

TERRE, EAU
BIODIVERSITÉ
& SOCIÉTÉS



Modélisation des changements d'abondance des oiseaux marins de l'Océan Austral à l'aide de données de comptage en mer et de modèles zéro-enflés multivariés

Supervision :

Christophe Barbraud¹, Karine Delord¹, Matthieu Authier², Anne-Sophie Bonnet-Lebrun¹

¹Centre d'Études Biologiques de Chizé, UMR7372 CNRS-La Rochelle Université, 79360 Villiers-en-Bois

²Observatoire Pelagis, UAR 3462 CNRS-La Rochelle Université, 17000 La Rochelle

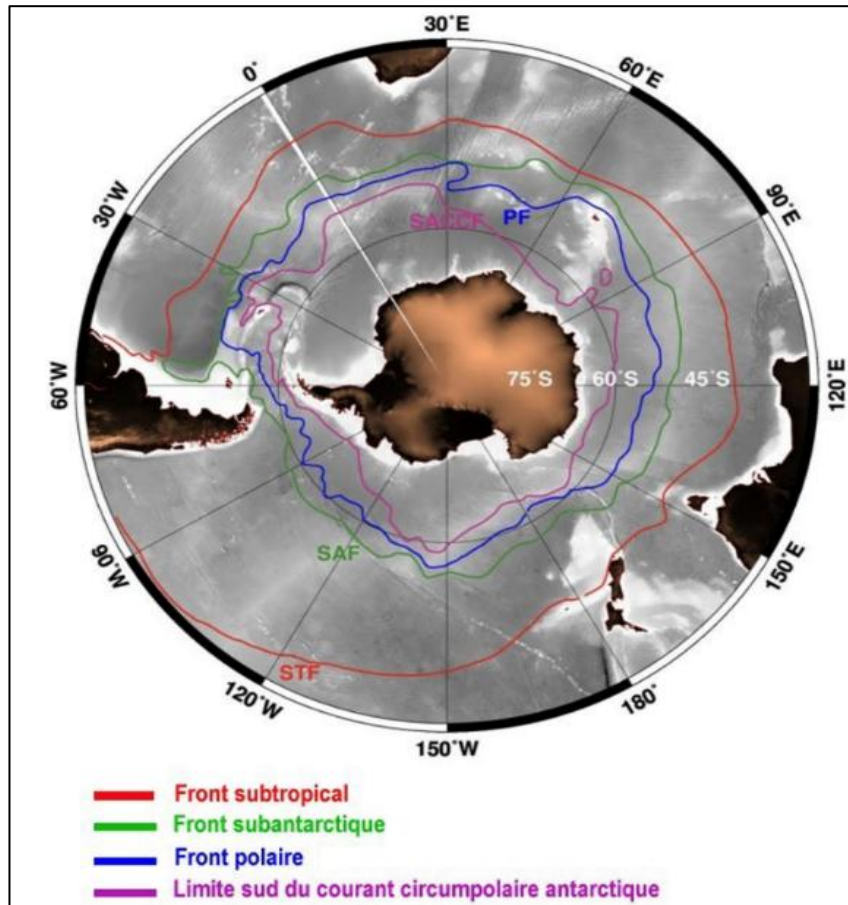
Prix Fondation Xavier Bernard - 22 septembre 2026 - Anaëlle Ruault du Plessis

Océan Austral

- Composante **majeure du système climatique mondial**

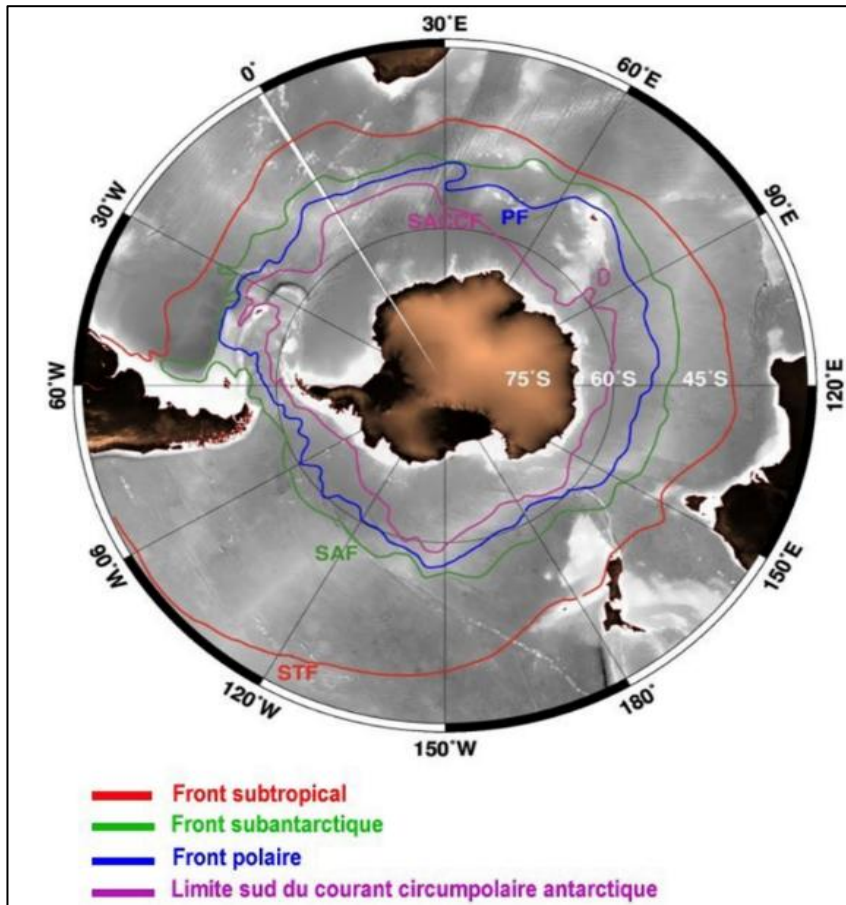
Océan Austral

- Composante **majeure du système climatique mondial**
- Structurés par **fronts = zone de forte productivité primaire** → héberge forte biodiversité et biomasse



Océan Austral

- Composante **majeure du système climatique mondial**
- Structurés par **fronts = zone de forte productivité primaire** → héberge forte biodiversité et biomasse



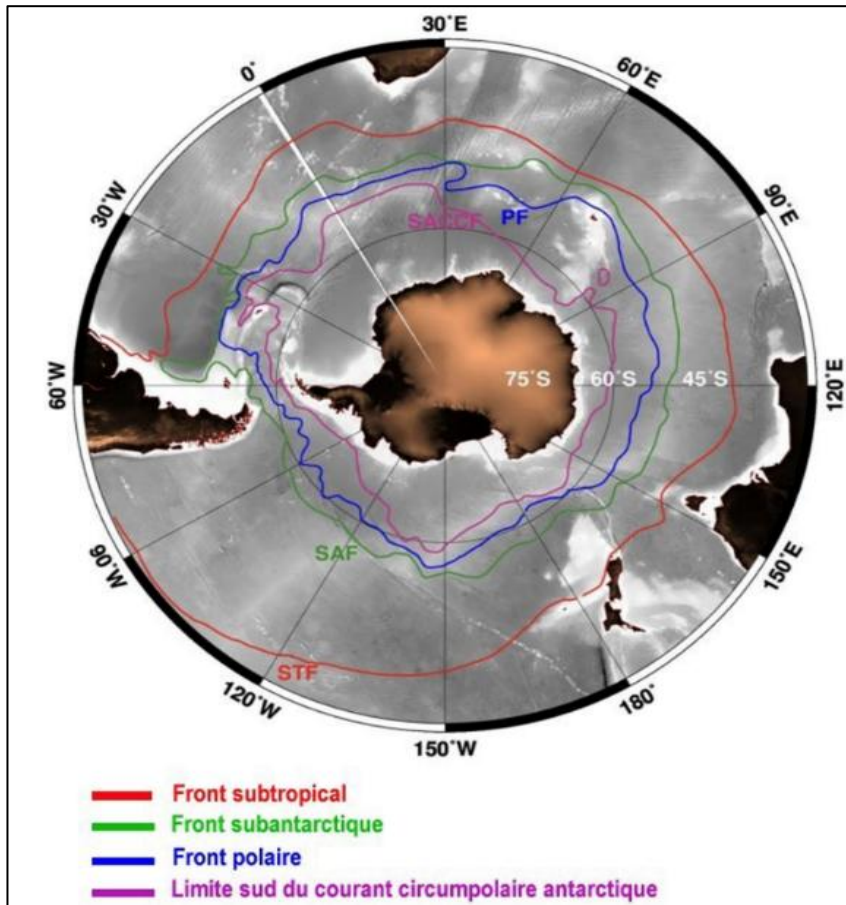
- Depuis quelques décennies :

 **SST** ↗

 changements de la **vitesse des vents**

Océan Austral

- Composante **majeure du système climatique mondial**
- Structurés par **fronts = zone de forte productivité primaire** → héberge forte biodiversité et biomasse



- Depuis quelques décennies :

 **SST** ↗

 changements de la **vitesse des vents**

→ changement de **disponibilité des proies** pour les oiseaux marins

- Nombreuses études à **terre ont documenté des changements**

- Nombreuses études à **terre ont documenté des changements**
- Ne permettent pas observation **espèces inaccessibles à terre et fraction non reproductrice**

- Nombreuses études à **terre ont documenté des changements**
- Ne permettent pas observation **espèces inaccessibles à terre et fraction non reproductrice**
- **Suivi en mer**
 - évaluer des changements d'aire de répartition ou d'abondance à large échelle

- Nombreuses études à **terre ont documenté des changements**
- Ne permettent pas observation **espèces inaccessibles à terre et fraction non reproductrice**
- **Suivi en mer**
 - évaluer des changements d'aire de répartition ou d'abondance à large échelle
 - relier la composition des communautés aux conditions océanographiques



Problématique :

Comment les communautés d'oiseaux marins se répartissent dans l'espace et dans le temps, et s'ajustent aux variations des conditions océaniques ?



Objectifs :

1

2

3



Objectifs :

1 Estimer des **indicateurs d'abondance et de présence** des espèces d'oiseaux marins de l'océan Indien Sud et de l'océan Austral

2

3



Objectifs :

- 1 Estimer des **indicateurs d'abondance et de présence** des espèces d'oiseaux marins de l'océan Indien Sud et de l'océan Austral
- 2 **Quantifier les effets des changements océanographiques et climatiques** sur l'abondance et la distribution de ces espèces

3



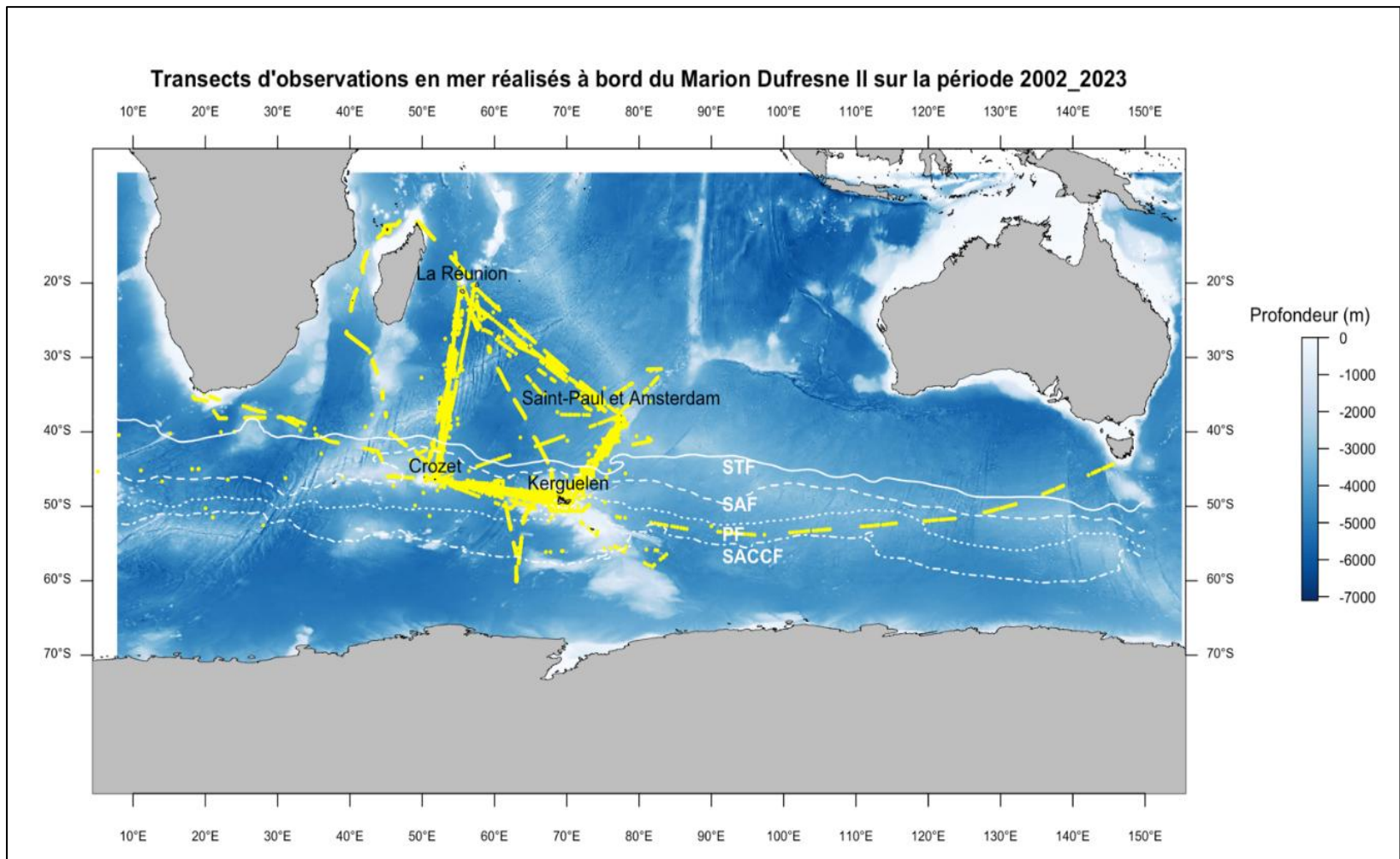
Objectifs :

- 1 Estimer des **indicateurs d'abondance et de présence** des espèces d'oiseaux marins de l'océan Indien Sud et de l'océan Austral
- 2 **Quantifier les effets des changements océanographiques et climatiques** sur l'abondance et la distribution de ces espèces
- 3 **Tester l'existence d'un réseau** d'associations entre espèces



- Protocole d'observation et zone d'étude

Suivi : 2002-2023 divisé en 3 « périodes » (7 ans - 7 ans et 8 ans)

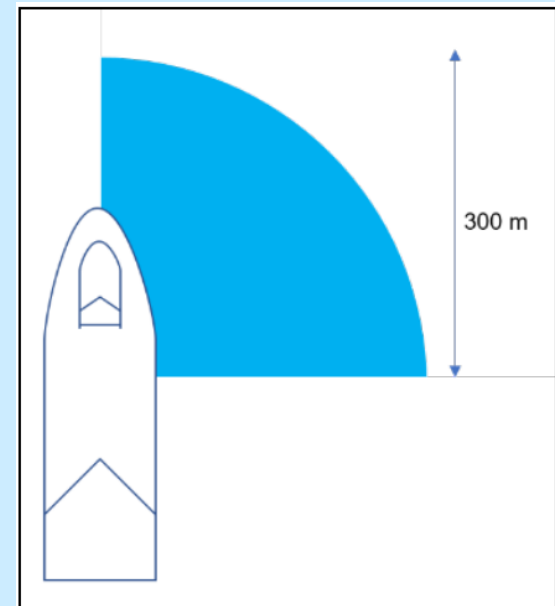


- **Protocole d'observation et zone d'étude**

- Protocole du « strip transect » (Tasker *et al* 1984)
- Observation à l'œil nu (confirmation et identification d'espèce à la jumelle)

2 hypothèses :

- Bande d'observation constante (300m)
- Tous les oiseaux dans la bande d'observation sont détectés

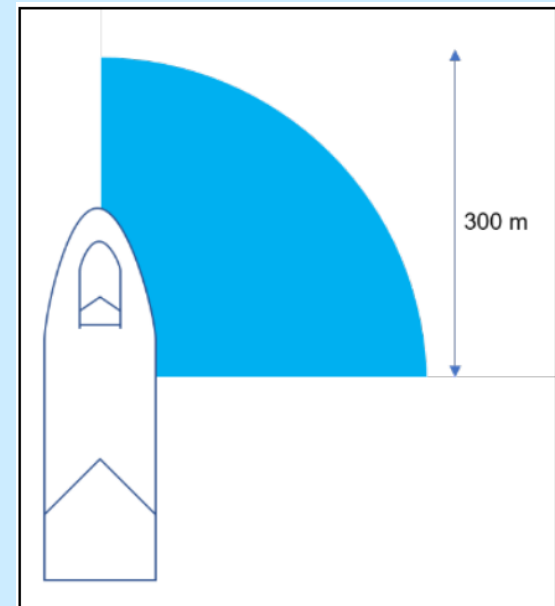


- **Protocole d'observation et zone d'étude**

- Protocole du « strip transect » (Tasker *et al* 1984)
- Observation à l'œil nu (confirmation et identification d'espèce à la jumelle)

2 hypothèses :

- Bande d'observation constante (300m)
- Tous les oiseaux dans la bande d'observation sont détectés



→ Comptages réalisés en continu pendant 10 min toutes les heures pendant la journée

- Zone d'étude et protocole d'observation

Données récoltées :

Nom de l'espèce
Nom scientifique
Nombre
d'individus
...

Données
biologiques

- Zone d'étude et protocole d'observation

Données récoltées :

Nom de l'espèce
Nom scientifique
Nombre
d'individus
...

Données
biologiques

Latitude
Longitude
Observateur
Campagne
...

Données de la
station

- Zone d'étude et protocole d'observation

Données récoltées :

Nom de l'espèce
Nom scientifique
Nombre
d'individus
...

Données
biologiques

Latitude
Longitude
Observateur
Campagne
...

Données de la
station

Conditions
d'observations
(vitesse du
bateau,
nébulosité,
température de
l'air,...)

Conditions
environnementales

- Zone d'étude et protocole d'observation

Données récoltées :

Nom de l'espèce
Nom scientifique
Nombre
d'individus
...

Données
biologiques

Latitude
Longitude
Observateur
Campagne
...

Données de la
station

Conditions
d'observations
(vitesse du
bateau,
nébulosité,
température de
l'air,...)

Conditions
environnementales

- **9058 stations**
échantillonnées
- **26 662 lignes** de données
- **147 854** individus
- **116 espèces** différentes
- ~ **411 stations/an**
- **espèces = classées par
affinité aux masses d'eau
tropicale, chaude, froide**

Comptages

0

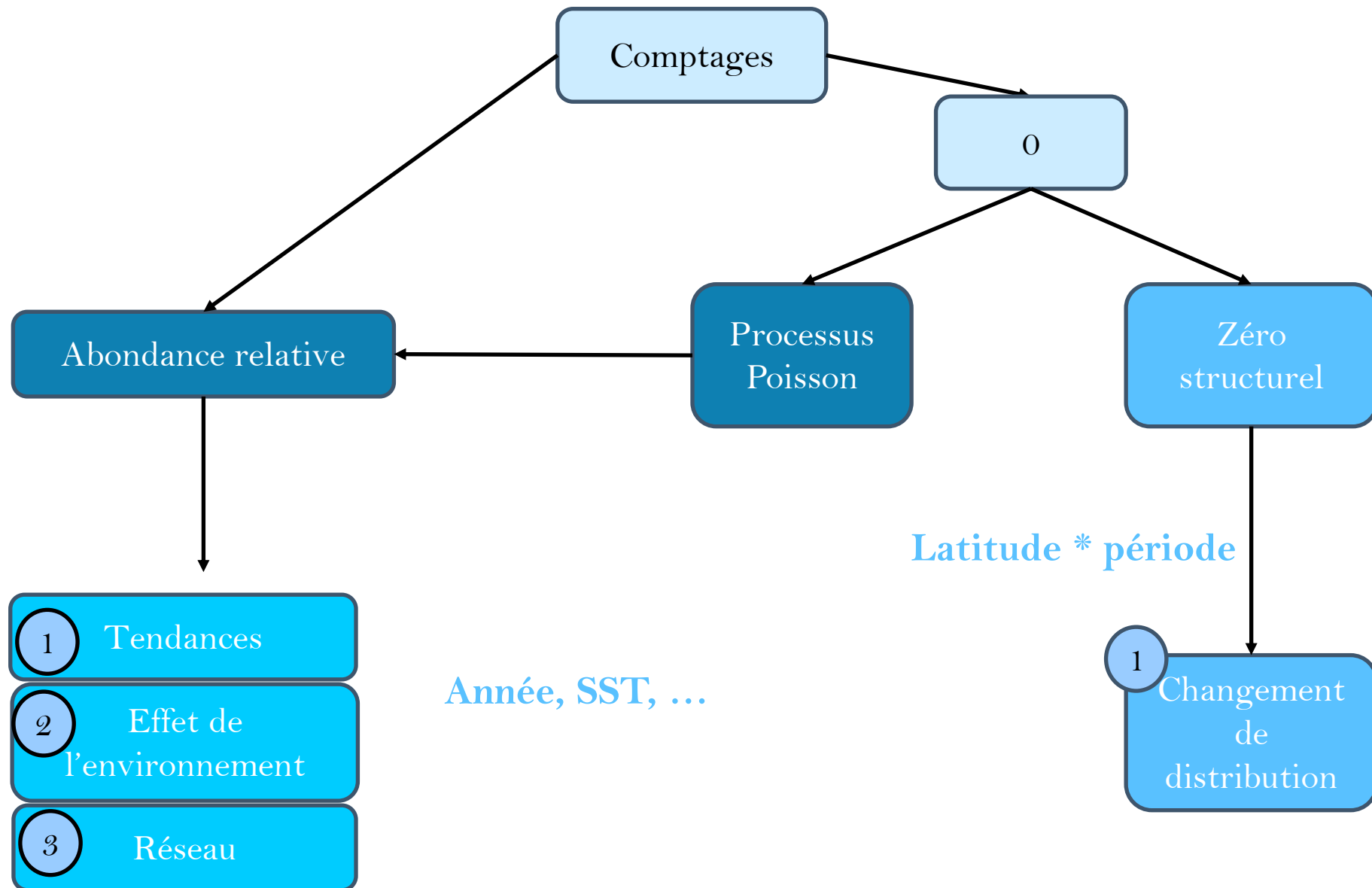
Processus
Poisson

Zéro
structurel

Latitude * période

1

Changement
de
distribution



- Tendances temporelles et changements de distribution

- 61 % (25 espèces) → **stables**
- 15 % (6 espèces) → augmentation
- 24 % (10 espèces) → diminution

- Tendances temporelles et changements de distribution

- 61 % (25 espèces) → **stables**
- 15 % (6 espèces) → augmentation
- 24 % (10 espèces) → diminution

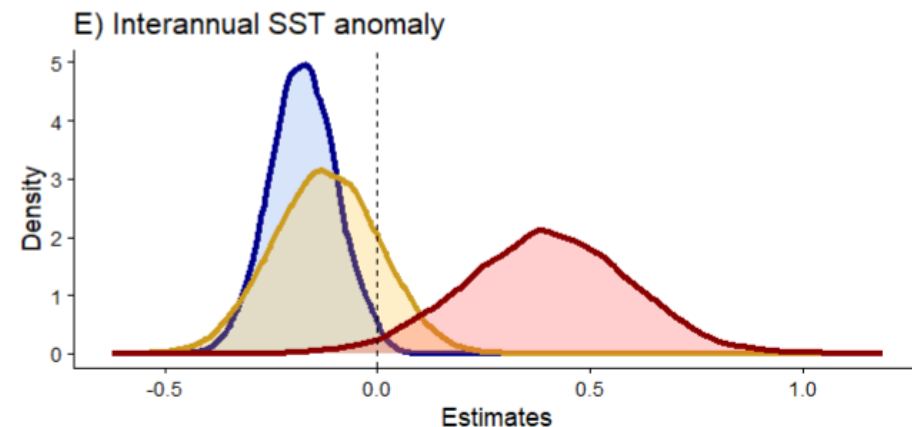
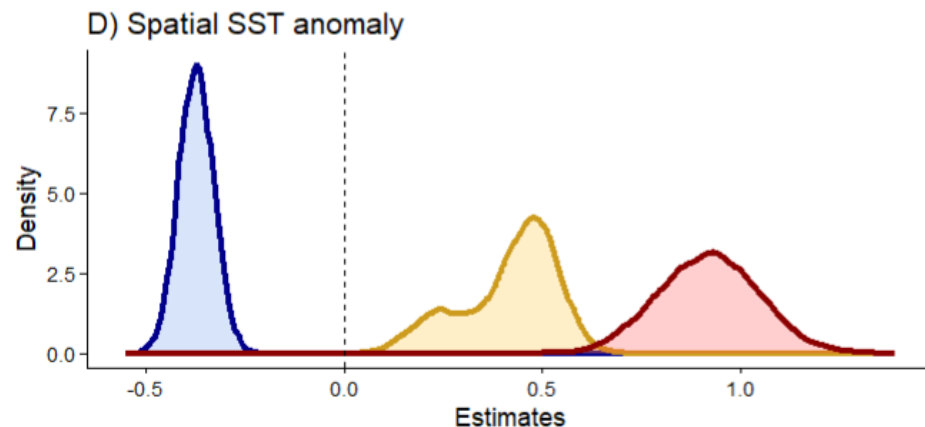
- 88 % (36 espèces) → **pas de déplacement**
- 7 % (3 espèces) → déplacement vers le Nord
- 5 % (2 espèces) → déplacement vers le Sud

• Tendances temporelles et changements de distribution

- 61 % (25 espèces) → **stables**
- 15 % (6 espèces) → augmentation
- 24 % (10 espèces) → diminution

- 88 % (36 espèces) → **pas de déplacement**
- 7 % (3 espèces) → déplacement vers le Nord
- 5 % (2 espèces) → déplacement vers le Sud

• Effets des variables environnementales



→ classes d'affinités validées

Affinity ■ Cold ■ Warm ■ Tropical

Réchauffement des océans :

↗ espèces **tropicales**

↘ espèces **froides**

- **Avancée importante** = estimation de tendances pour de nombreuses espèces ne faisant l'objet d'aucun suivi à terre (**26 des espèces**)

- **Avancée importante** = estimation de tendances pour de nombreuses espèces ne faisant l'objet d'aucun suivi à terre (**26 des espèces**)
- **Absence de corrélations résiduelles** entre espèces
→ Assemblages **déterminés par les conditions océanographiques**, et non par des interactions interspécifiques

- **Avancée importante** = estimation de tendances pour de nombreuses espèces ne faisant l'objet d'aucun suivi à terre (**26 des espèces**)
- **Absence de corrélations résiduelles** entre espèces
→ Assemblages **déterminés par les conditions océanographiques**, et non par des interactions interspécifiques
- **Tendance en mer stable** pour la majorité des espèces

- **Avancée importante** = estimation de tendances pour de nombreuses espèces ne faisant l'objet d'aucun suivi à terre (**26 des espèces**)
- **Absence de corrélations résiduelles** entre espèces
→ Assemblages **déterminés par les conditions océanographiques**, et non par des interactions interspécifiques
- **Tendance en mer stable** pour la majorité des espèces
- **Variations de la SST** : effet bottom-up → impactent distributions des proies et donc indirectement oiseaux notamment espèces « froides »

Remerciements

- Christophe Barbraud, Karine Delord, Matthieu Authier, Anne-Sophie Bonnet-Lebrun
- Stéphane Robin
- Toutes les personnes ayant participé à la récolte des données

Merci pour votre attention



Références

- Aebischer, N. J., Coulson, J. C., & Colebrook, J. M. (1990). Parallel long-term trends across four marine trophic levels and weather. *Nature*, 347(6295), 753-755.
- Ainley, D. G., Ribic, C. A., & Fraser, W. R. (1994). Ecological Structure among Migrant and Resident Seabirds of the Scotia—Weddell Confluence Region. *Journal of Animal Ecology*, 63(2), 347-364. <https://doi.org/10.2307/5553>
- Alderman, R. L. (2012). The Shy Albatross (Thalassarche cauta). *Population Trends, Environmental and Anthropogenic Drivers, and the Future for Management and Conservation*.
- Auger, M., Morrow, R., Kestenare, E., Sallée, J.-B., & Cowley, R. (2021). Southern Ocean in-situ temperature trends over 25 years emerge from interannual variability. *Nature Communications*, 12(1), 514. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20781-1>
- Barbraud, C., Delord, K., Marteau, C. & Weimerskirch, H. (2006). Evaluation de l'impact des pêcheries sur les populations de pétrels à menton blanc et de pétrels gris aux îles Crozet et Kerguelen. Rapport non publiés.
- Barbraud, C., Joubert, D., & Delord, K. (2023). The demography of the White-headed Petrel at Mayes Island, Kerguelen. *Journal of Ornithology*, 164(4), 901-912. <https://doi.org/10.1007/s10336-023-02079-3>
- Barbraud, C., Rivalan, P., Inchausti, P., Nevoux, M., Rolland, V., & Weimerskirch, H. (2011). Contrasted demographic responses facing future climate change in Southern Ocean seabirds: Seabird demography and climate change. *Journal of Animal Ecology*, 80(1), 89-100. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01752.x>
- Barbraud, C., Rolland, V., Jenouvrier, S., Nevoux, M., Delord, K., & Weimerskirch, H. (2012). Effects of climate change and fisheries bycatch on Southern Ocean seabirds: A review. *Marine Ecology Progress Series*, 454, 285-307. <https://doi.org/10.3354/meps09616>
- Barbraud, C., & Thiebot, J. B. (2009). On the importance of estimating detection probabilities from at-sea surveys of flying seabirds. *Journal of Avian Biology*, 40(6), 584-590.
- Barbraud, C., & Weimerskirch, H. (2003). Climate and density shape population dynamics of a marine top predator. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 270(1529), 2111-2116. <https://doi.org/10.1098/rspb.2003.2488>
- Bost, C. A., Cotté, C., Baillieu, F., Cherel, Y., Charrassin, J. B., Guinet, C., Ainley, D. G., & 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. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.022>
- Bost, C. A., Cotté, C., Terray, P., Barbraud, C., Bon, C., Delord, K., Gimenez, O., Handrich, Y., Naito, Y., Guinet, C., & Weimerskirch, H. (2015). Large-scale climatic anomalies affect marine predator foraging behaviour and demography. *Nature Communications*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms9220>
- Chaigne, A., Delord, K., Mansoux, B., Bost, C. A., Weimerskirch, H., & Barbraud, C. (2024). *Seabird distribution in the Southern Indian Ocean: four decades of at sea surveys* (Doctoral dissertation, Centre d'Etudes Biologiques de Chizé, CNRS UMR 7372, 79360 Villiers en Bois, France).
- Chapman, C. C., Lea, M.-A., Meyer, A., Sallée, J.-B., & Hindell, M. (2020). Defining Southern Ocean fronts and their influence on biological and physical processes in a changing climate. *Nature Climate Change*, 10(3), 209-219. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0705-4>
- Chevillon, L., Tourmetz, J., Dubos, J., Soulaïmana-Mattoir, Y., Hollinger, C., Pinet, P., ... & Le Corre, M. (2022). 25 years of light-induced petrel groundings in Reunion Island: Retrospective analysis and predicted trends. *Global Ecology and Conservation*, 38, e02232.
- Chiquet, J., Cros, M.-J., Mariadassou, M., Peyrard, N., & Robin, S. (2022). Le modèle Poisson log-normal pour l'analyse de distributions jointes d'abondance. In N. Peyrard & O. Gimenez (Eds.), *Approches statistiques pour les variables cachées en écologie*. ISTE Éditions. <https://hal.science/hal-04033421>
- Connan, M., Mayzaud, P., Trouvé, C., Barbraud, C., & Cherel, Y. (2008). Interannual dietary changes and demographic consequences in breeding blue petrels from Kerguelen Islands. *Marine Ecology Progress Series*, 373, 123-135.
- Dasnou, A., Delord, K., Chaigne, A., & Barbraud, C. (2022). Fisheries bycatch mitigation measures as an efficient tool for the conservation of seabird populations. *Journal of Applied Ecology*, 59(7), 1674-1685. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14189>
- Desprez, M., Jenouvrier, S., Barbraud, C., Delord, K., & Weimerskirch, H. (2018). Linking oceanographic conditions, migratory schedules and foraging behaviour during the non-breeding season to reproductive performance in a long-lived seabird. *Functional Ecology*, 32(8), 2040-2053.
- Guinet, C., Chastel, O., Koudil, M., Durbec, J. P., & Jouventin, P. (1998). Effects of warm sea-surface temperature anomalies on the blue petrel at the Kerguelen Islands. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 265(1400), 1001-1006. <https://doi.org/10.1098/rspb.1998.0390>
- Haumann, F. A., Gruber, N., & Münnich, M. (2020). Sea-ice induced Southern Ocean subsurface warming and surface cooling in a warming climate. *AGU Advances*, 1(2), e2019AV000192.
- Hunt, G. L., Mehlum, F., Russell, R. W., Irons, D., Decker, B., & Becker, P. H. (1999). S4. 3: Physical processes, prey abundance, and the foraging ecology of seabirds. In *Proceedings of the 22nd International ornithological congress, Durban*. Johannesburg: BirdLife South Africa.
- Hyrenbach, K. D., Veit, R. R., Weimerskirch, H., Metz, N., & Hunt, G. L. (2007). Community structure across a large-scale ocean productivity gradient: Marine bird assemblages of the Southern Indian Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 54(7), 1129-1145. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2007.05.002>
- Inchausti, P., Guinet, C., Koudil, M., Durbec, J.-P., Barbraud, C., Weimerskirch, H., Cherel, Y., & Jouventin, P. (2003). Inter-annual variability in the breeding performance of seabirds in relation to oceanographic anomalies that affect the Crozet and the Kerguelen sectors of the Southern Ocean. *Journal of Avian Biology*, 34(2), 170-176. <https://doi.org/10.1034/j.1600-048X.2003.03031.x>
- Jaquet, S., Ternon, J. F., Kaehler, S., Thiebot, J. B., Dyer, B., Bemanaja, E., Marteau, C., & Le Corre, M. (2014). Contrasted structuring effects of mesoscale features on the seabird community in the Mozambique Channel. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 200-211. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2013.10.027>
- Krüger, L., Ramos, J. A., Xavier, J. C., Grémillet, D., González-Solís, J., Petry, M. V., Phillips, R. A., Wanless, R. M., & Paiva, V. H. (2018). Projected distributions of Southern Ocean albatrosses, petrels and fisheries as a consequence of climatic change. *Ecography*, 41(1), 195-208. <https://doi.org/10.1111/ecog.02590>
- Lovenduski, N. S., & Gruber, N. (2005). Impact of the Southern Annular Mode on Southern Ocean circulation and biology. *Geophysical Research Letters*, 32(11). <https://doi.org/10.1029/2005GL024272>
- Makhado, A. B., Dakwa, F. E., Ryan, P. G., Masotla, M. J., Dyer, B. M., Seakamela, S. M., ... & Reisinger, R. R. (2025). Seabird assemblages, abundance, and distribution in the African sector of the southern Indian Ocean. *CCAMLR Science*, 25, 73-98.
- Orgeret, F., Thiebaut, A., Kovacs, K. M., Lydersen, C., Hindell, M. A., Thompson, S. A., Sydeman, W. J., & Pistorius, P. A. (2022). Climate change impacts on seabirds and marine mammals: The importance of study duration, thermal tolerance and generation time. *Ecology Letters*, 23(1), 218-239. <https://doi.org/10.1111/ele.13920>
- Péron, C., Authier, M., Barbraud, C., Delord, K., Besson, D., & Weimerskirch, H. (2010). Interdecadal changes in at-sea distribution and abundance of subantarctic seabirds along a latitudinal gradient in the Southern Indian Ocean. *Global Change Biology*, 16(7), 1895-1909. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02169.x>
- Rolland, V., Weimerskirch, H., & Barbraud, C. (2010). Relative influence of fisheries and climate on the demography of four albatross species. *Global Change Biology*, 16(7), 1910-1922. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.02070.x>
- Schoombie, S., Crawford, R., Makhado, A., Dyer, B., & Ryan, P. (2016). Recent population trends of sooty and light-mantled albatrosses breeding on Marion Island. *African Journal of Marine Science*, 38(1), 119-127. <https://doi.org/10.2989/18144232X.2016.1162750>
- Shi, J.-R., Talley, L. D., Xie, S.-P., Peng, Q., & Liu, W. (2021). Ocean warming and accelerating Southern Ocean zonal flow. *Nature Climate Change*, 11(12), 1090-1097. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01212-5>
- Stahl, J. C., Bartle, J. A., Jouventin, P., Roux, J. P., & Weimerskirch, H. (1996). Atlas of seabird distribution in the south-west Indian Ocean. *Mar Ornithol.*
- Strass, V. H., Naveira Garabato, A. C., Pollard, R. T., Fischer, H. I., Hense, I., Allen, J. T., Read, J. F., Leach, H., & 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. [https://doi.org/10.1016/S0967-0635\(02\)00109-1](https://doi.org/10.1016/S0967-0635(02)00109-1)
- Tasker, M. L., Jones, P. H., Dixon, T., & Blake, B. F. (1984). Counting Seabirds at Sea from Ships: A Review of Methods Employed and a Suggestion for a Standardized Approach. *The Auk*, 101(3), 567-577. <https://doi.org/10.1093/auk/101.3.567>
- Tuck, G. N., Polacheck, T., Croxall, J. P., & Weimerskirch, H. (2001). Modelling the impact of fishery by-catches on albatross populations. *Journal of Applied Ecology*, 38(6), 1182-1196.
- Ventura, F., Lukacs, P. M., Granadeiro, J. P., Matano, R., & Catry, P. (2021). Demographic responses to environmental change of the black-browed albatross, sentinel of the Patagonian Shelf Large Marine Ecosystem. *Marine Ecology Progress Series*, 668, 107-120. <https://doi.org/10.3354/meps13743>
- Weimerskirch, H., Brothers, N., & Jouventin, P. (1997). Population dynamics of wandering albatross *Diomedea exulans* and Amsterdam albatross *D. amsterdamensis* in the Indian Ocean and their relationships with long-line fisheries: conservation implications. *Biological conservation*, 79(2-3), 257-270.
- Weimerskirch, H., Louzao, M., De Grissac, S., & Delord, K. (2012). Changes in Wind Pattern Alter Albatross Distribution and Life-History Traits. *Science*, 333(6065), 211-214. <https://doi.org/10.1126/science.1210270>
- Weimerskirch, H., Delord, K., Barbraud, C., Le Bouard, F., Ryan, P. G., Fretwell, P., & Marteau, C. (2018). Status and trends of albatrosses in the French Southern Territories, Western Indian Ocean. *Polar Biology*, 41(10), 1963-1972. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2335-0>

PhD

Behavioural and physiological differences between immigrant and resident seabirds

Supervisors : Christophe Barbraud and Frédéric Angelier

CONTEXT

ANR ECOMIGR → The ecology of migrants : from physiology to fitness

- Natal dispersal (movement between the site of birth and the first breeding site) is ubiquitous among animal populations

CONTEXT

ANR ECOMIGR → The ecology of migrants : from physiology to fitness

- Natal dispersal (movement between the site of birth and the first breeding site) is ubiquitous among animal populations
- Dispersal = driver of ecological and evolutionary patterns

CONTEXT

ANR ECOMIGR → The ecology of migrants : from physiology to fitness

- Natal dispersal (movement between the site of birth and the first breeding site) is ubiquitous among animal populations
- Dispersal = driver of ecological and evolutionary patterns

GENE FLOW

CONNECTIVITY

AVOID INBREEDING

CONTEXT

ANR ECOMIGR → The ecology of migrants : from physiology to fitness

- Natal dispersal (movement between the site of birth and the first breeding site) is ubiquitous among animal populations
- Dispersal = driver of ecological and evolutionary patterns

GENE FLOW

CONNECTIVITY

AVOID INBREEDING

- ▶ **Dispersal has costs → information on fitness costs is lacking AND mechanistic processes underlying these costs remain almost entirely unknown**

CONTEXT

ANR ECOMIGR → The ecology of migrants : from physiology to fitness

- Natal dispersal (movement between the site of birth and the first breeding site) is ubiquitous among animal populations
- Dispersal = driver of ecological and evolutionary patterns

GENE FLOW

CONNECTIVITY

AVOID INBREEDING

- ▶ **Dispersal has costs → information on fitness costs is lacking AND mechanistic processes underlying these costs remain almost entirely unknown**

ECOMIGR = comprehensive study of the demographic, behavioural and physiological mechanisms through which fitness of immigrants and residents differ

Behavioural and physiological differences between immigrant and resident seabirds

1

Foraging



Biologging
(GPS)



Stable isotope
(carbon, azote)

+ mass gain

Behavioural and physiological differences between immigrant and resident seabirds

1

Foraging



Biologging
(GPS)



Stable isotope
(carbon, azote)

+ mass gain

2

Winter habitat



Biologging
(GLS)

Behavioural and physiological differences between immigrant and resident seabirds

1

Foraging



Biologging
(GPS)



Stable isotope
(carbon, azote)

+ mass gain

2

Winter habitat



Biologging
(GLS)

3

Physiology and phenotype



Biometry



Telomeres

Behavioural and physiological differences between immigrant and resident seabirds

1

Foraging



Biologging
(GPS)



Stable isotope
(carbon, azote)

+ mass gain

2

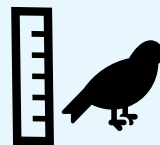
Winter habitat



Biologging
(GLS)

3

Physiology and phenotype



Biometry



Telomeres

4

Reproductive performances



Egg size,
phenology



Chick
growth