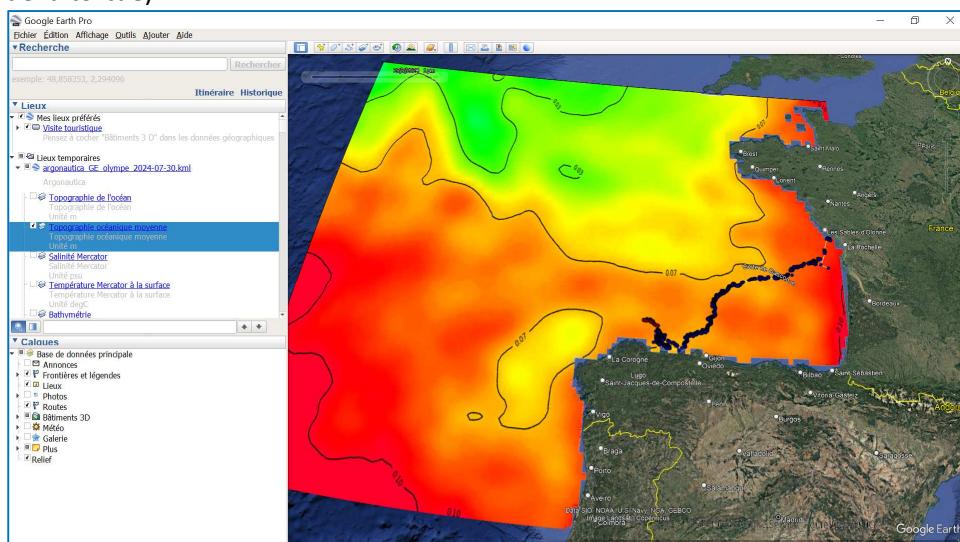
NB : si vous superposez deux cartes "en couleurs", l'une sera visible mais pas l'autre ! Même chose pour des "contours/vecteurs".

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 $\sqrt{10r}$, where r and w are the semi-major and semi-minor axis lengths of an estimated error ellipse.