

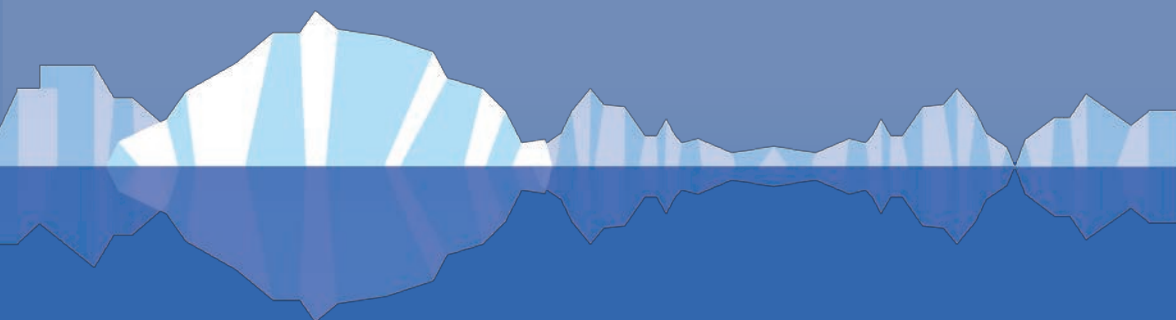


1990-2015

MISSIONS ECOPOLARIS :

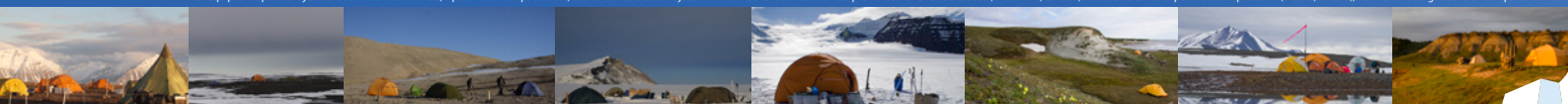
Un quart de siècle d'exploration
naturaliste dans l'Arctique

Synthèse des résultats scientifiques



25

ans de recherches
publications scientifiques





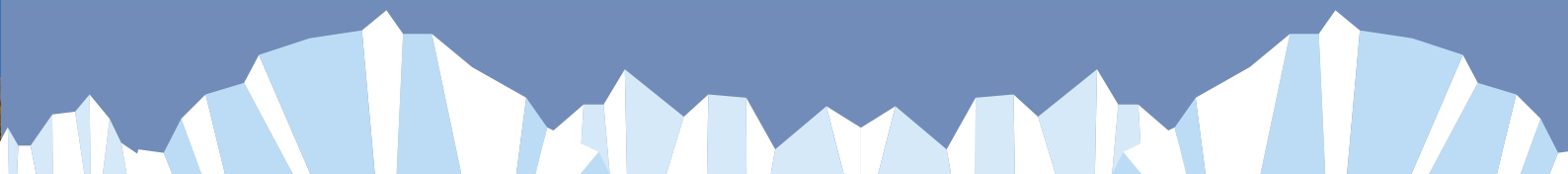
La biodiversité arctique, un enjeu planétaire.

Plus de 21 000 espèces peuplent les terres et les mers de l'Arctique. Longtemps épargnés par l'activité humaine, mammifères, oiseaux, poissons, invertébrés, plantes et champignons doivent aujourd'hui faire face à de profondes mutations : augmentation de la population, développement des moyens de transport, des technologies de chasse et de pêche, exploration et exploitation des ressources souterraines, propagation de contaminants.

Par ailleurs, le changement climatique qui s'opère à une vitesse fulgurante sous ces hautes latitudes, remet sérieusement en question la survie des nombreuses espèces adaptées au froid polaire depuis des millénaires. Véritable poste avancé, l'Arctique est le révélateur des dérèglements de la machine climatique planétaire, dont il est aussi un formidable amplificateur.

Les missions Ecopolaris poursuivent leur rôle de pionnier en matière d'écologie arctique.

Après 25 ans d'expéditions et d'étude des écosystèmes de l'Arctique, les travaux des missions ECOPOLARIS dirigées par Olivier GILG et Brigitte SABARD sont devenus incontournables au sein de la sphère scientifique internationale. Partant de « simples » travaux naturalistes descriptifs (inventaires et comptages) et bénévoles, nous avons pu, à force de persévérance et d'ingéniosité méthodologique, obtenir des séries de données uniques (car récoltées dans des écosystèmes simplifiés, dans des régions peu accessibles, et sur le long terme) que bien des instituts de recherche gouvernementaux nous envient aujourd'hui. Mis bout à bout, nos inventaires et cartographies successifs, travaux naturalistes par excellence, servent de fondations à d'autres études scientifiques : écologiques, géographiques, climatologiques, ethnologiques...



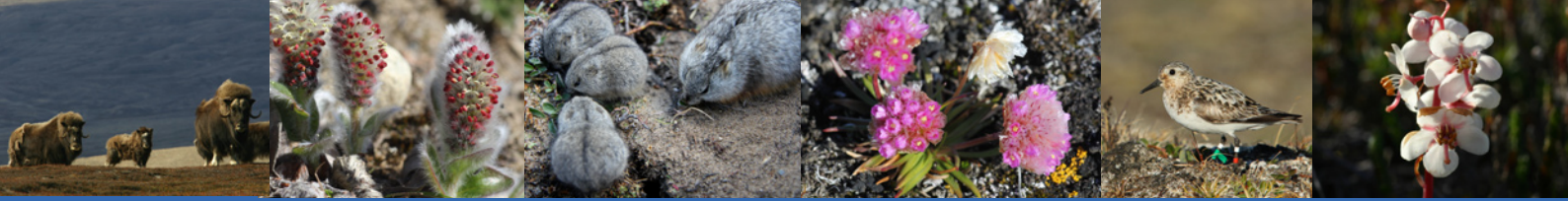


Nos propres observations sur le régime des glaces, l'enneigement, la dynamique et la répartition des populations de certaines espèces, semblent indiquer des bouleversements plus rapides encore que ceux prévus par les modèles les plus pessimistes. Nos modèles indiquent que ces changements pourraient bien être les premiers signes écologiques tangibles du réchauffement climatique actuel. Brutal et profond, il modifie le fonctionnement naturel millénaire de ces écosystèmes. Si les satellites permettent aujourd'hui de suivre avec précision l'évolution de notre climat, seules des observations de terrain complémentaires préciseront l'impact de cette évolution.

Les contributions d'Ecopolaris aux connaissances en écologie arctique

Les travaux d'Ecopolaris sont l'œuvre de près de 60 naturalistes et scientifiques qui, depuis 25 ans, ont sillonné toutes les terres arctiques. Toujours accompagnés de relevés et d'inventaires naturalistes, ils font l'objet de rapports annuels transmis notamment aux autorités administratives et scientifiques des régions visitées. La qualité croissante de nos résultats (publiés dans des revues scientifiques internationales) nous assure aujourd'hui une reconnaissance internationale dont témoignent les nombreuses collaborations engagées avec divers instituts scientifiques et polaires. L'Arctique étant une région aussi vaste et intéressante que menacée et peu connue, nul doute que l'avenir nous permettra de conserver cette place originale et de poursuivre des activités scientifiques de qualité dans le même esprit d'équipe et de respect de l'environnement que par le passé.

Les objectifs des missions Ecopolaris se cristallisent depuis 1990 autour de 3 grandes thématiques : l'étude des interactions prédateurs-proies (notamment les cycles des lemmings), la distribution et les migrations des oiseaux marins, l'exploration naturaliste des régions (ou thématiques...) les moins bien connues de l'Arctique.



Impacts des changements climatiques sur les écosystèmes arctiques

Grandes questions et axes de recherche

RELATIONS PRÉDATEURS-PROIES

OISEAUX MARINS

INVENTAIRES NATURALISTES





Impacts des changements climatiq

RELATIONS PRÉDATEURS-PROIES

Comment les changements de dynamique d'une espèce impactent-ils en cascade la dynamique des autres espèces ?

- Étude de la dynamique cyclique des lemmings et des interactions avec leurs principaux prédateurs (chouette harfang, renard polaire, labbe, hermine).
- Modélisation du rôle respectif de chaque espèce sur la dynamique des autres.
- Impacts indirects des fluctuations de lemmings sur les oiseaux (la raréfaction des lemmings oblige leurs prédateurs à se rabattre sur les limicoles, oies et autres oiseaux).
- Évaluation des capacités d'adaptation des écosystèmes terrestres à un environnement variable et production de scénario d'évolution pour l'avenir.



Nos résultats en bref

La découverte des facteurs qui expliquent les fluctuations cycliques des lemmings a été une contribution scientifique majeure des missions Ecopolaris du GREA. En adaptant leurs effectifs et leurs régimes alimentaires aux densités de lemmings, les prédateurs, et notamment l'hermine, sont à l'origine de ces cycles connus depuis plusieurs siècles mais que nous n'avons élucidés qu'en 2003 [1, 2].

Depuis les années 2000, ces cycles de 4 ans se sont malheureusement estompés, perturbés par les conditions d'enneigement, au point qu'ils menacent aujourd'hui la survie à long terme de certains prédateurs [3, 4]. Les impacts de ces changements climatiques en cours touchent bien d'autres espèces et menacent aujourd'hui l'ensemble des écosystèmes arctiques [5, 6]. Les bécasseaux, proies alternatives des renards lorsque les lemmings se font rares, pourraient eux aussi disparaître d'une grande partie de leurs territoires si les cycles de lemming disparaissaient [7]. Autres travaux des missions Ecopolaris-GREA sur cette thématique : le déclin estival des lemmings [8], le rôle de la maturation différée des lemmings dans la périodicité des cycles prédateurs-proies [9].



OISEAUX MARINS

Comment les oiseaux marins, qui répondent très rapidement aux changements de leur environnement, nous informent-ils sur l'état de santé des écosystèmes marins arctiques ?

- Suivi à long terme des populations d'oiseaux marins du Nord-Est du Groenland et du Spitzberg (comptages réguliers des colonies connues, cartographie des nouvelles colonies, surveillance de l'arrivée de nouvelles espèces colonisant l'Arctique).
- Etude de l'écologie de la mouette ivoire, espèce menacée de disparition par la réduction de la banquise.
- Description des voies de migration et zones d'hivernage des labbes et phalaropes, espèces arctiques hivernant dans l'hémisphère Sud.



Nos résultats en bref

Du fait de leur diversité et de leur grande mobilité, les oiseaux marins sont présents sur toutes les mers polaires [10]. Deux d'entre eux, le labbe à longue queue et la mouette ivoire, nous intéressent plus particulièrement.

Le labbe à longue queue, grand prédateur de lemmings en été, repart chaque automne en direction des côtes sud-africaines où il hiverne [11-13]. Seule une partie de la population adulte de cette espèce semble occuper des territoires en été [14] et les nids ne contiennent habituellement qu'un ou deux œufs, selon la densité de lemmings [15].

Contrairement aux labbes, la mouette ivoire niche en colonies, sur les terres (ou à même la banquise ! [16]) les plus septentrionales de l'Arctique [17]. A ces latitudes, les conditions climatiques extrêmes peuvent détruire en quelques heures l'ensemble des nids d'une colonie [18].

Très spécialisée, l'espèce ne quitte presque jamais la proximité de la banquise mais entreprend néanmoins des migrations importantes que nous avons pu étudier grâce à de petites balises satellites [19]. Nos travaux génétiques ont également confirmé le caractère uniforme (c'est-à-dire pas de sous-espèces différenciées) des différentes populations circumpolaires [20, 21].

Impacts des changements climatiques sur les écosystèmes arctiques

INVENTAIRES NATURALISTES

Comment les communautés animales et végétales, la densité des espèces qui les composent, et leurs répartitions géographiques respectives, évoluent-elles dans le temps ?

- Inventaires systématiques de la faune (oiseaux/mammifères) et de la flore (plantes vasculaires).
- Suivi des changements dans le temps et l'espace (« monitoring ») ou inventaires initiaux dans les zones encore inexplorées (notamment en Sibérie).
- Analyses génétiques pour évaluer ces changements sur le long terme (depuis 10.000 ans ou plus).

Naturalistes avant tout, tout ce qui court, vole ou trotte est minutieusement consigné dans nos carnets. Dans les régions les moins bien connues, ces observations empiriques peuvent constituer l'objectif principale de nos missions et résulter en des publications de synthèses [22].

Même opportunistes, ces observations n'en sont pas moins intéressantes. Elle nous ont par exemple permis de déceler l'augmentation récente des observations de la rare baleine du Groenland [23].

Et lorsqu'elles sont disponibles sur le long terme, elles nous permettent parfois même de mettre en évidence d'intéressantes découvertes sur les interactions entre espèces et fonctionnement des écosystèmes de la toundra [24].

Enfin, les nombreux échantillons botaniques prélevés lors de nos expéditions sont utilisés par différentes équipes de recherche européennes avec qui nous collaborons. L'analyse génétique de ces échantillons précieux a par exemple permis de mieux comprendre la dispersion et l'évolution de la flore arctique depuis la dernière glaciation [25].

25



publications scientifiques issues des

MISSIONS ECOPOLARIS



25 publications scientifiques iss

Dynamique cyclique dans une communauté de prédateurs-proie vertébrés simplifiée. *Science, 2003*



1

Réponses fonctionnelles et numériques de quatre prédateurs de lemmings dans le haut-Arctique du Groenland. *Oikos, 2006*



2

Changements climatiques et dynamiques cycliques des populations de prédateurs et de proies dans le Haut-Arctique. *Global Change Biology, 2009*



3

Réponse d'une guildes de prédateurs arctiques à l'effondrement des cycles de lemmings. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2012*



4

Dynamiques écologiques dans l'Arctique en lien avec les changements climatiques récents. *Science, 2009*



5

Changements climatiques et écologie et évolution des vertébrés arctiques. *Annals of the New York Academy of Science, 2012*



6

Expliquer la migration des oiseaux. *Science, 2010*



7

Le déclin estival du lemming à collier dans le Haut-Arctique du Groenland. *Oikos, 2002*



8

Rôles du délai de maturation et des réponses fonctionnelles des prédateurs dans le déterminisme de la périodicité des cycles de prédateurs-proies. *Mathematical Biosciences, 2009*



9

Prédiction de la distribution de 27 espèces d'oiseaux marins circumpolaires à partir de données environnementales publiques, réalisé à partir de données de colonies publiques : une première plateforme de synthèse IPY et GBIF en accès libre pour une gestion durable. *Marine Biodiversity, 2011*



10

Voies de migration trans-équatoriales, sites de gagnage et zones d'hivernage d'un prédateur avien du Haut-Arctique, le labbe à longue queue. *PLoS ONE, 2013*



11

Migration postnuptiale de quatre labbes à longue queue (*Stercorarius longicaudus*) entre le Nord et l'Est du Groenland et l'Afrique de l'Ouest. *Journal of Ornithology, 2011*



12

ues des **MISSIONS ECOPOLARIS**

Voies de migration printanières du labbe à longue queue autour et à travers le Royaume-Uni – résultats d'observations et de suivi télémétrique. *British Birds*, 2014  13

Réponses démographiques d'un prédateur territorial aux fluctuations de ses proies : labbe à longue queue et lemmings arctiques. *Journal of Animal Ecology*, 2014  14

Première observation d'une ponte de quatre œufs chez le labbe à longue queue. *The Wilson Journal of Ornithology*, 2015  15

Mouettes ivoires nichant à même la banquise. *Polar Record*, 2010  16

Statut de la menacée mouette ivoire au Groenland. *Polar Biology*, 2009  17

Échec total de reproduction de la mouette ivoire suite à des précipitations inhabituelles dans le Nord Groenland. *Polar Research*, 2014  18

Mouvements post-nuptiaux des populations de mouette ivoire *Pagophila eburnea* de l'Atlantique Nord-Est. *Journal of Avian Biology*, 2010  19

Description de marqueurs microsatellites et performances de génotypage avec l'utilisation de plumes et de frottis buccaux pour la mouette ivoire. *Molecular Ecology Resources*, 2011  20

Connectivité circumpolaire chez un oiseau marin arctique longévif, la mouette ivoire. *Polar Biology*, 2015  21

Oiseaux et mammifères de la réserve naturelle du Delta de la Léna, Sibérie. *Arctic*, 2000  22

Observations récentes de baleine franche du Groenland au Nord-Est Groenland et dans la Mer du Groenland. *Polar Biology*, 2005  23

Faible abondance des nids d'Eider à tête grise durant les années de faible abondance de lemmings dans le Nord-Est du Groenland. *Arctic*, 2000  24

Cartographie génétique des grandes voies de dispersion des plantes arctiques. *New Phytologist*, 2013  25

Dynamique cyclique dans une communauté de prédateurs-proie simplifiée



Gilg, O., I. Hanski, and B. Sittler, *Cyclic dynamics in a simple vertebrate predator-prey community*. Science, 2003. 302: p. 866-868.

Dans la toundra du Haut-Arctique, le lemming à collier est prédaté par quatre espèces : la chouette harfang, l'hermine, le renard polaire et le labbe à longue queue. Chacune de ces espèces montre des différences marquées quant au nombre de lemmings qu'elles consomment, ainsi qu'à la dépendance de leur dynamique vis-à-vis des densités de lemmings.

Cette étude présente un modèle prédateur-proie principalement basé sur des réponses des prédateurs, qui ont été estimées à partir des données empiriques. Ce modèle prédit une périodicité de quatre ans dans la dynamique des lemmings, ce qui est en accord avec les données empiriques à long terme.

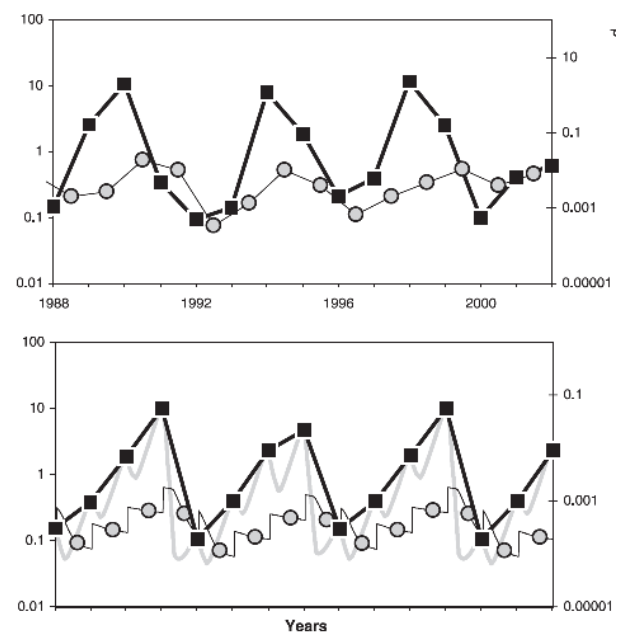
Rien ne semble indiquer sur le terrain que la croissance des populations de lemmings serait limitée par l'espace ou la nourriture disponibles, il n'est donc pas utile d'intégrer ces facteurs dans le modèle. Les dynamiques cycliques sont régies par une réponse numérique de l'hermine avec un délai d'un an, et stabilisées par prédation densité-dépendante par le renard polaire, la chouette harfang et le labbe à longue queue.



Lemming à collier. Photographie : B. Sabard



Les quatre principaux prédateurs du lemming : l'hermine, le renard polaire, la chouette harfang et le labbe à longue queue. Photographies : B. Sabard et O. Gilg



Données empiriques (en haut) et du modèle prédictif (en bas) des lemmings (carrés) et des hermines (ronds). Les points de données pour le lemming correspondent à la fonte de la neige, et pour l'hermine au milieu de l'hiver.

Réponses fonctionnelles et numériques de quatre prédateurs de lemmings dans le Haut-Arctique du Groenland



Gilg, O., B. Sittler, B. Sabard, A. Hurstel, R. Sané, P. Delattre, and I. Hanski. *Functional and numerical responses of four lemming predators in high arctic Greenland*. Oikos, 2006. 113: p. 196-213.

La communauté de prédateurs-proies de la toundra du Haut-Arctique est la plus simplifiée au monde, avec seulement quatre prédateurs qui se nourrissent principalement d'une espèce de rongeur, le lemming à collier.

Cet article documente les réponses fonctionnelles et numériques de ces quatre prédateurs présents dans le nord-est du Groenland que sont la chouette harfang, l'hermine, le labbe à longue queue et le renard polaire. À partir de ces éléments, l'impact de la prédation sur la dynamique des populations de lemmings est évalué sur la base de cycles de quatre ans et des différences de facteur 100 entre les densités minimales et maximales de lemmings.

Toutes les espèces de prédateurs se nourrissent principalement (à plus de 90%) de lemming lorsque leur densité dépasse l'individu à l'hectare, mais la réponse de chacun des prédateurs varie beaucoup. La chouette harfang n'est présente et ne niche que lorsque les densités de lemmings sont supérieures à 2 lemmings par hectare, puis fournit une réponse numérique graduelle : plus les lemmings sont nombreux, plus la nichée sera importante. Le labbe à longue queue adopte une réponse numérique, et s'alimente grâce à des ressources alternatives, principalement des baies et des insectes, avec une proportion de lemmings qui augmente avec leur densité. Le labbe surpasse tous les autres prédateurs en été grâce à sa réponse totale. La réponse fonctionnelle du renard polaire commence à augmenter à des densités de lemmings beaucoup plus basses que celles des prédateurs aviens, mais sa réponse numérique est faible.

Enfin, l'hermine est le prédateur le plus spécialisé et le seul ayant une réponse numérique avec un décalage temporel net.

Selon leurs réponses numériques et fonctionnelles, chaque prédateur joue un rôle clé dans une partie du cycle des lemmings, mais seule l'hermine le conditionne véritablement. La prédation par l'hermine est énormément réduite lors de l'hiver qui précède le pic cyclique des lemmings, et elle atteint son maximum durant l'hiver qui précède la densité d'été la plus basse. Cette prédation par l'hermine semble maintenir des densités basses de lemmings durant au moins deux années successives. Cette étude apporte la preuve empirique de l'hypothèse de cycles de population d'un petit mammifère par un prédateur spécialiste.



Famille de lemming à collier, espèce clef de voute des écosystèmes de toundra dans le Nord-Est du Groenland.

Photographie : B. Sabard

Changements climatiques et dynamiques cycliques des populations de prédateurs et de proies dans le Haut-Arctique

Gilg, O., B. Sittler, and I. Hanski, *Climate change and cyclic predator-prey population dynamics in the high-Arctic*. Global Change Biology, 2009. 15: p. 2634–2652.



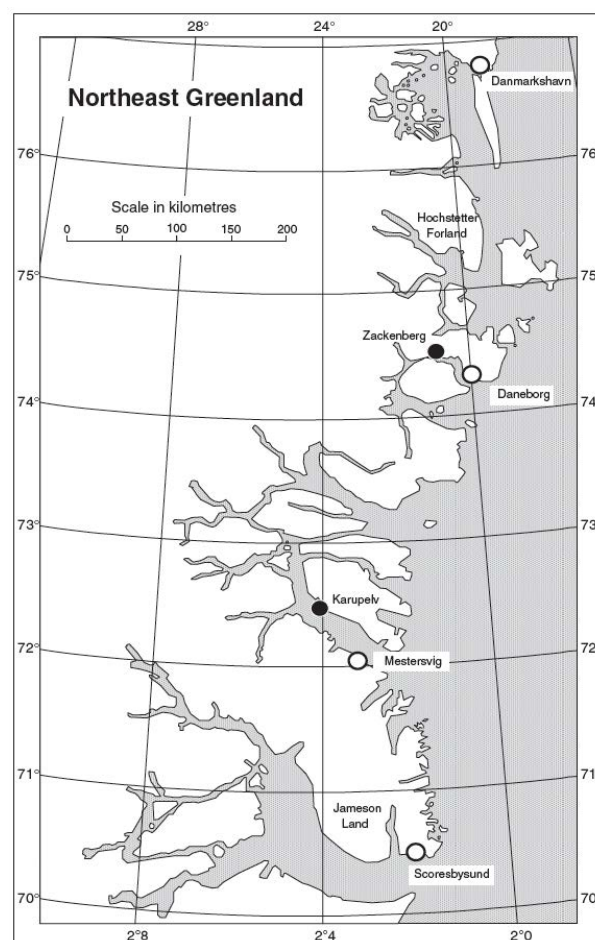
La région du Haut-Arctique abrite la communauté terrestre de prédateurs-proies la plus simple au monde, avec le lemming à collier comme unique rongeur et principale proie pour quatre prédateurs : la chouette harfang, le renard polaire, le labbe à longue queue et l'hermine.

En utilisant une série temporelle de 20 ans de données pour ces cinq espèces et un modèle dynamique précédemment paramétré pour le Nord-Est Groenland, nous avons analysé les conséquences aux niveaux des populations et des communautés, du changement climatique actuel et prévisible. Les réponses des espèces au changement climatique sont complexes car en plus des effets directs, variables selon l'histoire naturelle des espèces, celles-ci sont également affectées indirectement, du fait par exemple des interactions entre proies et prédateurs.

La communauté des lemmings-prédateurs illustre bien ces dynamiques complexes, néanmoins une conclusion robuste émerge de nos modélisations : dans la quasi-totalité des scénarios plausibles simulant la façon dont les changements climatiques risquent d'influencer la démographie de ces espèces, ces changements augmentent la durée des cycles de populations de lemmings et diminuent les densités maximales lors des phases de fortes abondances.

Ce dernier impact est particulièrement néfaste pour les populations de prédateurs, adaptés à utiliser ces années de fortes abondances des proies. Le réchauffement climatique va donc indirectement réduire les densités et le succès de reproduction des

prédateurs, et risque ainsi d'engendrer la disparition locale de certaines de ces espèces. Sur la base de ces résultats, nous pensons que la disparition récente des cycles de lemmings au Groenland de l'Est constitue probablement le premier signe d'un impact très sévère du changement climatique sur la communauté de lemmings-prédateurs au Groenland et ailleurs dans le Haut-Arctique.



Carte du Nord-Est du Groenland (de 70 à 77°N). Les points noirs représentent les deux sites d'étude, et les points blancs les quatre stations météorologiques.

Réponse d'une guildes de prédateurs arctiques à l'effondrement des cycles de lemmings



Schmidt, N.M., R.A. Ims, T.T. Høye, O. Gilg, L.H. Hansen, J. Hansen, M. Lund, E. Fuglei, et al., *Response of an arctic predator guild to collapsing lemming cycles*. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2012. 279(1746): p. 4417-4422.

Alors que le réchauffement dans l'Arctique est beaucoup plus rapide que dans la plupart des autres régions du globe, beaucoup d'espèces ont d'ores et déjà subi des changements d'aire de répartition ou des déclin. Les lemmings, clef-de voûte des écosystèmes de toundra, sont très sensibles aux changements climatiques, notamment parce qu'ils dépendent de la couche de neige sous laquelle ils se reproduisent durant tout l'hiver. Les populations de lemmings sont étudiées depuis plusieurs décennies dans le Nord-Est du Groenland, et sont connues pour leurs fluctuations cycliques de forte amplitude qui avaient lieu sur quatre années.

Le lemming à collier, seul représentant des rongeurs sur ces terres du Haut-Arctique, constitue la proie favorite de quatre prédateurs terrestres : la chouette harfang, l'hermine, le labbe à longue queue et le renard polaire. Chacun d'entre eux est connu pour répondre à sa façon à ces cycles de lemmings, selon leur degré de spécialisation, leur fidélité à un site, leur mobilité, leurs paramètres démographiques, leur compétitivité. Confrontées depuis peu à des hivers plus courts et plus doux, le nouveau millénaire a été le témoin de l'effondrement des populations de lemmings sur la côte Nord-Est du Groenland, tant en ce qui concerne la périodicité des cycles que leur intensité.

Cette étude est basée sur une analyse à long terme (de 1988 à 2010) de cette communauté de vertébrés sur deux sites du Haut-Arctique groenlandais : l'île de Traill et Zackenberg. Son objectif est d'évaluer les répercussions que ces changements des dynamiques de lemmings peuvent avoir sur celle de sa guildes de prédateurs.

Il s'avère que deux de ces prédateurs très spécialisés subissent des changements drastiques : la chouette harfang, qui a quasiment arrêté de nicher sur ces sites et dont le nombre de jeunes à l'envol a chuté de 98%, et l'hermine, dont les populations ont connu un déclin sévère. Le labbe à longue queue et le renard polaire, qui sont moins spécialisés, voire généraliste pour le renard, ont une dynamique qui est moins dépendante de celle des lemmings. Malgré tout, leur succès reproducteur en a été affecté.

La réponse de tous ces prédateurs varie quelque peu selon les sites. Ceci peut s'expliquer par une dynamique de lemmings qui serait propre à chaque site, par des interactions intra-guildes ou par l'existence d'autres ressources.

Dans tous les cas, si ces modifications des cycles de lemmings se maintiennent avec ces densités faibles et sans véritable cycle, la guildes de ces prédateurs endémiques de l'Arctique risque d'être restructurée, voire de connaître des épisodes d'extinction de populations.



Chouette harfang. Les années où les densités de lemmings sont trop faibles, la réussite des couples nicheurs est très faible, voire nulle. Photographie : J. Lang

Dynamiques écologiques dans l'Arctique en lien avec les changements climatiques récents

Post, E., M.C. Forchhammer, S. Bret-Harte, T.V. Callaghan, T.R. Christensen, B. Elberling, A.D. Fox, O. Gilg, et al., *Ecological Dynamics Across the Arctic Associated with Recent Climate Change*. Science, 2009. 325(5946): p. 1355-1358.

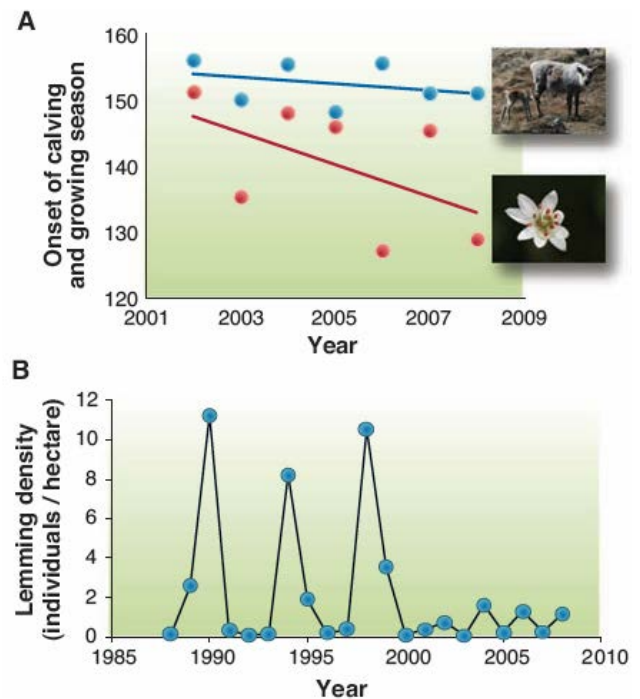
A la fin de la quatrième année polaire internationale, nous dressons l'état des conséquences écologiques des changements climatiques récents observés dans l'Arctique, en mettant l'accent sur les impacts observés au niveau des populations, communautés et écosystèmes.

Malgré l'effet tampon lié à l'hétérogénéité du paysage, les écosystèmes arctiques et les relations trophiques qui les structurent ont été sévèrement perturbés. Ces changements rapides sont vraisemblablement les signes annonciateurs de changements qui interviendront également à des latitudes plus méridionales. Ils ont le potentiel d'affecter les services écosystémiques liés aux ressources naturelles, la production de nourriture, la régulation du climat et l'intégrité culturelle.

Nous mettons l'accent sur les volets de la recherche écologique qui méritent d'être traités en priorité alors que l'Arctique continue à se réchauffer.



Groenland. Photographie : B. Sabard



Réponses complexes au changement climatique dans l'Arctique susceptibles d'avoir des conséquences plus larges sur les communautés et les écosystèmes.

(A) Développement d'une inadéquation trophique entre le moment de vêlage du caribou (bleu), qui n'a pas changé, et le moment de croissance des plantes (rouge), qui avance avec le réchauffement au Groenland.

(B) L'effondrement observé récemment dans les cycles de populations de petits rongeurs, présentés ici pour les lemmings dans le Nord-est du Groenland, à la suite d'une diminution de la couverture de neige dans l'Arctique.

Changements climatiques et écologie et évolution des vertébrés arctiques



Gilg, O., K.M. Kovacs, J. Aars, J. Fort, G. Gauthier, D. Gremillet, R.A. Ims, H. Møltofte, et al., *Climate change and the ecology and evolution of Arctic vertebrates*. Annals of the New York Academy of Sciences, 2012. 1249: p. 166-190.

Le changement climatique s'exprime plus rapidement et plus sévèrement dans l'Arctique que partout ailleurs dans le monde, ce qui expose les vertébrés arctiques à un grand nombre d'impacts. Les changements dans la cryosphère dominent les changements physiques qui affectent déjà ces animaux, mais les températures croissantes de l'air, les changements dans les précipitations et l'acidification des océans affecteront également les écosystèmes arctiques dans le futur. L'adaptation des espèces par la sélection naturelle est problématique dans un tel environnement en mutation rapide.

Les ajustements de ces espèces par le biais de leur plasticité phénotypique vont donc dominer les réponses des vertébrés arctiques à court terme.

De nombreux ajustements de ce type ont déjà été documentés. Des changements de phénologie et des limites d'aires de distribution vont se produire pour la plupart des espèces mais ne pourront que partiellement moduler les impacts des changements climatiques, impacts particulièrement difficiles à prédire du fait des nombreuses interactions à prendre en compte au sein et entre les différents niveaux trophiques.

Bien que la richesse des espèces vivant dans l'Arctique soit en augmentation du fait de l'immigration d'espèces venant du sud, de nombreux vertébrés endémiques de l'Arctique vont être de plus en plus menacés au cours de ce siècle.



Côte Nord-Est du Groenland. Photographie : B. Sabard

Expliquer la migration des oiseaux

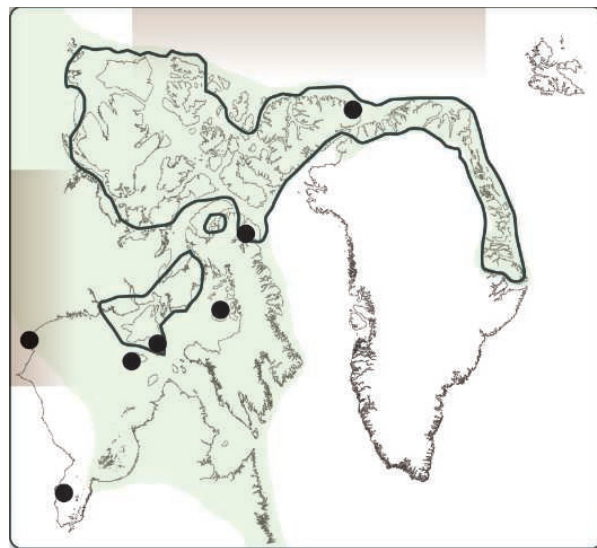
Gilg, O. and N.G. Yoccoz, *Explaining bird migration*. Science, 2010. 327: p. 276-277.

Les limicoles arctiques (bécasseaux, pluviers, grands gravelots, tournepierres, etc.), dont de nombreuses espèces migrent à travers la France, peuvent parcourir plusieurs dizaines de milliers de kilomètres chaque année le long de voies de migrations intercontinentales connectant leurs zones d'hivernage méridionales et leurs zones de reproduction polaires.

De nombreuses études ont expliqué par le passé comment ces oiseaux surmontaient les problèmes physiologiques et d'orientation liés à de telles migrations, mais les véritables raisons qui les incitent à migrer restaient pour l'instant obscures. Une étude récente menée dans l'Arctique canadien sur un transect latitudinal de près de 3 000 km vient de mettre en évidence une corrélation négative entre la latitude et le taux de prédation des nids dans la toundra : plus ces limicoles nichent au nord, moins ils risquent de voir leurs nids prédatés. Pour ces oiseaux, le coût élevé d'une longue migration (besoins énergétiques et risques de mortalité accrus) semble ainsi être compensé par un taux de reproduction plus élevé dans le Nord.

Si la pression de prédation est bien le facteur déterminant de la migration de certains oiseaux de l'Arctique, elle façonnerait donc aussi indirectement la biodiversité des écosystèmes terrestres de cette région. Cette hypothèse, négligée jusqu'à présent par les biogéographes, est confortée par l'étude comparée des aires de distribution d'autres espèces arctiques. La répartition des lemmings arctiques, rongeurs formant habituellement l'essentiel des

proies des prédateurs terrestres, est exemplaire à cet égard. Au Svalbard et dans le Sud et l'Ouest du Groenland par exemple, les lemmings sont absents et la forte pression de prédation exercée sur les oiseaux, notamment par le renard polaire, ne permet qu'aux espèces les moins sensibles à la prédation (grand gravelot et bécasseau violet par ex.) de se reproduire. Au contraire, dans le Nord du Canada, le Nord et l'Est du Groenland, la présence des lemmings engendre une réduction de la pression de prédation sur les oiseaux, permettant également la nidification d'espèces apparemment plus sensibles aux prédateurs (bécasseaux sanderling et maubèche par ex.)



La répartition du lemming à collier (en vert) et du bécasseau sanderling (traits noir) dans l'Arctique canadien, au Groenland et au Svalbard, est l'un des exemples qui conforte l'hypothèse présentée dans cet article. Le bécasseau sanderling serait une espèce particulièrement sensible à la prédation.

Le déclin estival du lemming à collier dans le Haut-Arctique du Groenland



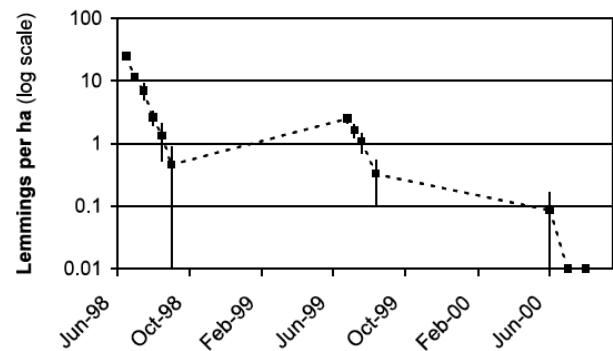
Gilg, O., *The summer decline of the collared lemming (Dicrostonyx groenlandicus) in high arctic Greenland*. Oikos, 2002. 99(3): p. 499-510.

Cet article présente l'étude de la structure et de la dynamique des populations de lemming à collier (*Dicrostonyx groenlandicus* Traill) sur l'île de Traill, au Nord-Est du Groenland, de 1998 à 2000. Il s'agit de la première étude détaillée d'une population de lemming à collier groenlandaise. Durant la période d'investigation, la densité de population a diminué de façon continue (d'un facteur de plus de 100), allant de plus de 10 individus par hectare (année de pic en 1998) à moins de 0,1 individu par hectare (année de creux en 2000), avec l'exception d'une période d'augmentation durant l'hiver 1998-1999.

De nombreux paramètres populationnels ont pu être corrélés avec ces changements de densités. Le poids moyen était plus élevé durant l'année du pic que durant l'année intermédiaire (1999), et également plus grande en août qu'en juillet ces deux années.

Les taux de croissance étaient seulement positifs en 1998, et concernaient uniquement les jeunes lemmings. De façon inattendue, le territoire des femelles était plus grand que celui des mâles, et celles-ci étaient plus mobiles durant la phase de déclin (1999).

Un recrutement faible et des taux de prédation élevés (jusqu'à 3,4% par jour pour les femelles en 1998) étaient les causes directes proximales des déclinés observés en été dans la zone d'étude. Un calcul simple montre que même avec un accroissement maximal, cette population de lemming n'aurait pas été en mesure de compenser le taux de prédation élevé, et a été inévitablement confrontée à un déclin induit par la prédation durant cette partie du cycle étudiée.



Densités de lemmings à collier sur l'île de Traill durant les étés de 1998 à 2000.



Suivi télémétrique de lemming. Photographie : E. Buchel

Rôles du délai de maturation et des réponses fonctionnelles des prédateurs dans le déterminisme de la périodicité des cycles de prédateurs-proies

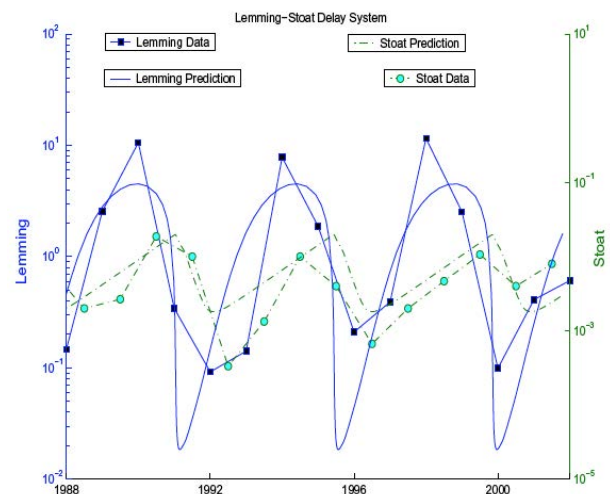


Wang, H., J.D. Nagy, O. Gilg, and Y. Kuang, *The roles of predator maturation delay and functional response in determining the periodicity of predator-prey cycles*. Mathematical Biosciences, 2009. 221: p. 1-10.

Les cycles de populations des petits mammifères ont captivé l'attention de générations de biologistes théoriciens et expérimentaux et continuent à alimenter la controverse. La régulation par le haut (« top-down » ; prédation) ou par le bas (« bottom-up » ; végétation) sont deux hypothèses concurrentes. Le principal objectif de cet article est d'explorer les contributions relatives d'une variété de facteurs écologiques aux cycles de populations de prédateurs-proies. Nous suggérons que pour certaines espèces - lemming à collier, lièvre à raquette et élan en particulier - le délai de maturation des prédateurs et leurs réponses fonctionnelles semblent être les facteurs déterminants. Notre étude suggère que le délai de maturation est à lui seul capable de déterminer la période des cycles, alors que la réponse fonctionnelle affecte grandement l'amplitude voire l'existence même des cycles. Ces résultats sont le fruit d'analyses de sensibilité de tous les paramètres d'un modèle mathématique du système différé lemming-hermine, une extension du modèle de Gilg.

Notre résultat pourrait également expliquer pourquoi les lemmings ont un cycle de 4 ans contrairement à celui des lièvres à raquettes qui est de 10 ans. Notre modèle paramétrique supporte et élargit la vision de May qui affirmait que le retard temporel impactait la durée et l'amplitude des cycles.

De plus, si les périodes de maturation des prédateurs sont trop courtes ou trop longues, ou si la réponse fonctionnelle ressemble au type I de Holling, alors les cycles de population n'apparaissent pas. Néanmoins, des périodes de maturation intermédiaires et favorables pour les prédateurs, et des réponses fonctionnelles favorables, peuvent générer des cycles de populations à la fois pour les proies et pour les prédateurs. Ces résultats semblent expliquer pourquoi certaines populations sont cycliques alors que d'autres ne le sont pas. Finalement, nous avons trouvé des combinaisons de paramètres pour notre modèle qui génèrent des cycles de 38 ans, une période qui concorde avec les estimations des cycles pour les interactions élan-loup sur l'île Royale dans le Michigan.



Dynamique des lemmings et des hermines prédite par le modèle en comparaison des données empiriques (points).

Prédiction de la distribution de 27 espèces d'oiseaux marins circumpolaires à partir de données environnementales publiques, réalisé à partir de données de colonies publiques : une première plateforme de synthèse IPY et GBIF en accès libre pour une gestion durable



10

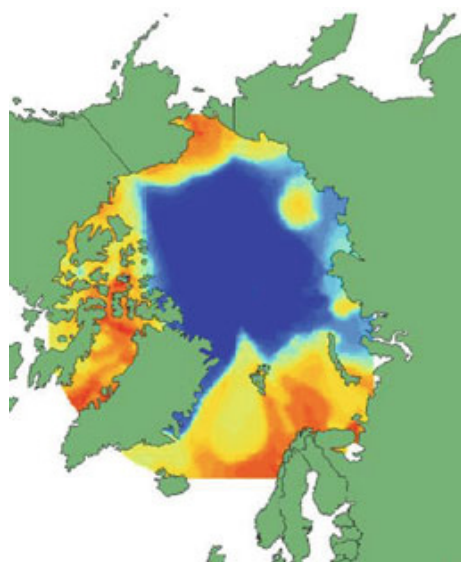


Huettmann, F., Y. Arthukin, O. Gilg, and G. Humphries, *Predictions of 27 circumpolar pelagic seabird distributions using public environmental variables, assessed with compiled public colony data: A first IPY and GBIF Open Access synthesis platform for a sustainable management*. Marine Biodiversity, 2011. 41(1): p. 141-179.

Les écosystèmes marins de l'Arctique ont encore été peu décrits, et des données de première importance manquent encore. Cet article présente la première compilation de données, quantification et synthèse de la répartition de 27 espèces d'oiseaux marins à travers l'Arctique (au-delà de 66°N) durant l'été.

Basé sur une exploration de données (« Data mining »), un apprentissage automatique (algorithme Random Forest), et l'utilisation de 26 couches environnementales cartographiques accessibles au public, 27 modèles prédictifs ont été construits (un pour chaque espèce d'oiseau marin). Les données qui ont été utilisées sont issues d'archives accessibles au public comme le Global Biodiversity Information Facility (GBIF), North Pacific Pelagic Seabird Database (NPPSD) et PIROP database (dans OBIS-Seamap). Plusieurs scénarios de modèles de prévision ont été lancés en utilisant de la pseudo-absence et de l'absence à dire d'expert. Un modèle d'évaluation métrique spatiale et aspatiale a été appliqué. Par ailleurs, un modèle de robustesse métrique pour des espèces supplémentaires a été utilisé à partir des meilleurs jeux de données de localisations des colonies d'oiseaux marins disponibles, que nous avons compilé à partir de sources écrites et numériques. La robustesse des modèles obtenus est bonne dans l'ensemble : elle est faible pour quelques espèces côtières avec peu de données, et très forte pour beaucoup d'espèces pélagiques. Conformément à la politique des données de l'Année Polaire Internationale (IPY) et d'autres initiatives semblables, les métadonnées

FGDC NBII des données et des modèles sont rendues publiques en ligne, ceci dans l'objectif de poursuivre l'amélioration, l'utilisation durable, les synergies et l'exploration intellectuelle dans cette période de crise de la biodiversité des océans, de l'Arctique et à l'échelle planétaire.



Exemple de répartition prédictive du goéland bourgmestre. Les zones oranges indiquent la présence de l'espèce, les zones bleues l'absence et les zones jaunes sont intermédiaires.



Goéland bourgmestre. Photographie : V. Heuacker

Voies de migration trans-équatoriales, sites de gagnage et zones d'hivernage d'un prédateur avien du Haut-Arctique, le labbe à longue queue

Gilg, O., B. Moe, S.A. Hanssen, N.M. Schmidt, B. Sittler, J. Hansen, J. Reneerkens, B. Sabard, et al., *Trans-Equatorial Migration Routes, Staging Sites and Wintering Areas of a High-Arctic Avian Predator: The Long-tailed Skua (Stercorarius longicaudus)*. PLoS ONE, 2013. 8(5) : p. e64614.



Le labbe à longue queue est un oiseau qui niche sur les terres arctiques en été, et est pélagique le reste de l'année. Son rôle en tant que prédateur des communautés de vertébrés terrestres dans l'Arctique est maintenant bien connu, mais de nombreuses lacunes subsistent sur ses voies de migration et sites d'hivernage dans l'hémisphère Sud.

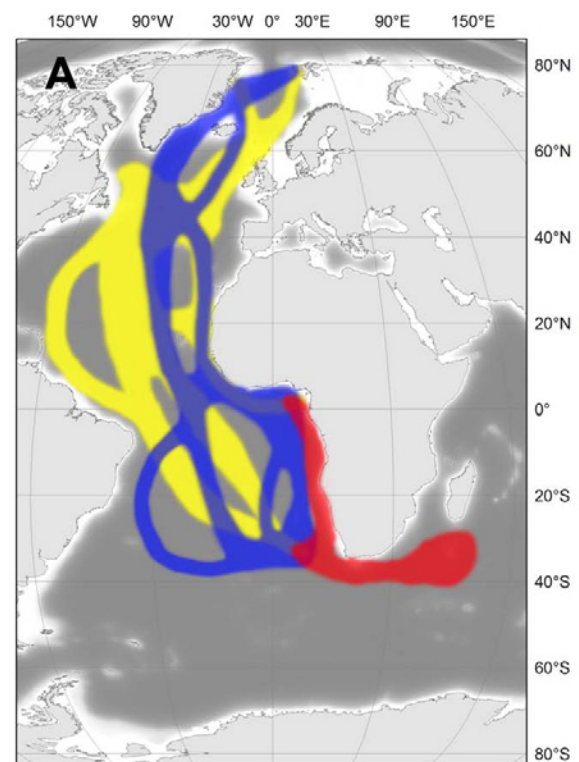
Des systèmes de géolocalisation miniaturisés qui mesurent l'intensité lumineuse toutes les minutes (GLS) ont été posés sur des labbes au Nord-Est du Groenland et au Svalbard. Ces capteurs ont pu être récupérés pour 8 oiseaux, l'analyse des localisations enregistrées a ainsi permis de retracer leurs déplacements. Tous ces oiseaux ont hiverné dans l'hémisphère Sud, avec une arrivée moyenne sur place le 24 octobre, et un départ le 21 mars. Cinq d'entre eux sont restés sur la côte d'Afrique du sud-ouest, dans des zones productives d'upwelling du Benguela ; les trois autres ont été localisés dans un secteur du sud-ouest de l'océan indien.

Différentes voies de migration ont été mises en évidence, avec une préférence pour une voie passant par l'ouest de l'océan atlantique. Les labbes effectuent des distances journalières plus importantes lors de la migration d'automne (345 km/jour en moyenne) que lors de celle du printemps (235 km/jour).

Parmi les différentes aires de halte migratoire qui ont été identifiées, l'une d'entre elles semble particulièrement importante : la région des Grands Bancs de Terre-Neuve. Tous les oiseaux suivis (à l'exception d'un seul) y ont passé de quelques jours à trois semaines en automne, et cinq oiseaux (sur les huit) d'une à plus de six semaines au printemps. Deux autres aires de halte près de la côte ibérique et

dans la région des Açores ont été utilisées par deux oiseaux au printemps sur une période allant de cinq à six semaines.

Ainsi sur une année entière, les labbes ont parcouru un total de 43 900 à 54 200 km, avec une distance moyenne entre les sites de nidification et d'hivernage de 12 800 km. Les zones marines de halte et d'hivernage identifiées dans l'océan atlantique revêtent une importance majeure pour la conservation du labbe à longue queue, et probablement aussi pour d'autres espèces migratrices trans-équatoriales.



Principales voies de migration et zones d'hivernage du labbe à longue queue. En bleu, les voies migratoires d'automne, en rouge, les zones d'hivernage, et en jaune, les voies migratoires de printemps.

Migration postnuptiale de quatre labbes à longue queue (*Stercorarius longicaudus*) entre le Nord et l'Est du Groenland et l'Afrique de l'Ouest

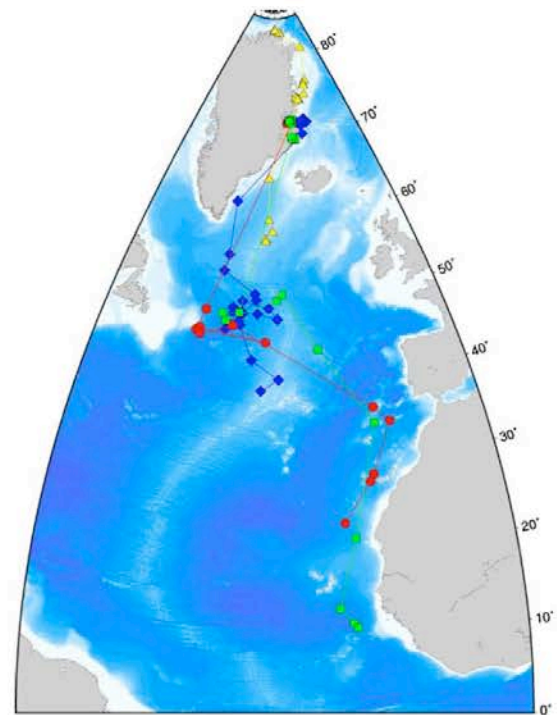


Sittler, B., A. Aebischer, and O. Gilg, *Post-breeding migration of four Long-tailed Skuas (Stercorarius longicaudus) from North and East Greenland to West Africa*. Journal of Ornithology, 2011. 152: p. 375-381.

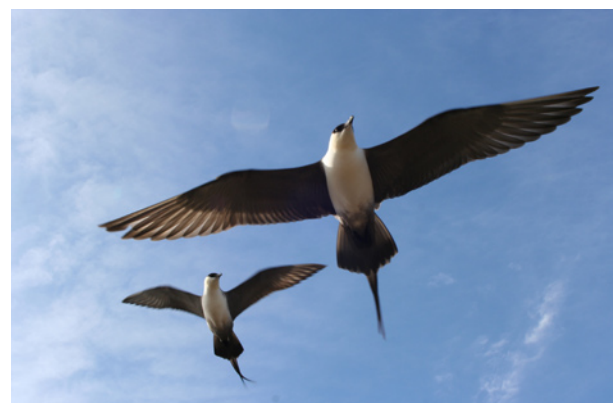
Le Labbe à longue queue (*Stercorarius longicaudus*) est un prédateur spécialiste de lemmings durant l'été, ce qui lui confère un rôle important au sein de l'écosystème de la toundra. La plus grande partie de son cycle reste inconnue en dehors de la saison de reproduction puisqu'il se déroule au large des côtes et sous des latitudes plus méridionales.

Grâce à l'utilisation d'émetteurs satellites solaires de 9,5g, nous avons pu documenter pour la première fois les mouvements postnuptiaux du labbe à longue queue, depuis ses zones de reproduction du Haut-Arctique (au Nord et à l'Est du Groenland) jusqu'à ses quartiers d'hivers dans les eaux tropicales de l'Ouest de l'Afrique. Les oiseaux étudiés ont parcouru les 10 000 km de cette migration en seulement 3-5 semaines, couvrant 800-900 km/jour lors de la migration active qui a également eu lieu pendant la nuit.

Quittant leurs zones de reproduction en août pour la plupart, les labbes à longue queue se sont d'abord dirigés au sud en longeant la côte du Groenland oriental, jusqu'à une zone de nourrissage au large des « Grands Bancs » de Terre Neuve où ils sont restés pendant 1-3 semaines. De là, ils ont traversé l'océan Atlantique vers l'est en 1 semaine avant d'entrer dans les eaux africaines au niveau de l'archipel de Madère en Septembre. Bien que seuls quatre oiseaux aient été suivis dans cette étude (entre 1,5 à 3 mois), nos données semblent indiquer que les voies de migration de la population groenlandaise sont relativement constantes puisque les 4 oiseaux suivis ont utilisé le même itinéraire bien qu'ils aient été capturés dans 3 lieux et durant 2 années différentes.



Voies migratoires post-nuptiales de quatre labbes à longue queue depuis le Nord et l'Est du Groenland jusqu'en Afrique de l'Ouest.



Labbes à longue queue. Photographie : B. Sabard

Voies de migration printanières du labbe à longue queue autour et à travers le Royaume-Uni – résultats d'observations et de suivi télémétrique

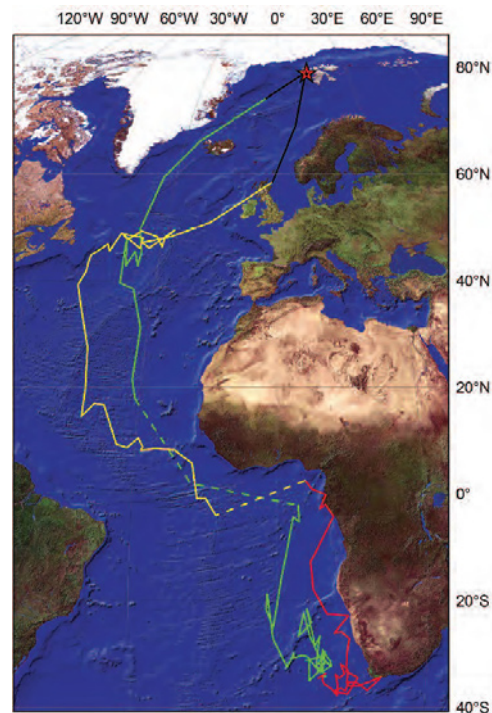
Wynn, R.B., D. Brown, G. Thomas, C.A. Holt, S.A. Hanssen, B. Moe, and O. Gilg, *Spring migration routes of Long-tailed Skuas around and across the UK – results of observational and tracking data*. British Birds, 2014. 107: p. 220-228.

Le labbe à longue queue est un nicheur arctique, qui ne fréquente les vastes étendues de la toundra arctique que durant les quelques mois d'été. Le reste de l'année, c'est un oiseau pélagique qui, après une longue migration, hiverne dans les océans de l'hémisphère Sud.

Un passage record de labbe à longue queue a été observé au printemps 2013 en Écosse, avec des mouvements sans précédent à l'intérieur des terres. Ces observations ont été confortées par les données de localisation issues de systèmes de géolocalisation solaires miniaturisés (GLS). Cette article propose la synthèse de ces données de géolocalisation, ainsi que des observations réalisées lors des passages de printemps, en particulier en 2013.

En 2010 et 2011, 15 oiseaux nicheurs avaient été équipés de GLS au Nord-Est du Groenland et au Svalbard. Ces capteurs ont pu être récupérés pour 8 oiseaux, permettant de retracer leurs déplacements lors de leurs migrations pré et post-nuptiales. Pour l'un de ces oiseaux, les données mettaient en évidence un passage au dessus des terres écossaises, correspondant à un pic de migration qui a eu lieu fin mai en Grande-Bretagne, où 1 435 oiseaux avaient été comptabilisés sur deux sites à la même période.

Le record de passage a eu lieu fin mai 2013, lié à des vents forts d'Ouest et de Nord-Ouest, plus de 1 000 oiseaux ont été observés certains jours. La synthèse de tous les sites suivis a permis d'établir les principales voies de migration pré-nuptiales de l'espèce en Grande-Bretagne.



Routes de vols suivies par un mâle de labbe à longue queue entre son site de nidification au Svalbard (étoile rouge) et ses sites d'hivernage au Sud-ouest de l'Afrique. Les mouvements de printemps apparaissent en jaune, ceux d'automne en vert et d'hiver en bleu.



La balise GLS ou « géolocator » (1g de condensé électronique) ici posée sur un labbe, enregistre l'intensité lumineuse toutes les 5mn et durant deux ans. La

durée du jour et les heures de lever et coucher du soleil permettent ensuite de calculer respectivement la latitude et la longitude auxquelles se trouvait l'oiseau et ainsi connaître son parcours.

Réponses démographiques d'un prédateur territorial aux fluctuations de ses proies : labbe à longue queue et lemmings arctiques

Barraquand, F., T.T. Høye, J.-A. Henden, N.G. Yoccoz, O. Gilg, N.M. Schmidt, B. Sittler, and R.A. Ims, *Demographic responses of a site-faithful and territorial predator to its fluctuating prey: Long-tailed skuas and arctic lemmings*. *Journal of Animal Ecology*, 2014. 83: p. 375-387.

Les changements de disponibilité en nourriture et de climat d'une année sur l'autre sont déterminants pour prédire la croissance des populations animales et l'évolution de leurs histoires de vie. Comme la plupart des rongeurs, les populations de lemmings et de campagnols connaissent naturellement des fluctuations cycliques. Des changements ont été observés récemment dans la dynamique de ces espèces, et sont par conséquent susceptibles d'influencer celle de leurs prédateurs.

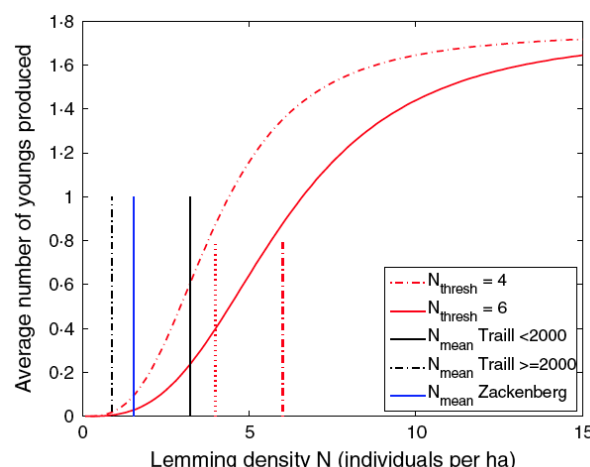
Les labbes constituent un cas d'étude idéal de par leur productivité faible (ils pondent au maximum deux œufs) et de par leur fidélité à leur site de nidification. Contrairement aux prédateurs ayant adopté un mode de vie nomade, comme la chouette harfang, ils ne peuvent pas capitaliser sur les pics de lemmings ayant lieu certaines années, et sont donc potentiellement plus vulnérables face à ces changements de cycles de rongeurs.

Le modèle présenté dans cet article met en lien la dynamique du labbe à longue queue avec sa proie favorite au Nord-Est du Groenland, le lemming à collier. Apparemment, le labbe à longue queue supporte très bien les changements de dynamique des lemmings qui ont eu lieu dès le début des années 2000, y compris les chutes brutales. Conséquence d'une territorialité forte et d'une grande longévité, les labbes erratiques sont plus nombreux que les nicheurs. Ce « réservoir » naturel d'oiseaux non nicheurs compenserait l'impact de la diminution du nombre d'oiseaux adultes sur la reproduction globale d'une population.

La quantité d'oiseaux erratiques varie selon le nombre moyen et le coefficient de variation des densités de lemmings. Au Groenland, la densité

moyenne de lemmings se situe en-dessous de la quantité nécessaire au succès de reproduction des labbes, qui bénéficient donc de la variabilité des lemmings, que l'on peut donc considérer comme une variation environnementale à effet positif.

Les populations de labbe à longue queue sont spécifiquement adaptées aux fluctuations de lemmings, et représentent un modèle de mobilité démographique dans leur taux de reproduction. Elles sont peu affectées lors de faibles abondances de lemmings, si le nombre d'oiseaux erratiques est suffisant ou si les juvéniles se dispersent dans d'autres populations. Le statut des labbes au Groenland dépend donc étroitement du nombre d'oiseaux erratiques et de la dispersion des juvéniles, qui sont actuellement des paramètres peu connus. Une étude de bagage couleur à grande échelle dans l'Arctique pourrait pallier à ce manque.



Localisation des valeurs moyennes de densités de lemmings sur la courbe de productivité des labbes à longue queue.

Première observation d'une ponte de quatre œufs chez le labbe à longue queue

Hansen, J., Ek, M., Roslin, T., Moreau, J., Teixeira, M., Gilg, O. and Schmidt, N. M. (2015). *First observation of a four-egg clutch of Long-tailed Jaeger (Stercorarius longicaudus)*. Wilson Journal of Ornithology, 127(1): 149-153.

Selon les espèces d'oiseaux, la taille de ponte (ou nombre d'œufs) peut varier considérablement d'une année à l'autre, ou à l'inverse rester relativement constant. Dans des environnements aux conditions variables, comme la toundra arctique, certaines espèces adaptent leur taille de ponte aux ressources disponibles.

Le labbe à longue queue est une espèce nicheuse commune sur la côte groenlandaise qui se nourrit principalement de lemmings. Habituellement, les femelles déposent dans leurs nids un ou deux œufs, rarement trois.

Sur le site de Zackenberg, au nord-est du Groenland, l'intégralité des couples nicheurs de

labbe à longue queue sont recensés et suivis chaque année, et ce depuis 1996. La découverte en 2011 d'un nid comportant quatre œufs constitue le premier cas documenté pour cette espèce. Le même phénomène avait déjà été constaté de façon exceptionnelle pour une espèce proche, le labbe parasite.

Bien que la possibilité d'un dépôt d'œufs de la part d'une autre femelle ne puisse pas être totalement écartée, une réponse adaptative de l'espèce pourrait venir expliquer cette découverte inédite : la femelle augmenterait le nombre d'œufs pondus suite à une abondance de lemmings sur le site.



Nid du labbe à longue queue avec quatre œufs, Zackenberg, le 30 juin 2011. Photographie : M. Ek



Mouettes ivoires nichant à même la banquise

Boertmann, D., K. Olsen, and O. Gilg, *Ivory gulls breeding on ice. Polar Record*, 2010. 46(1): p. 86-88.

Une colonie de reproduction de mouettes ivoire a été découverte sur une plaque de banquise en août 2008. La plaque de banquise ressemblait aux îles des environs puisqu'elle était couverte d'une moraine épaisse de graviers. Sa position est restée la même durant la plus grande partie de la saison de reproduction puisqu'elle était entourée de banquise annuelle compacte dont la fragmentation n'a eu lieu qu'à partir de mi-août, à une époque où la plupart des jeunes mouettes étaient déjà volantes.

Seuls les manchots empereurs étaient jusqu'à présent connus pour nicher sur la banquise, mais en Antarctique.



Mouette ivoire équipée d'une balise Argos/GPS

Photographie : B. Sabard

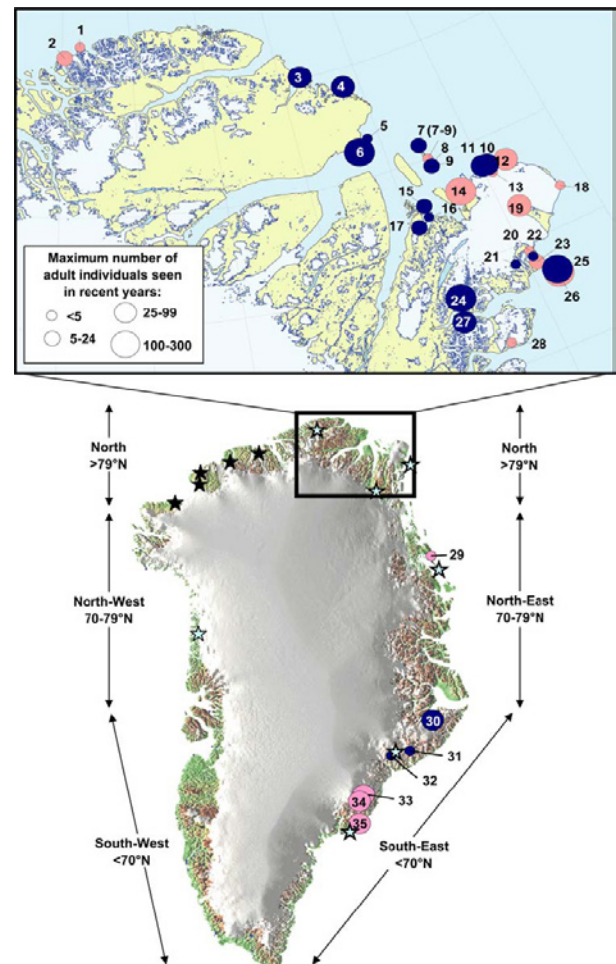


Colonie de mouettes ivoires sur la banquise. Photographie : B. Sabard

Statut de la menacée mouette ivoire au Groenland

Gilg, O., D. Boertmann, F. Merkel, A. Aebischer, and B. Sabard, *Status of the endangered Ivory Gull, Pagophila eburnea, in Greenland*. Polar Biol., 2009. 32 (9) : p. 1275-1286.

La mouette ivoire, une espèce rare du Haut-Arctique dont l'habitat principal tout au long de l'année est la banquise, est actuellement considérée comme « vulnérable » au Groenland et « en danger » au Canada où la population a décliné de 80% en 20 ans. Malgré ce constat préoccupant, le statut de l'espèce au Groenland restait quasi inconnu puisque la mouette ivoire niche dans des zones très reculées et dans des colonies pour lesquelles nous ne disposons, dans le meilleur des cas, que de données fragmentaires. En combinant recherche bibliographique, comptages terrestres, comptages aériens et suivi satellite, nous avons pu recenser 35 sites de reproduction dans l'Est et le Nord du Groenland, dont 20 nouveaux sites. La plupart des colonies se trouvent dans le Nord du Groenland et les plus grandes sont localisées sur des îles ou des terrasses côtières. La meilleure estimation actuelle de la taille de cette population est de 1 800 oiseaux nicheurs, mais la taille réelle est probablement supérieure à 4 000 oiseaux adultes (c'est-à-dire plus de 2 000 couples) puisque toutes les colonies n'ont pas encore été découvertes à ce jour et que seuls 50% au plus des oiseaux nicheurs sont habituellement présents dans les colonies lors des comptages. Bien que notre estimation soit quatre à huit fois supérieure aux précédentes, l'espèce semble être en déclin dans le sud de son aire de distribution groenlandaise alors que dans le nord, la tendance est moins nette, ce qui doit nous inciter à augmenter nos efforts de suivi de cette espèce.



Anciens (points clairs) et nouveaux (points foncés) sites de nidification de la mouette ivoire sur l'ensemble du Groenland, avec un focus sur la partie Nord. Les sites de nidification historiques (étoiles noires) et non confirmés (étoiles blanches) sont également précisés.

Échec total de reproduction de la mouette ivoire suite à des précipitations inhabituelles dans le Nord Groenland



18



Yannic, G., A. Aebischer, B. Sabard, and O. Gilg, *Complete breeding failures in ivory gull following unusual rainy storms in North Greenland*. Polar Research, 2014. 33 : p. 22749.

Le changement climatique en cours qui a lieu depuis plusieurs décennies est particulièrement prononcé dans l'Arctique où il se manifeste notamment par une augmentation rapide des températures de surface et une réduction de la banquise. Ces changements de climat peuvent aussi être à l'origine d'événements météorologiques extrêmes tels que pluies, orages et tempêtes. Ces catastrophes naturelles sont susceptibles d'avoir des conséquences graves sur le succès de reproduction des populations animales, directement par mortalité ou en réduisant le succès de reproduction, mais aussi de façon indirecte en ayant un impact sur la distribution et l'abondance des ressources alimentaires.

La mouette ivoire, qui se reproduit sous les plus hautes latitudes de l'hémisphère Nord, fait depuis quelques années l'objet d'une attention et d'un suivi particuliers. Deux expéditions menées respectivement en juillet 2009 à Amrup Land et en juillet 2011 à Station Nord ont permis d'observer et de rapporter de tels événements météorologiques anormaux.

Deux colonies de mouette ivoire situées à l'extrémité Nord-Est du Groenland ont été confrontées à des pluies violentes et des tempêtes qui ont parfois duré plusieurs jours, provoquant l'abandon temporaire de tous les oiseaux lors de la phase de couvaison. Sur les 146 nids suivis au total, la mortalité juvénile qui s'en est suivie s'est avérée catastrophique, puisque proche des 100 %.

Ce type d'événement risque de se reproduire et même de s'amplifier dans le contexte actuel de changement climatique, et vient s'ajouter aux autres menaces auxquelles la mouette ivoire doit déjà faire face (pollution, diminution de la banquise), compromettant encore davantage la pérennité de cette espèce emblématique du Haut-Arctique.



Colonie de mouettes ivoires. Photographie : D. Boertmann

Mouvements post-nuptiaux des populations de mouette ivoire *Pagophila eburnea* de l'Atlantique Nord-Est



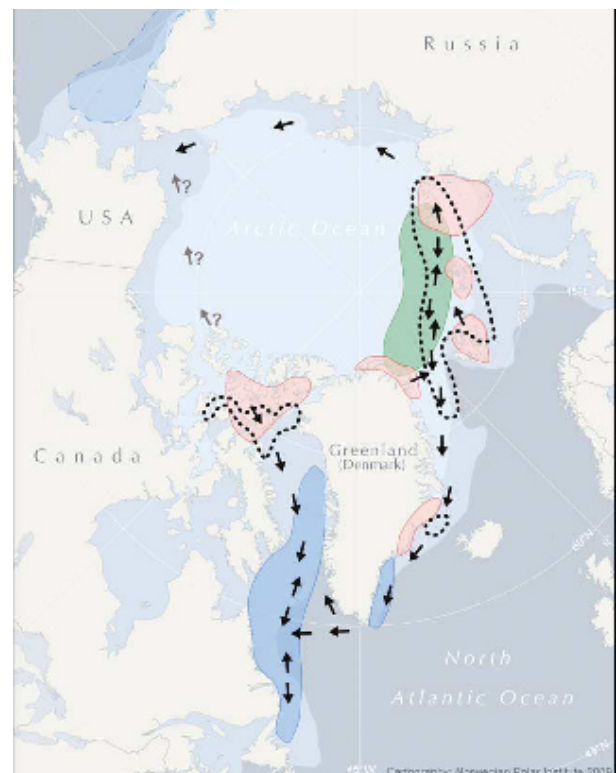
19

Gilg, O., H. Strøm, A. Aebischer, M.V. Gavrilo, A. Volkov, C. Miljeteig, and B. Sabard, *Post-breeding movements of the northeast Atlantic ivory gull *Pagophila eburnea* populations*. Journal of Avian Biology, 2010. 41 (5) : p. 532-542.



Les mouvements postnuptiaux de trois populations de mouette ivoire (*Pagophila eburnea*) du Nord-Est de l'Atlantique (Nord du Groenland, Svalbard et Franz Josef Land), une espèce menacée du Haut-Arctique car spécialiste de la banquise, ont été étudiés entre juillet et décembre 2007 en utilisant 31 émetteurs satellites. Après avoir quitté leurs aires de reproduction, tous les oiseaux se sont d'abord dispersés vers l'est en août-septembre, dans une zone s'étendant du détroit de Fram au nord-ouest de la mer de Laptev. La plupart de ces oiseaux sont retournés vers l'ouest en octobre-novembre le long de la même voie de migration, décrivant ainsi une migration en boucle, avant de poursuivre vers le sud au large de l'est du Groenland. Les principales aires d'hivernage ont été atteintes en décembre, dans le Sud du Groenland et le long de la mer du Labrador, en lisière des glaces, là où les oiseaux canadiens du Nord-Ouest de l'Atlantique ont également l'habitude de passer l'hiver. Un à deux oiseaux de chaque population ont cependant continué vers l'est en octobre-novembre, vers une troisième zone hivernage dans la région du détroit de Béring. Ces observations ont ainsi mis en évidence le caractère bidirectionnel de la migration de ces populations et permettent d'élucider au moins partiellement l'origine des oiseaux passant l'hiver dans le Pacifique Nord. Dans l'ensemble, tous les oiseaux qui nichent dans la région du Nord-Est de l'Atlantique ont utilisé les mêmes voies de migration, avaient des taux de déplacement similaires, et ont montré un pic d'activité migratoire en novembre.

Bien que la longueur totale de la voie migratoire principale, jusqu'en mer du Labrador, soit seulement de 7 500 km en ligne droite, la distance moyenne totale parcourue par les oiseaux du Groenland entre juillet et décembre était de 50 000 km lorsqu'estimée à partir des taux moyens horaires de déplacement. Notre étude fournit la première analyse complète et détaillée des mouvements postnuptiaux des différentes populations de mouette ivoire dans l'Atlantique Nord.



Mouvements post-nuptiaux (flèches) de la mouette ivoire depuis ses aires de nidification (en rose) à ses zones d'hivernage (en bleu).

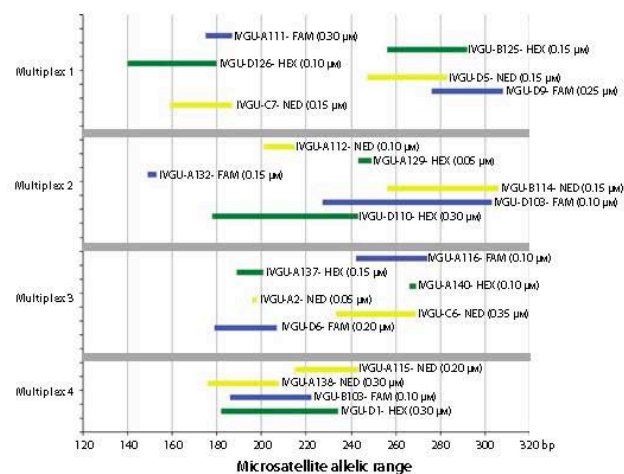
Description de marqueurs microsatellites et performances de génotypage avec l'utilisation de plumes et de frottis buccaux pour la mouette ivoire

Yannic, G., R. Sermier, A. Aebischer, M.V. Gavrilov, O. Gilg, C. Miljeteig, B. Sabard, H. Strøm, et al., *Description of microsatellite markers and genotyping performances using feathers and buccal swabs for the Ivory gull (Pagophila eburnea)*. Molecular Ecology Resources, 2011. 11: p. 877-889.

Dans cet article, nous rapportons 22 nouveaux microsatellites polymorphes pour la mouette ivoire (*Pagophila eburnea*) et décrivons comment ils peuvent être efficacement co-amplifiés. De plus, nous décrivons la concentration d'ADN, le succès d'amplification, les taux d'erreurs de génotypage et le nombre de répétitions de génotypage requis pour obtenir des données fiables avec trois types d'échantillons non destructifs distincts : des plumes ramassées au sol dans les colonies, des plumes prélevées sur des oiseaux vivants et des frottis buccaux réalisés avec des cotons tiges. Dans deux populations originaires du Groenland ($n = 21$) et de Russie (archipel de Severnaya Zemlya, $n = 21$), le nombre d'allèles par locus variait de 2 et 17 et l'hétérozygotie attendue par la population variait de 0,18 à 0,92. Vingt des marqueurs étaient conformes à Hardy-Weinberg et aux attentes d'équilibre de liaison.

La plupart des marqueurs ont été amplifiés facilement et étaient très fiables lorsqu'ils étaient analysés à partir de prélèvements buccaux et de plumes prélevées sur les oiseaux, démontrant que les frottis buccaux (ou écouvillonnage) constituent une méthode très efficace permettant une bonne extraction d'ADN de qualité. Bien que le succès d'amplification de l'ADN en utilisant des plumes ramassées au sol était généralement élevée, les génotypes obtenus à partir de ce type d'échantillons étaient sujets à erreur et devaient donc être amplifiés à plusieurs reprises.

L'ensemble des marqueurs microsatellites décrits ici avec des conditions d'amplification multiplex, ainsi que les taux d'erreur de génotypage observés, seront utiles pour les études génétiques à venir des populations de mouette ivoire.



Répartition allélique et assignement couleur des marqueurs pour les réactions en chaîne par polymérase multiplex.



Frottis buccal réalisé sur une mouette ivoire.

Photographie : B. Sabard

Connectivité circumpolaire chez un oiseau marin arctique longévif, la mouette ivoire

Yannic, G., Yearsley, J., Sermier, R., Dufresnes, C., Gilg, O., Aebischer, A., Gavrilov, M. V., Strøm, H., Mallory, M. L., Morrison, R. I. G., Gilchrist, G. H. and Broquet, T. (2015). *Circumpolar connectivity in a long-lived arctic seabird, the ivory gull *Pagophila eburnea**. Polar Biol.: (in press).

La mouette ivoire occupe les plus hautes latitudes de l'hémisphère Nord et est l'une des rares espèces à y rester durant l'hiver malgré le froid et la nuit permanente qui y règnent. Elle est notamment capable d'effectuer des déplacements de plusieurs milliers de kilomètres pour se rendre sur des quartiers d'hivernage ou simplement pour se nourrir.

Les espèces peuvent présenter différents types de réponses face à des changements soudains des habitats qu'elles occupent : en se déplaçant et en modifiant leur aire de répartition ou bien en s'adaptant aux conditions nouvelles de leur environnement. Les échanges entre populations, qu'ils soient génétiques ou démographiques, constituent un élément important de cette réponse. Dans le contexte actuel de réchauffement rapide du climat, la mouette ivoire est confrontée à une disparition rapide de son milieu de vie qu'est la banquise. Actuellement considérée comme quasi menacée à l'échelle du globe, certaines de ses populations ont déjà diminué de 80 % durant ces 20 dernières années.

Nous proposons l'analyse du plus grand jeu de données génétiques réuni à ce jour pour cette espèce, puisque 341 mouettes blanches provenant de 16 localités différentes ont été échantillonnées à travers l'Arctique. Nous avons développé un modèle statistique dans le but d'évaluer les rôles respectifs des juvéniles et des adultes dans ce comportement de dispersion, et de le mettre en lien avec la structure génétique observée dans chacune des populations.

Il ressort de ces analyses une découverte majeure, à savoir que les mouettes ivoires présentent une structure génétique homogène dans leur aire de répartition circumpolaire. L'absence d'une structuration génétique des colonies atlantiques, ainsi que les mouvements évidents ayant lieu entre elles, suggèrent l'existence d'une dispersion continue et efficace à travers le bassin de l'Arctique. Les modèles prédictifs illustrent la façon dont cette

dispersion des juvéniles et des adultes combinées permet de former une structure génétique homogène de la population. Ainsi, la dispersion entre colonies lointaines contribue certainement au maintien de colonies fragmentées.

L'acquisition de nouvelles données sera la clef de la compréhension du rôle de la dispersion dans la démographie de petites colonies, et permettra d'affiner l'importance respective de la dispersion des juvéniles ou des adultes. La conservation de l'espèce doit désormais être appréhendée à la lumière de cette découverte qu'est l'existence d'une métapopulation génétiquement homogène dans tout l'Arctique, connectée grâce à des phénomènes de dispersion.



Carte de localisation des sites d'échantillonnage des colonies de mouette ivoire.

Gilg, O., R. Sané, D.V. Solovieva, V.I. Pozdnyakov, B. Sabard, D. Tsanos, C. Zöckler, E.G. Lappo, et al., *Birds and mammals of the Lena Delta Nature Reserve, Siberia. Arctic*, 2000. 53(2): p. 118-133.



Le delta de la Léna est le plus grand delta de l'Arctique recouvert de toundra. Protégé depuis 1986, c'est l'une des aires les plus riches au delà de 71°N, à la fois en ce qui concerne la richesse spécifique que la densité d'espèces reproductrices. Entre le 6 juin et le 17 août 1997, 16 espèces de mammifères et 76 espèces d'oiseaux ont été recensées dans la réserve naturelle du delta de la Léna et les secteurs limitrophes. Plusieurs espèces sont nouvelles pour la région : courlis de Sibérie, grive litorne, grive mauvis, pouillot boréal, gobemouche nain et rat surmulot. Deux nouvelles espèces nicheuses ont été trouvées : le faucon émerillon et le pouillot boréal.

Combinées aux inventaires existants, ces données portent à 122 le nombre total d'espèces d'oiseaux recensées dans la région et à 67 celui des espèces s'y étant reproduit au moins une fois.

Des densités comprises entre 245 et 641 oiseaux par km² ont été notées sur deux zones

d'étude restreintes. De telles densités sont inhabituelles à des latitudes supérieures à 70°N pour des oiseaux nicheurs non coloniaux. Les espèces les mieux représentées sont le bruant lapon (100 à 300 individus par km²), le phalarope à bec large (jusqu'à 200 par km²) et plusieurs espèces de bécasseaux (genre *Calidris*). Le tournepierre à collier et le bécasseau variable avaient des densités supérieures à celles qui avaient été rapportées précédemment dans le delta de la Léna et sur d'autres sites de Sibérie. Parmi les limicoles, le chevalier arlequin, la bécassine à queue pointue, le pluvier argenté, le bécasseau variable et le bécasseau cocorli semblent avoir étendu leur aire de répartition ou augmenté leurs populations durant les 15 dernières années. Mais des preuves supplémentaires restent nécessaires pour confirmer l'extension vers l'ouest de l'eider à lunettes, du bécassin à long bec et du bécasseau à queue pointue.



Sibérie. Photographie : B. Sabard

Observations récentes de baleine franche du Groenland au Nord-Est Groenland et dans la Mer du Groenland

Gilg, O. and E.W. Born, *Recent sightings of the bowhead whale (*Balaena mysticetus*) in Northeast Greenland and the Greenland Sea*. Polar Biol., 2005. 28: p. 796-801.

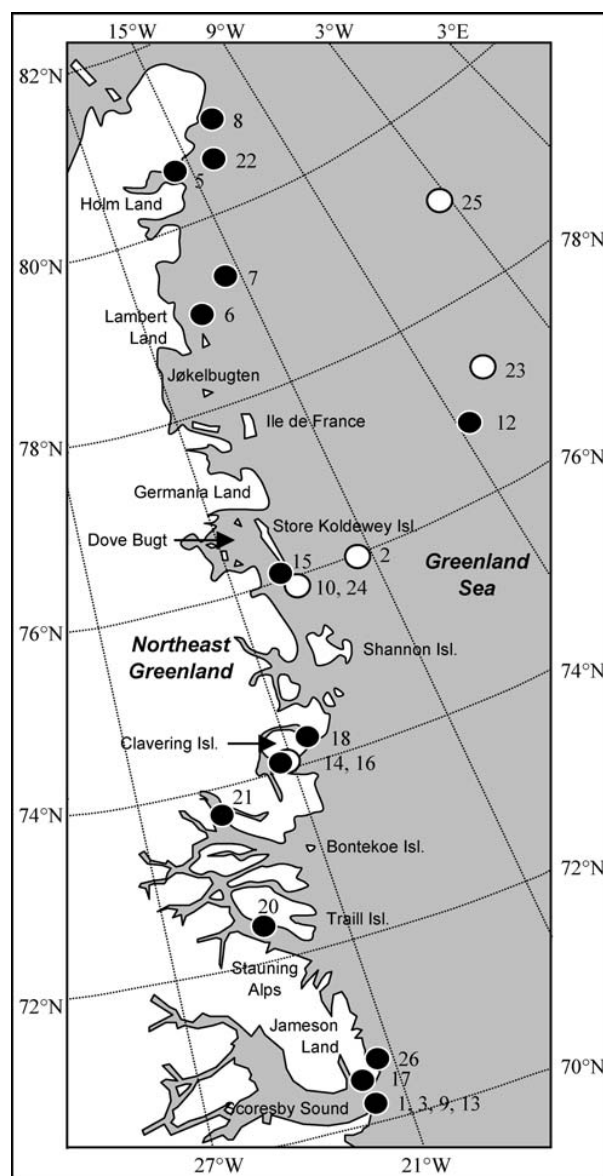
Vers la fin du XIX^e siècle, les pêcheurs de baleines avaient conduit les populations de baleine franche (*Balaena mysticetus*) du « stock du Spitzberg », réparties entre l'Est du Groenland et l'Est de la Russie arctique, au bord de l'extinction. Cet article relate les observations de baleine franche effectuées au Nord-Est du Groenland et dans la Mer du Groenland entre 1940 et 2004.

Le nombre d'observations a augmenté dans le Nord-Est du Groenland depuis le milieu des années 1980. Seules trois sont documentées sur la période 1940-1979, mais six ont été réalisées durant les années 1980, six durant les années 1990, et huit entre 2000 et 2004. Ces observations impliquent respectivement un minimum absolu de trois, cinq et huit à dix individus différents. Une incertitude persiste sur l'origine de ces observations, puisqu'elles peuvent être liées à un effort de surveillance accru, à une immigration d'individus provenant d'autres territoires, à une augmentation récente de la population relique appartenant au stock du Spitzberg, ou une combinaison de ces facteurs.



Baleine franche du Groenland.

Photographie : Bering Land Bridge National Preserve



Localisation des observations de baleine franche du Groenland à l'Est du Groenland et en Mer du Groenland de 1940 à 2004 (observations confirmées en noir; observations probables en blanc).

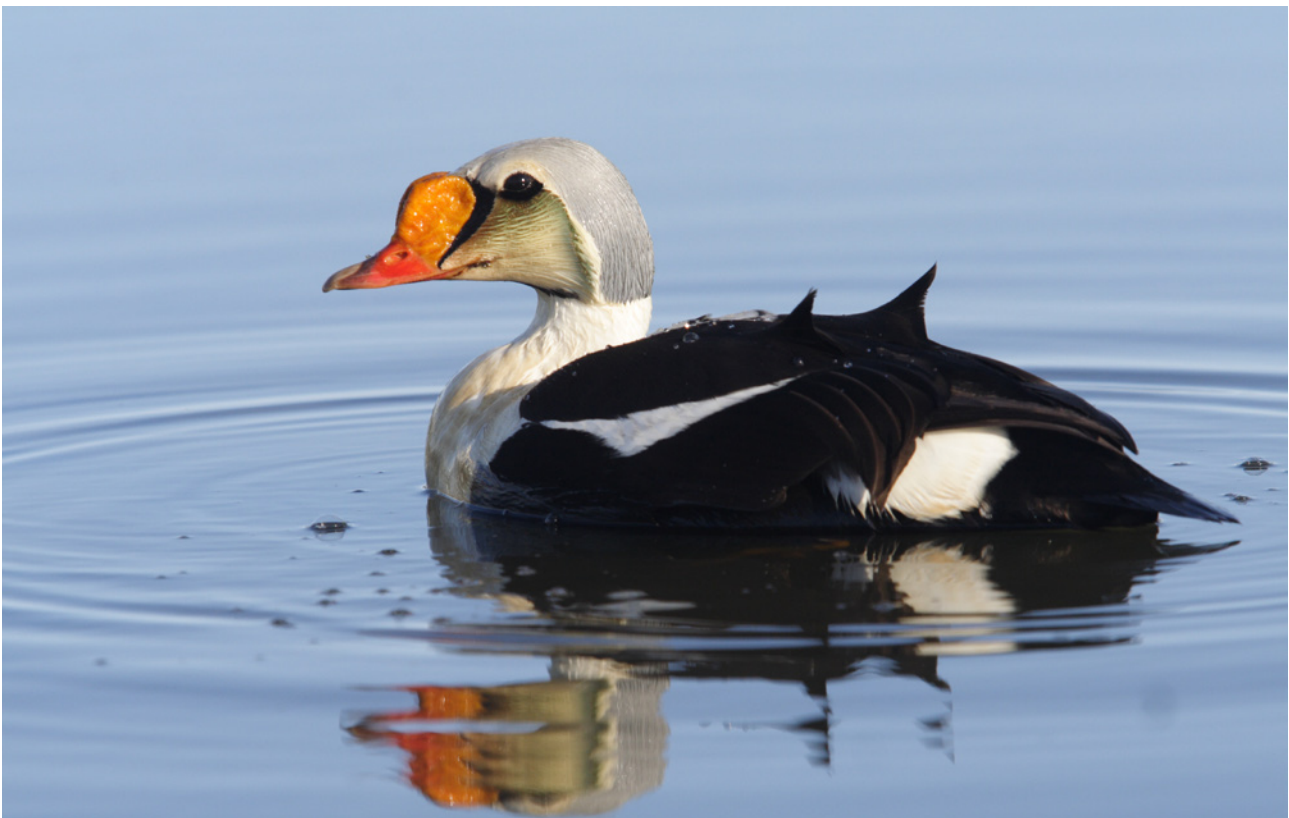
Faible abondance des nids d'eider à tête grise durant les années de faible abondance de lemmings dans le Nord-Est du Groenland



Sittler, B., O. Gilg, and T.B. Berg, *Low abundance of King eider nests during low lemming years in Northeast Greenland*. Arctic, 2000. 53(1): p. 53-60.

Une étude à long terme menée sur l'île de Traill (Nord-Est du Groenland) a mis en évidence que le nombre de nids d'eiders à tête grise (*Somateria spectabilis*) est corrélé à de fortes densités de lemming à collier (*Dicrostonyx groenlandicus*). Ces observations sont identiques à celles des autres relevés fauniques réalisés dans cette région et confortent des constats similaires sur le succès de reproduction des oies arctiques. Le déterminisme de ces phénomènes semble être lié au fait que les mammifères prédateurs se concentrent sur les lemmings lorsque ces derniers

sont abondants, mais exercent une pression de prédation plus forte sur les autres espèces lorsque les lemmings se font plus rares. L'effort de recherche des prédateurs semble augmenter durant les années de creux, ce qui accroît la probabilité de découvrir les nids d'eiders. Cette étude souligne l'importance d'examiner les phénomènes dans l'ensemble de la communauté animale pour tenter d'expliquer les fluctuations cycliques dans les écosystèmes nordiques.



Eider à tête grise. Photographie : B. Sabard

Cartographie génétique des grandes voies de dispersion des plantes arctiques

Eidesen, P.B., D. Ehrich, V. Bakkestuen, I.G. Alsos, O. Gilg, P. Taberlet, and C. Brochmann, *Genetic roadmap of the Arctic: plant dispersal highways, traffic barriers and capitals of diversity*. New Phytologist, 2013. 200 (3) : p. 898-910.



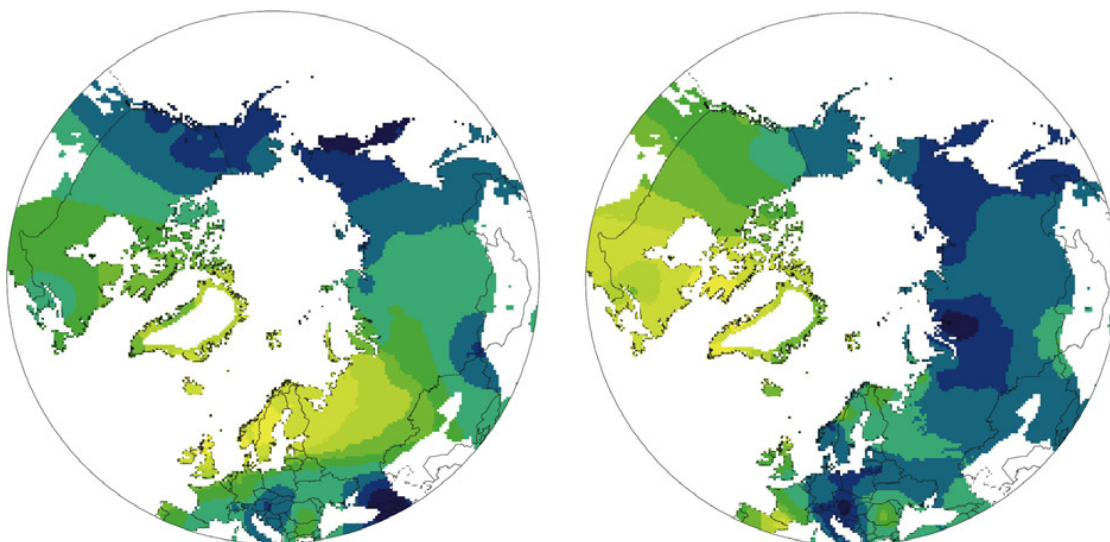
L'apparition des techniques moléculaires a permis de nombreuses découvertes en phylogéographie. Le cœur de cette discipline est la compréhension des facteurs temporels et spatiaux qui régissent la diversité génétique des espèces, et donc leur évolution.

Nous fournissons ici la première analyse comparative multi-espèces de la structure génétique spatiale de la diversité dans l'Arctique circumpolaire à partir d'une stratégie commune d'échantillonnage et d'analyse génétique. Nous avons cherché à identifier et expliquer les tendances générales potentielles de discontinuité ou de connectivité génétique et de diversité génétique. Les résultats obtenus ont été comparés avec les hypothèses précédemment publiées.

Nous avons collecté et analysé 7 707 échantillons de 17 espèces de plantes arctico-alpines généralisées par technique de polymorphismes de longueur des fragments amplifiés (AFLP). La structure génétique, la diversité et le caractère distinctif ont été analysés

et extrapolées pour couvrir l'étendue géographique de chaque espèce. Les cartes qui en résultent ont été superposées pour produire des « Metamaps ». Les barrières génétiques les plus fortes identifiées sont les océans Arctique et Atlantique, la calotte glaciaire du Groenland, la chaîne de l'Oural, et les zones de plaine entre les chaînes de montagnes du Sud et de l'Arctique. La diversité la plus élevée a été observée en Béringie et diminue progressivement dans les zones anciennement englacées. Les plus hauts degrés de caractère distinctif ont été observés en Sibérie.

La conclusion de cet article est que les tendances générales à grande échelle existent dans l'Arctique, façonnée par les glaciations du Pléistocène et combinées avec des barrières physiques génétiques qui existent de longue date. La Béringie a servi à la fois de refuge et de source de (re)colonisation interglaciaire, tandis que les zones plus à l'Ouest en Sibérie ont servi de refuge et de façon moindre de sources de (re)colonisation.

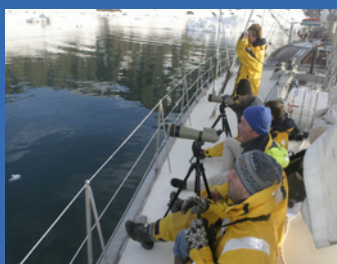


« Metamaps » de la diversité génétique extrapolée (à gauche) et de la distinctivité génétique (à droite) basées sur des analyses de polymorphisme de longueur des fragments amplifiés (AFLP) pour respectivement 17 et 15 espèces de flore arctico-alpines. Le bleu foncé indique une forte diversité ou distinctivité génétique, et le jaune une faible.

TECHNIQUES DE COLLECTE DE DONNÉES SUR LE TERRAIN

Certaines techniques sont fidèles à la tradition naturaliste du XVIII^e siècle telles que l'irremplaçable observation directe (jumelles, longue vue...) ou plus récemment (début du XX^e s.), le bagage d'oiseau. D'autres bénéficient des avancées technologies les plus récentes et vont jusqu'à utiliser les transmissions satellites. Toutes se font dans le respect de la condition animale et de leur environnement et sont soumises à l'approbation de comités éthiques des pays concernés.

En un quart de siècle, les outils ont entre autres gagné en miniaturisation notamment pour les instruments de géolocalisation et en optimisation de l'énergie (solaire), en capacité de mémoire... L'enjeu de ces évolutions : avoir accès à de nouvelles informations, à des données plus précises et dans des délais plus courts et répondre à des questions qu'il aurait été illusoire de poser il y a 20 ans. Voici quelques exemples de techniques de terrain :



Écoute et observation, aux jumelles ou à la longue vue, sous le jour permanent et durant de longues heures quotidiennes de marche, des oiseaux

et mammifères de la toundra. C'est par cette méthode que sont recensés les nids (oiseaux) et terriers (mammifères) des espèces étudiées.



Les données biométriques (mesures : aile, bec, pattes, poids, etc.) constituent les bases de suivi des populations d'oiseaux, susceptibles d'évoluer dans le cadre de changements

environnementaux (en réponse à des variations de disponibilité des ressources alimentaires, climat, prédation, parasites, etc). Les prises de sang nous permettent d'étudier le patrimoine génétique de ces oiseaux : degré de parenté entre individus, taux d'échanges entre colonies de différentes régions, voire même dynamique des populations sur le long terme.



Le comptage des nids d'hiver de lemmings et leur examen approfondi (taille et abondance des crottes, amas de poils) permet de déterminer la densité des rongeurs

en hiver mais également le taux de reproduction et l'intensité de la prédation par l'hermine, leur principal prédateur hivernal sous le manteau neigeux.



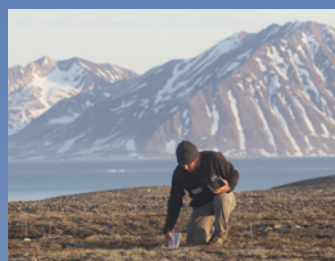
Le piégeage des insectes et araignées avec des pièges « Barber » permettent de documenter la phénologie (phases de présence et d'absence), la diversité et l'abondance relative de

ces arthropodes qui sont les proies principales des oiseaux insectivores (bécasseaux, bruants, etc).



Les « tiny tags » sont de petits enregistreurs high tec qui mesurent et archivent la température des nids et nous informent ainsi de l'activité des adultes

(fréquence et durée des relèves) jusqu'au départ des jeunes ou à la prédation des oeufs.



Pour estimer leurs densités l'été, les lemmings sont piégés sur plusieurs zones témoin grâce à de petites cages métalliques posées à l'entrée des terriers. Capturés vivants, ces lemmings sont

relâchés immédiatement après avoir été mesurés ou équipés de balises pour un suivi télémétrique.



Les missions Ecopolaris, dirigées par Olivier Gilg et Brigitte Sabard, sont composées chaque année de 4 à 7 personnes et ont bénéficié, en 25 ans, de la participation de plus de soixante chercheurs, naturalistes et logisticiens bénévoles.

Brigitte SABARD, Vladimir GILG et Olivier GILG 



1990 - 2015 MISSIONS ECOPOLARIS



25 ANS D'EXPLORATION NATURALISTE DANS LE GRAND NORD

c'est, mis bout à bout, **4 ANNÉES ENTIÈRES D'EXPLORATION NATURALISTE** dans le Haut-Arctique, à arpenter la toundra et vivre sous tente sous le jour permanent.

29

missions
scientifiques

20 au GROENLAND,
5 dans l'ARCTIQUE SIBERIEN (Bering, Delta
de la Lena, Taimyr, Anabar, Yamal)
1 au SPITZBERG,
2 dans l'ARCTIQUE CANADIEN (Bylot, Grise
Fjord, Victoria),
1 en ALASKA

Plus de

50

ours blancs
rencontrés



Plus de 15 000 km **à pied** pour
Brigitte S. et Olivier G., sur 25 étés au coeur de la
Toundra, loin de toute civilisation soit

75 000 km

pour l'ensemble des participants (ou 3 fois le tour
de la terre à l'équateur)

62

membres d'expédition

Près de la moitié d'entre eux
ont participé à plus de 2 missions.

de 11 pays : France, Hollande, USA, Groenland, Russie,
Danemark, Allemagne, Suisse, Angleterre, Australie, Norvège.

Plus de **20 000 km**

d'exploration avec le **support logistique**
d'un bateau (Tara, bateaux pneumatiques...)
en mer, dans des fjords, le long de rivières au
Groenland, Sibérie, Spitzberg)

Collaboration scientifique avec

85

laboratoires
de 20 pays

Plus de

22 000

participants à des conférences, projections, rencontres,
visites guidées d'exposition ; « Journées du Groenland »,
Fêtes de la science, « Journées polaires », ...



Une exposition du GREA « Groenland grandeur nature »
sur la biodiversité et traduite en groenlandais et danois ,
diffusée à toutes les écoles du Groenland en partenariat
avec l'Institut des sciences de l'éducation Groenlandais de
l'Université de Nuuk



Participation à plus d'une **trentaine de colloques**
internationaux circumpolaires

Plusieurs **milliers d'animaux** capturés, marqués,
étudiés



Partenaires institutionnels français



Partenaires fidèles qui contribuent au succès des missions Ecopolaris



Partenaires ponctuels sur des opérations de sensibilisation



Groupe de Recherche en Écologie Arctique

Tél. +33 6 61 79 65 42

gearctique@free.fr

<http://gearctique.free.fr>

Conception, coordination : Brigitte Sabard

Rédaction : Olivier Gilg, Brigitte Sabard et Vadim Heuacker

Conception graphique : Vadim Heuacker et Alexandre Louis