

# Proposition de sujet de thèse 2020

(A remplir par les équipes d'accueil et à retourner à Isabelle HAMMAD : [hammad@cerege.fr](mailto:hammad@cerege.fr)

\*à renseigner obligatoirement pour la validation du sujet, (1) : A remplir lors de la campagne d'attribution des allocations, à l'issue de la session de juin des Masters

## Sujet de doctorat proposé \*:

Encadrant(s), nom, prénom, adresse mail \*:

David NERINI, [david.nerini@univ-amu.fr](mailto:david.nerini@univ-amu.fr)

Christophe GUINET, [christophe.guinet@cebc.fr](mailto:christophe.guinet@cebc.fr)

Laboratoire \*:

Mediterranean Institute of Oceanography

## Tableau récapitulatif du sujet

<b>Candidat(e)<sup>(1)</sup></b>	
Nom - Prénom :	
Date de naissance :	
Licence (origine, années, mention) :	
Mention et classement au Master 1 année (Xème sur Y)	
Mention et classement au S3 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au S4 du Master 2 (Xème sur Y)	
Mention et classement au M2 (année) (Xème sur Y)	
MASTER (nom, université)	
<b>Sujet de doctorat proposé*</b>	
Encadrants (2 max, indiquer si HDR ou pas)*	David NERINI, HDR Christophe GUINET, HDR
Laboratoire*	M. I. O. et Centre d'Etudes Biologiques de Chizé (CNRS-CEBC)
Programme finançant la recherche (indiqué si obtenu ou envisagé) (1)	CNES-TOSCA (Equipement, missions, colloques) Programme IPEV 1201 (Terrain) SNO-MEMO (fonctionnement)

## Sujet de doctorat proposé\*

Intitulé\* :

# Reconstruction à fine échelle de paysages écologiques tridimensionnels dans l'océan par l'analyse des données des trajectoires d'éléphants de mer : une approche multidisciplinaire croisant océanographie physique, océanographie biologique et analyse comportementale.

Descriptif \*:

## Contexte et objectifs

Le plein océan et son environnement pélagique constituent un habitat en 3 dimensions, dynamique spatialement et temporellement et donc fortement hétérogène. Les transports horizontaux et les mélanges de masses d'eau sont des processus centraux dans l'étude de la dynamique physique, chimique et biologique des océans. Ces processus physiques contrôlent une partie de l'activité biologique et structurent les paysages écologiques des océans.

Les aires fortement dynamiques avec la formation de structures tourbillonnaires de mésoéchelle (50-300 km) entraînent la création de méandres et filaments de sub-mésoéchelle (1-30 km). Ces structures jouent un rôle dans les flux verticaux de nutriments (McGillicuddy et Robinson 1997, Levy et al. 2018), permettant la création de zones à forte production primaire. Cette variabilité géographique dans la disponibilité des ressources donne naissance à une mosaïque d'écosystèmes qualifiés de niches écologiques temporaires (d'Ovidio et al. 2010). La production primaire associée aux structures de méso-échelle entraîne l'agrégation de macroplancton et micronecton (Pakhomov et Fronemann 2000) au niveau de zones frontales ainsi que leur piégeage au sein des structures tourbillonnaires. Ces derniers sont les proies de poissons tels que les myctophidés (Pakhomov et al. 1996, Bost et al. 2009), grand groupe de poissons mésopélagiques très apprécié par des prédateurs marins (Cherel et al. 2010). Cette structuration des premiers maillons trophiques influence également la distribution de mammifères marins tels que les éléphants de mer.

Les éléphants de mer (*Mirounga leonina*) plongent continuellement (i.e. 50 à 70 plongées de 20 à 30 min par jour), profondément (500 m en moyenne, max. 2000 m) en se déplaçant sur des milliers de kilomètres pendant plusieurs mois (McConnell et al. 1992). Ils sont parmi les plus grands prédateurs plongeurs de l'Océan Austral en termes de consommation de proies (Hindell et al. 2003).

Lors de leur voyage en mer, les éléphants de mer échantillonnent en continu des variables océanographiques physiques (Température, Salinité, Lumière), biogéochimiques (Fluorescence) et biologiques (Bioluminescence, Vacquié-Garcia et al. 2012; Micro-échosondage, Goulet et al. 2019, et tentatives de captures de proie au cours de la plongée, Guinet et al. 2014). Ces mesures révèlent l'hétérogénéité des paysages biologiques visités le long de la trajectoire des éléphants et permettent de quantifier l'influence des conditions océanographiques sur la structuration spatiale des animaux et de leurs proies. Elles montrent en particulier le rôle essentiel des fronts océaniques, associés ou non à des bordures de tourbillons, sur la distribution des ressources biologiques (Della Penna et al. 2015, Rivière et al. 2019). En particulier, elles ont révélé un décalage spatio-temporel entre les zones de production primaire et les zones de haute densité des organismes appartenant à des niveaux trophiques supérieurs. Les résultats de Cotté et al. (2015) suggèrent que les zones d'alimentation choisies par les éléphants de mer lors de leur migration post-mue en fin d'été (i. e. les zones de concentration des proies), correspondent à des masses d'eau où un bloom de phytoplancton a été observé au printemps austral (novembre-décembre) mais qui se sont déplacées sous l'effet des courants.

Les femelles éléphants de mer tendent à s'alimenter préférentiellement dans des zones fortement tourbillonnaires (i.e. présentant une forte dynamique de sub-mésoéchelle), lieux d'une intense production primaire (Strass et al. 2002) et ayant un impact sur la structuration des champs biologiques, en termes de densité de proie et d'accessibilité verticale des proies favorables aux prédateurs marins (Nel et al. 2001, Cotté et al. 2007, Le Bras et al. 2016, Rivière et al. 2019). Par ailleurs, de nombreux travaux ont montré l'importance de la température et de la lumière sur la structuration verticale des champs biologiques (Liu et Smith 2012, Biggs et al. 2019, Rumyantseva et al. 2019) et sur le comportement de plongées des éléphants de mer austraux (Jaud et al. 2012, Guinet et al. 2014).

Les avancées technologiques majeures des dernières années permettent aujourd'hui d'équiper les éléphants de mer de différents capteurs miniatures pour échantillonner simultanément et à très haute fréquence l'environnement et l'activité des individus. Il est possible d'échantillonner en continu, pendant plusieurs mois des variables physiques (champs TS, lumière), biogéochimiques (Chl-a) et physiologiques (mouvement). Dernièrement, de nouvelles données issues de micro-échosondeurs renseignent sur la densité des organismes (zooplancton et micronecton) rencontrés dans la colonne d'eau, simultanément à l'échantillonnage de la bioluminescence (Fig. 1).

Ces données permettent d'étudier finement le comportement de plongées des prédateurs en reconstruisant les plongées en trois dimensions et en localisant chaque tentative de captures de proie le long des plongées par l'étude des mouvements de l'animal. Cette approche intégrée multi-capteur donne ainsi une vision de la colonne d'eau et ouvre la voie vers l'acquisition de connaissances croisées sur la dynamique des océans, la biologie et l'écologie comportementale.

Ce projet de thèse est structuré selon trois axes majeurs :

- 1) Un premier axe vise à étudier l'influence des processus physiques sur la densité et la distribution verticale des champs biologiques en milieu pélagique pour ensuite les identifier en fonction des conditions océanographiques rencontrées
- 2) Le deuxième objectif de ce travail sera, en combinant observations satellites et mesures haute-fréquence in-situ, de reconstruire des paysages écologiques tridimensionnels en lien avec la dynamique océanographique horizontale.
- 3) Le troisième objectif de cette étude sera de prendre en compte la dynamique spatiale et temporelle des masses d'eau pour estimer la durée des champs de proies et mieux comprendre les relations spatio-temporelles entre zone de production primaire et distribution des individus dans les niveaux trophiques intermédiaires.

Ce projet permettra d'approfondir les connaissances sur la structuration 3D d'un paysage pélagique par une étude croisée des structures physiques et biologiques de sub-mésosécale. À notre connaissance une telle étude n'a jamais été entreprise.

### **Verrous techniques et méthodologie envisagée**

Depuis 2004, des éléphants de mer de l'espèce *Mirounga leonina* sont équipés chaque année de balises Argos-CTD fournissant des profils verticaux de température et salinité en continu (0.5 Hz) sur des périodes de 3 mois, autour des îles Kerguelen et en Argentine. Plus récemment, de nouvelles balises permettent de positionner précisément les animaux entre chaque plongée au moyen d'un GPS et d'étudier le comportement de plongées des animaux tout en échantillonnant finement les conditions biologiques rencontrées au cours de la plongée. Les données disponibles sont les suivantes :

- Mesure des profils de concentration en chlorophylle-a par fluorescence mais aussi dérivée des mesures de lumière ambiante (Bayle et al. 2015).
- Echsondage par acoustique active 1,5 mhz, 25 fois par seconde fournissant en continu des informations sur la densité volumique, la distribution verticale et le comportement (migrations nyctémérales) des niveaux trophiques intermédiaires (micronecton).
- Mesure des émissions de bioluminescence dans la colonne d'eau.
- Détection des tentatives de captures de proie au cours de la plongée à partir des mesures d'accéléromètre, qui nous renseignent sur la densité locale de proies et leur distribution verticale.

L'étude des relations entre ces jeux de données à très hautes fréquences, variant simultanément dans l'espace et dans le temps, posent des problèmes techniques qu'il va falloir résoudre. Toutes ces données arrivent sous la forme de profils échantillonnés à différentes profondeurs et composés d'un nombre variable d'observations (données manquantes, transmissions ARGOS sous échantillonnées, ...).

Pour rendre comparable et traiter de telles données, nous proposons des méthodes d'analyse de données originales issues de la branche des statistiques qui s'intéresse à l'analyse de processus qui sont observés sous la forme de courbes (Analyse de Données Fonctionnelles, Ramsay, 2005). L'étudiant devra se former à ce type d'analyses particulières et à l'utilisation des outils qui en découlent.

Ce projet de thèse propose également de combiner les données 2D spatiales issues de cartes journalières d'observations satellites de la température de surface, de la couleur de l'eau et de mesures altimétriques, à des données fonctionnelles à haute résolution spatio-temporelle obtenues à partir des balises posées sur les éléphants de mer.

Un traitement adéquat des cartes satellites de couleur de l'eau (acquisition des images, approximation de données incomplètes, lissage) doit permettre de détecter des propriétés physiques et biogéochimiques caractéristiques et d'élaborer une typologie de paysages océanographiques particuliers. En complément, l'étude des données d'altimétrie permet d'identifier et positionner les zones frontales et structures de méso et sous-mésoscale (Finite-Size Lyapunov Exponents, d'Ovidio et al. 2004). Cet ensemble de données permettra la reconstruction à fine échelle spatio-temporelle du paysage océanographique de surface des zones traversées. Les structures écologiques et biologiques de la colonne d'eau seront ainsi associées à des caractéristiques océanographiques de surface et de la colonne d'eau construites en intégrant plusieurs échelles.

A partir du jeu de données construit précédemment une étape de prévision de la structure biologique de la colonne d'eau peut être envisagée à partir de nouvelles observations satellites. Les méthodes permettant de prévoir la forme des profils biologiques des données de surface devront être affinées à partir des travaux de régression fonctionnelle déjà effectués par Bayle et al., 2015. De la même manière, des sorties de modèles de circulation par assimilation de données (type WOCE, SOSE) pourront servir à comprendre la dynamique temporelle dans l'évolution des masses d'eaux et de leur biologie.

## Bibliographie

- Bayle, S., Monestiez, P., Guinet, C., & Nerini, D. (2015). Moving toward finer scales in oceanography: Predictive linear functional model of Chlorophyll a profile from light data. *Progress in oceanography*, 134, 221-231.
- Biggs, T. E., Alvarez-Fernandez, S., Evans, C., Mojica, K. D., Rozema, P. D., Venables, H. J., ... & Brussaard, C. P. (2019). Antarctic phytoplankton community composition and size structure: importance of ice type and temperature as regulatory factors. *Polar Biology*, 42(11), 1997-2015.
- Bost, C. A., Cotté, C., Bailleul, F., Cherel, Y., Charrassin, J. B., Guinet, C., ... & Weimerskirch, H. (2009). The importance of oceanographic fronts to marine birds and mammals of the southern oceans. *Journal of Marine Systems*, 78(3), 363-376.
- Cherel, Y., Fontaine, C., Richard, P., & Labat, J. P. (2010). Isotopic niches and trophic levels of myctophid fishes and their predators in the Southern Ocean. *Limnology and oceanography*, 55(1), 324-332.
- Cotté, C., d'Ovidio, F., Dragon, A. C., Guinet, C., & Lévy, M. (2015). Flexible preference of southern elephant seals for distinct mesoscale features within the Antarctic Circumpolar Current. *Progress in Oceanography*, 131, 46-58.
- Cotté, C., Park, Y. H., Guinet, C., & Bost, C. A. (2007). Movements of foraging king penguins through marine mesoscale eddies. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1624), 2385-2391.
- Della Penna, A., De Monte, S., Kestenare, E., Guinet, C., & d'Ovidio, F. (2015). Quasi-planktonic behavior of foraging top marine predators. *Scientific reports*, 5(1), 1-10.

- GOULET P, GUINET C, SWIFT R, MADSEN P. JOHNSON M. (2019). A miniature biomimetic sonar and movement tag to study the biotic environment and predator-prey interactions in aquatic animals. *Deep-Sea Research Part 1*. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.04.007>
- Guinet, C., Vacquié-Garcia, J., Picard, B., Bessigneul, G., Lebras, Y., Dragon, A. C., ... & Bailleul, F. (2014). Southern elephant seal foraging success in relation to temperature and light conditions: insight into prey distribution. *Marine Ecology Progress Series*, 499, 285-301.
- Hindell, M. A., Bradshaw, C. J., Sumner, M. D., Michael, K. J., & Burton, H. R. (2003). Dispersal of female southern elephant seals and their prey consumption during the austral summer: relevance to management and oceanographic zones. *Journal of Applied Ecology*, 40(4), 703-715.
- Jaud, T., Dragon, A. C., Garcia, J. V., & Guinet, C. (2012). Relationship between chlorophyll a concentration, light attenuation and diving depth of the southern elephant seal *Mirounga leonina*. *PLoS one*, 7(10).
- Lévy, M., Franks, P. J., & Smith, K. S. (2018). The role of submesoscale currents in structuring marine ecosystems. *Nature communications*, 9(1), 1-16.
- Liu, X., & Smith Jr, W. O. (2012). Physiochemical controls on phytoplankton distributions in the Ross Sea, Antarctica. *Journal of Marine Systems*, 94, 135-144.
- McConnell, B. J., Chambers, C., & Fedak, M. A. (1992). Foraging ecology of southern elephant seals in relation to the bathymetry and productivity of the Southern Ocean. *Antarctic science*, 4(4), 393-398.
- McGillicuddy Jr, D. J., & Robinson, A. R. (1997). Eddy-induced nutrient supply and new production in the Sargasso Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 44(8), 1427-1450.
- Nel, D. C., Lutjeharms, J. R. E., Pakhomov, E. A., Ansorge, I. J., Ryan, P. G. & Klages, N. T. W. (2001). Exploitation of mesoscale oceanographic features by grey-headed albatross *Thalassarche chrysostoma* in the Southern Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 217, 15–26.
- Le Bras, Y., Jouma'a, J., Picard, B., & Guinet, C. (2016). How elephant seals (*Mirounga leonina*) adjust their fine scale horizontal movement and diving behaviour in relation to prey encounter rate. *PloS one*, 11(12).
- d'Ovidio, F., De Monte, S., Alvain, S., Dandonneau, Y., & Lévy, M. (2010). Fluid dynamical niches of phytoplankton types. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18366-18370.
- d'Ovidio, F., Fernández, V., Hernández-García, E., & López, C. (2004). Mixing structures in the Mediterranean Sea from finite-size Lyapunov exponents. *Geophysical Research Letters*, 31(17).
- Pakhomov, E. A., & Froneman, P. W. (2000). Composition and spatial variability of macroplankton and micronekton within the Antarctic Polar Frontal Zone of the Indian Ocean during austral autumn 1997. *Polar Biology*, 23(6), 410-419.
- Pakhomov, E. A., Perissinotto, R., & McQuaid, C. D. (1996). Prey composition and daily rations of myctophid fishes in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 134, 1-14.
- Ramsay, J.O., Silverman, B. (2005) *Functional Data Analysis*, Springer.
- Rivière, P., Jaud, T., Siegelman, L., Klein, P., Cotté, C., Le Sommer, J., ... & Guinet, C. (2019). Sub-mesoscale fronts modify elephant seals foraging behavior. *Limnology and Oceanography Letters*, 4(6), 193-204.
- Rumyantseva, A., Henson, S., Martin, A., Thompson, A. F., Damerell, G. M., Kaiser, J., & Heywood, K. J. (2019). Phytoplankton spring bloom initiation: The impact of atmospheric forcing and light in the temperate North Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, 178, 102202.
- VACQUIÉ-GARCIA J., ROYER F., DRAGON A.C., VIVIAN M., BAILLEUL F., GUINET C. (2012) Foraging in the darkness of the Southern Ocean: influence of Bioluminescence on a deep diving predator. *PLoS ONE* 7(8): e43565. doi:10.1371/journal.pone.0043565
- Strass, V. H., Garabato, A. C. N., Pollard, R. T., Fischer, H. I., Hense, I., Allen, J. T., ... & Smetacek, V. (2002). Mesoscale frontal dynamics: shaping the environment of primary production in the Antarctic Circumpolar Current. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 49(18), 3735-3769.

Détail du Programme finançant la recherche\* :

Ce sujet est articulé avec **d'autres programmes de recherche déjà financés** sur l'équipement des mammifères marins. Le projet CNES-TOSCA servira à financer les équipements, missions et colloques pour le doctorant. Une partie de terrain est prévue (mise en place et relevé des capteurs) et financée via le programme IPEV 1201 ou SNO-NEMO.

Ce sujet s'intègre également dans les travaux de l'axe transverse COUPLAGE du M.I.O.

## Directeur(s) de thèse proposé(s)\*

(limiter au plus à deux personnes principales, dont au moins une titulaire de l'HDR)

David NERINI, HDR, Christophe GUINET , HDR

## Directeur HDR proposé\*

Nom - Prénom : David NERINI

Corps : MC

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) :

M.I.O, OSU Pythéas

### Adresse mail :

[david.nerini@univ-amu.fr](mailto:david.nerini@univ-amu.fr)

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

E. Pauthenet, F. Roquet, G. Madec, **D. Nerini** (2019) The thermohaline modes of the global ocean, J. Phys. Oceano., DOI: 10.1175/JPO-D-19-0120.1

A.Receveur, C. Menkès, F. Ménard, M. Mangéas, A. Daussy, **D. Nerini** (2019) Seasonal and spatial variability in the vertical distribution of pelagic forage fauna in the southwest Pacific, Deep Sea Research, part I, accepted

C Aldebert, BW Kooi, **D Nerini**, M Gauduchon, JC Poggiale (2019) Three-Dimensional Bifurcation Analysis of a Predator-Prey Model with Uncertain Formulation, SIAM Journal on Applied Mathematics 79 (1), 377-395

C Aldebert, BW Kooi, **D Nerini**, JC Poggiale (2018) Is structural sensitivity a problem of oversimplified biological models? Insights from nested Dynamic Energy Budget models, Journal of theoretical biology 448, 1-8

E Pauthenet, F Roquet, G Madec, C Guinet, M Hindell, CR McMahon, **D. Nerini** (2018) Seasonal meandering of the Polar Front upstream of the Kerguelen Plateau, Geophysical Research Letters 45 (18), 9774-9781

## Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années\*

Nom : Morgan GODARD

Intitulé : Etude des comportements de plongée de l'éléphant de mer Mirounga Leonina sur le plateau des Kerguelen

Type d'allocation : MENRT

Date de début de l'allocation de doctorat :

2017 -2019

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : prévue mi-2020

Programme finançant la recherche :

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) :

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50.%

Nom : Clément ALDEBERT

Intitulé :

Uncertainty in predictive ecology : consequence of choices in model construction

Type d'allocation : MENRT

Date de début de l'allocation de doctorat :

2014-2016

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : nov 2016

Programme finançant la recherche :

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : Ingénieur

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 50.%

## Autre directeur proposé (éventuellement)\*

Nom - Prénom : Christophe GUINET

Corps : DR CNRS

Adresse mail : [christophe.guinet@cebc.cnrs.fr](mailto:christophe.guinet@cebc.cnrs.fr)

Laboratoire (i.e. formation contractualisée de rattachement, éventuellement équipe au sein de cette formation) :

Centre d'Etude Biologiques de Chizé (UMR 7372 CNRS-La Rochelle Université)

Choix de cinq publications récentes (souligner éventuellement les étudiants dirigés co-signataires) :

Rivière P; Jaud T., Siegelman-Charbit L., Klein P., Cotté C., D'ovidio F., Le Sommer J., Dencausse G., **Guinet C.** (2019). Submesoscale Fronts impact Elephant seal feeding behavior. Limnology and Oceanography Letters. DOI: 10.1002/lol2.10121

CR McMahon, MA Hindell, JB Charrassin, S Corney, **C Guinet**, R Harcourt (2019) Finding mesopelagic prey in a changing Southern Ocean, Scientific Reports 9 (1), 1-11

M Busson, M Authier, C Barbraud, P Tixier, RR Reisinger, A Janc, **C Guinet** (2019) Role of sociality in the response of killer whales to an additive mortality event, Proceedings of the National Academy of Sciences 116 (24), 11812-11817

GOULET P, **GUINET C**, SWIFT R, MADSEN P. JOHNSON M. (2019). A miniature biomimetic sonar and movement tag to study the biotic environment and predator-prey interactions in aquatic animals. Deep-Sea Research Part 1. <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2019.04.007>

F Orgeret, SL Cox, H Weimerskirch, **C Guinet** (2019) Body condition influences ontogeny of foraging behavior in juvenile southern elephant seals, Ecology and evolution 9 (1), 223-236

### Thèses encadrées ou co-encadrées au cours des quatre dernières années\*

Nom : Florian Orgeret

Intitulé :

Ontogenèse de la recherche alimentaire durant la phase juvénile : cas des prédateurs plongeurs

Type d'allocation : ERC-Early LIFE (PI. H. Weimerskirch)

Date de début de l'allocation de doctorat : 2015-2018

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : juin 2018

Programme finançant la recherche : ERC

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : NR

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de codirection : 50.%

Nom : Gaetan Richard

Intitulé :

Behavioural ecology of fishermen and odontocetes in a depredation context

Type d'allocation : CD79 & ANR

Date de début de l'allocation de doctorat : 2015-2018

Date de soutenance (si la thèse est soutenue) : nov. 2018

Programme finançant la recherche : ANR

Situation actuelle du docteur (si la thèse est soutenue) : NR

Pourcentage de participation du directeur à l'encadrement en cas de co-direction : 100.%