

**Rapport final GICC APR 2005: «Biodiversité et CC»**

***«Réponses des populations de Vertébrés aux changements climatiques –  
paramétrage et premières applications de modèles prédictifs basés sur les  
processus démographiques»***

***Groupe CLIM POP (GICC, ACI Quantitative)***

**Coordinateurs:**

Jean-Michel Gaillard

Directeur de Recherche au CNRS

Laboratoire de «Biométrie et Biologie Evolutive», UMR 5558, Bât. 711. Université Claude

Bernard Lyon 1, 43 Boulevard du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex

Tel: 04 72 44 81 11, Fax 04 72 43 13 88, e-mail [gaillard@biomserv.univ-lyon1.fr](mailto:gaillard@biomserv.univ-lyon1.fr)

VladimirGrosbois

Post-doctorant

Laboratoire de «Biométrie et Biologie Evolutive», UMR 5558, Bât. 711. Université Claude

Bernard Lyon 1, 43 Boulevard du 11 novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex

Tel: 04 72 44 81 70, Fax 04 72 43 13 88, e-mail [vladimirgrosbois@hotmail.com](mailto:vladimirgrosbois@hotmail.com)

**Date d'engagement : 5 décembre 2006**

**Montant du budget : 143.000 € HT**

**Participants statutaires au projet :** Christophe Barbraud, Jean Clobert, Olivier Gimenez,  
Marcel Lambrechts, Jean-Dominique Lebreton, Jean-François Le Galliard, Manuel Massot,  
Anders Pape Møller, Roger Pradel, Henri Weimerskirch

## Résumé:

Notre travail s'est appuyée sur un réseau (CLIM-PIOP) de populations de vertébrés intensivement suivies et a visé à répondre à quatre objectifs principaux: identifier et quantifier les impacts des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques, étudier la sensibilité du taux de croissance des populations aux changements de moyenne et de variance des paramètres démographiques, identifier la forme et quantifier l'impact de la réponse des paramètres démographiques aux facteurs climatiques, et quantifier le rôle des co-variations entre paramètres démographiques générées par les facteurs climatiques. Ces objectifs se sont tous inscrits dans un ensemble de recherches définies selon trois axes. L'**axe méthodologique** nous a permis de définir et de développer une panoplie d'outils analytiques performants pour répondre à ces objectifs. Un **axe d'analyse d'études de cas** nous a permis d'identifier un ensemble de patrons de variation démographique à partir de populations de plusieurs espèces de vertébrés. Enfin, un **axe d'analyse intégrée** de l'impact des variations climatiques sur la démographie et la dynamique des populations de vertébrés a été ébauché afin de rendre explicitement compte des mécanismes démographiques à travers lesquels la dynamique d'une population de vertébrés est influencée par les variations climatiques. De nombreux résultats ont déjà été acquis et ont donné lieu à la publication de plus de vingt-cinq articles scientifiques. Ce programme nous a de plus permis d'organiser un atelier de travail (colloque de restitution du projet) et de développer ainsi un important **réseau de recherche au niveau international**.

## Résumé vulgarisé:

Notre travail s'est appuyé sur un réseau de collaborateurs (nommé CLIM-PIOP) étudiant des populations d'oiseaux, de mammifères et de reptiles, pour lesquelles des informations démographiques détaillées (survie, reproduction et occupation de l'espace de nombreux individus marqués et d'âge connu dans chacune de ces populations) existaient. Ce programme de recherches a visé à répondre à quatre questions principales: (1) quels sont les impacts des variations climatiques sur la survie, la reproduction, et la dispersion?, (2) comment ces impacts affectent-ils le taux de croissance de ces populations?, (3) quel modèle peut-il représenter de façon fiable les réponses de la survie, de la reproduction, et de la dispersion aux changements climatiques?; et (4) quel est le rôle de la variation simultanée de plusieurs paramètres (survie et reproduction par exemple) causée par les changements climatiques sur le devenir de ces populations? Ces questions s'inscrivaient toutes dans un ensemble de recherches comprenant trois composantes. Un **axe méthodologique** nous a permis tout d'abord de définir et de développer les outils nécessaires pour répondre à nos questions. Nous avons ainsi produit un guide de la marche à suivre pour obtenir des résultats fiables. Un **axe d'analyse d'études de cas** nous a permis ensuite d'identifier un ensemble de patrons des variations démographiques à partir de populations de plusieurs espèces. Enfin, un **axe d'analyse intégrée** de l'impact des variations climatiques sur la démographie et la dynamique des populations d'oiseaux, de mammifères et de reptiles a été amorcé et nous permettra de rendre explicitement compte des mécanismes démographiques à travers lesquels la dynamique d'une population est influencée par les variations climatiques.

Nous avons déjà acquis de nombreux résultats qui ont donné lieu à la publication de plus de vingt-cinq articles scientifiques. Au sujet de l'impact des variations climatiques sur la survie et la reproduction, nous avons trouvé que les jeunes animaux étaient plus sensibles que les animaux plus âgés, et que l'action des variations climatiques accentuait l'effet de la compétition entre individus pour les ressources, cette compétition caractérisant les populations à forte densité. Ces résultats ont été rapportés pour plusieurs des espèces étudiées et semblent donc généraux. Par contre, l'intensité de la dispersion des individus réagit de façon variable aux variations climatiques selon les espèces. La dispersion a ainsi augmenté chez la sterne, mais a fortement diminué chez le lézard vivipare. Nous avons également trouvé un fort avancement des dates d'arrivée des oiseaux migrateurs sur leur zone de reproduction en réponse aux variations climatiques. Ces changements n'ont cependant pas été identiques pour toutes les espèces et semblent en particulier plus prononcés pour les organismes

vivant à de hautes latitudes. Au sujet de la réponse du taux de croissance des populations aux variations climatiques, nous avons trouvé que les paramètres critiques dépendaient de l'espèce considérée. Par exemple, pour le manchot empereur ou pour le pétrel blanc, la survie des adultes est le paramètre-clé. Par contre, pour le fulmar argenté, les paramètres de reproduction semblent tenir le rôle principal. Une analyse comparative nous a permis de démontrer que les espèces dont les individus vivent longtemps en moyenne étaient moins sensibles aux effets contraires des variations climatiques que les espèces dont les individus ne vivent que quelques années. Pour mesurer de façon fiable la forme de la réponse des paramètres qui est souvent complexe (non-linéaire), nous avons mis au point des méthodes spécifiques qui pourront être appliquées sur nos cas d'étude. Enfin, au sujet de la co-variation des paramètres démographiques générée par les variations climatiques, nous avons trouvé que la température au printemps influençait à la fois la reproduction et la survie des jeunes chez le pétrel blanc. De même, nous avons trouvé que la température de surface de l'eau influençait à la fois la survie des adultes et celle des jeunes pour l'albatros à sourcil noir. Il est bien évident que lorsque les variations climatiques influencent plusieurs paramètres démographiques simultanément, l'impact sur le devenir des populations est fortement augmenté.

Ce programme nous a de plus permis d'organiser un atelier de travail (colloque de restitution) et de développer ainsi un important **réseau de recherche au niveau international**.

## **Rappel du cadre**

Les réponses des systèmes naturels induits par les modifications en cours du climat constituent une préoccupation majeure pour les sociétés humaines (Easterling et al., 2000; Clark et al., 2001; Hulme, 2005; King, 2005; Schlesinger, 2006; IPCC, 2007). Les études empiriques des conséquences des modifications du climat au cours du XX<sup>ème</sup> siècle sur les taux d'extinction (Thomas et al., 2004; Thomas et al. 2006), les changements d'aires de répartition (Harrington et al., 1999; Parmesan & Yohe, 2003; Hays et al., 2005; Thomas et al., 2006), la dynamique des populations (Balmford et al., 2003; Forsman & Mönkkönen, 2003) et le fonctionnement des écosystèmes (Smith et al., 1999; Doran et al., 2002; Hays et al., 2005) se sont développées rapidement au cours des 10 dernières années et ont révélé d'importants impacts des changements climatiques sur les systèmes naturels (Walther et al., 2002; Parmesan & Yohe, 2003; Böhning-Gaese & Lemoine, 2004; Hays et al., 2005; Parmesan, 2006). Sous des scénarii réalistes d'un point de vue socio-économique, le réchauffement global se poursuivra, peut être à un rythme accéléré, jusqu'au moins la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle, ce qui engendrera des modifications importantes de tous les climats régionaux (Easterling et al., 2000; IPCC, 2007). Un défi majeur pour les sciences du vivant est le développement de modèles capables de prédire les réponses des systèmes naturels, notamment en termes de changement des aires de répartition et des risques d'extinction, à ces modifications d'une composante majeure de leur environnement (Clark et al., 2001; Hulme, 2005; Sutherland, 2006; Jetz et al., 2007).

## **Rappel de l'objectif ultime et général du projet**

Jusqu'à présent, la plupart des modèles destinés à prédire des changements d'aire de répartition ou de risque d'extinction sous les effets des changements climatiques se sont appuyés sur l'étude des phénomènes plutôt que sur celle des mécanismes. Ils décrivent la future distribution géographique d'une espèce comme l'ensemble des aires où les futures conditions seront, d'après les prévisions des modèles climatiques, identiques à celles qui caractérisent l'aire de répartition actuelle de l'espèce (Peterson et al., 2002; Thomas et al., 2004; Guisan & Thuiller, 2005; Hartley et al., 2006). Ces modèles, dits de niche climatiques, constituent une première approche indispensable. Cependant, ils doivent à présent être complétés par des approches intégrant explicitement les processus sous-tendant les impacts du climat sur les populations (Sæther et al., 2004; Hulme, 2005; Sutherland, 2006). Des

modèles stochastiques de projection de population, qui permettent, à partir d'une formalisation mathématique des processus démographiques, de décrire la dynamique d'une population en termes d'effectif, de taux d'accroissement ou de probabilité d'extinction pour des conditions environnementales données sont en cours de développement (Doak *et al.* 2005; Haridas et Tuljapurkar 2005; Tuljapurkar *et al.* 2003). On peut attendre de la mise en oeuvre de ces modèles des avancées considérables dans la compréhension des conséquences écologiques du changement climatique (Coulson *et al.*, 2001; Jenouvrier *et al.*, 2003; Dunn, 2004; Møller & Merila, 2004; Sæther *et al.*, 2004; Ludwig *et al.*, 2006; Sutherland, 2006). Dans le cadre de l'appel à proposition de recherche GICC2, nous avons proposé de développer des modèles stochastiques de processus démographiques à vocation prédictive en nous appuyant sur la mise en commun des bases de données dans le contexte du réseau CLIM-POP, constitué d'équipes de recherche d'universités françaises et du CNRS disposant de données de suivi individuel à long terme (Tableau1). Nos objectifs ultimes sont l'identification et la quantification des liens existant entre facteurs climatiques et paramètres démographiques, puis l'inclusion de ces relations dans des modèles stochastiques de projection de population. Notre programme se propose d'aborder les quatre objectifs détaillés ci-dessous.

## **Rappel des objectifs intermédiaires**

### **Objectif n° 1: Identifier et quantifier les impacts des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques dans les populations de vertébrés étudiées par le réseau CLIM-POP**

La condition *sine qua non* pour la construction de modèles stochastiques est une compréhension des mécanismes par lesquels les facteurs climatiques génèrent des variations, dans le temps et l'espace, des paramètres démographiques qui gouvernent la dynamique des populations de vertébrés (Coulson *et al.*, 2001; Jenouvrier *et al.*, 2003; Dunn, 2004; Møller & Merila, 2004; Sæther *et al.*, 2004; Ludwig *et al.*, 2006; Sutherland, 2006). Les protocoles de suivi à l'échelle individuelle ont permis de récolter des données (généralement des données de Capture-marquage-Recapture) dont l'analyse a permis d'estimer tous les paramètres démographiques, de décrire leurs variations dans le temps et l'espace, et d'identifier les facteurs intrinsèques et / ou environnementaux qui sous-tendent ces variations. Le réseau CLIMPOP dispose de ce type de données pour de nombreuses espèces de vertébrés et bénéficie d'importantes compétences dans les techniques à mettre en oeuvre pour leur analyse. Une importante partie de notre projet a donc consisté à caractériser les réponses

démographiques aux variations des facteurs climatiques dans les populations d'étude du réseau CLIM-POP. Cette partie de notre projet s'est articulée en trois volets: a) l'analyse des données de suivi individuel dans chaque population, b) le développement des méthodes d'analyse de données destinées à répondre à des questions spécifiques à l'analyse de l'influence du climat sur la démographie, et ,c) la conduite d'analyses à des échelles inter-populations ou inter-spécifiques (des méta-analyses) afin d'établir les caractéristiques des habitats et des espèces qui modulent l'amplitude des impacts du climat

**Objectif n° 2: Mettre en œuvre les modèles stochastiques de projection de population pour étudier la sensibilité des populations aux changements de moyenne et de variance des facteurs climatiques.**

Une fois que les informations sur les relations entre facteurs climatiques et les paramètres démographiques avaient été réunies pour une population donnée, un modèle stochastique de projection de population a pu être construit. Ce modèle a été utilisé pour étudier la sensibilité des populations aux changements des valeurs moyennes et des variances des paramètres démographiques et des facteurs climatiques qui les influencent. Grâce à la diversité des modèles biologiques disponibles au sein de notre réseau CLIM-POP, nous avons pu dégager des comparaisons, entre espèces, de ces sensibilités en fonction par exemple des stratégies biodémographiques (espèces à courte durée de vie et à taux de reproduction élevé avec une courte durée de génération vs. espèces à longue durée de vie et à taux de reproduction faible avec une longue durée de génération).

**Objectif n° 3 Etudier dans quelle mesure la sensibilité des populations aux variations des facteurs climatiques dépend de la forme de la relation entre facteurs climatiques et paramètres démographiques.**

La forme des relations entre paramètres démographiques et facteurs climatiques est variable. Certaines sont linéaires, d'autres peuvent présenter des plateaux ou bien des effets de seuil, d'autres encore peuvent avoir une forme en cloche (*i.e.*, le paramètre démographique présente de fortes valeurs pour des conditions climatiques intermédiaires et des valeurs faibles pour des conditions climatiques extrêmes). Nous avons proposé, grâce au large éventail de populations couvert par notre réseau, de documenter la diversité de forme des relations entre des paramètres démographiques et des variables climatiques et d'évaluer, à l'aide des modèles

stochastiques de projection, l'importance de la forme des relations pour la réponse des populations aux variations des facteurs climatiques.

**Objectif n°4 Evaluer l'influence de fortes interdépendances entre paramètres démographiques sur l'amplitude des réponses des espèces aux changements de valeur moyenne et de variabilité des facteurs climatiques.**

Les paramètres démographiques d'une population peuvent co-varier fortement, soit parce qu'ils sont liés par des relations de compensation (par exemple les coûts de la reproduction), soit parce qu'ils sont influencés par les mêmes facteurs environnementaux (et particulièrement climatiques). Nous avons proposé de rechercher ces interdépendances dans les populations étudiées par notre réseau puis, en utilisant les analyses de sensibilité des modèles stochastiques de projection de population, d'évaluer l'importance de l'intensité de ces interrelations dans la réponse des populations aux changements des valeurs moyennes et des variances des facteurs climatiques.



## Résultats obtenus

### Objectif n° 1: Identifier et quantifier les impacts des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques dans les populations de vertébrés étudiées par le réseau CLIM-POP.

#### a) Analyse des données de suivi individuel dans chaque population

Les membres du groupe CLIM-POP travaillent déjà depuis quelques années sur la détection de relations entre paramètres démographiques et facteurs climatiques. Le tableau 2 recense les résultats publiés juste avant le début de ce programme (2005 et 2006). Il démontre des effets marqués du climat sur des paramètres démographiques dans toutes les populations que nous étudions.

Nous nous sommes intéressés aux modulations fines de ces effets dans le cadre de ce projet. Ainsi, chez le chevreuil (Bonenfant et al, soumis) et des espèces d'oiseaux marins tels que l'albatross à sourcils noirs (Nevoux et al., 2007), nous avons mis en évidence un impact plus important des facteurs climatiques chez les jeunes individus que chez les individus plus âgés. Chez le chevreuil, nous nous sommes également intéressés aux interactions entre les effets des facteurs climatiques et ceux de la densité de population (Bonenfant et al., soumis). Nos résultats montrent que les effets des conditions climatiques au printemps sur la survie des jeunes diffèrent selon que la densité de la population est faible ou forte. Chez l'isard, nous avons testé l'hypothèse selon laquelle l'impact d'un pestivirus sur la survie serait plus fort lors des hivers rigoureux (Pioz et al., en préparation). Nos analyses nous ont permis de conclure que le statut épidémiologique de la population et la rigueur du climat hivernal influencent la survie des isards de manière indépendante (*i.e.*, sans interaction).

Nous nous sommes aussi intéressés à l'influence des facteurs climatiques sur la dispersion. La dispersion est un trait difficile à estimer mais essentiel pour évaluer le potentiel des espèces à coloniser les aires géographiques qui présenteront, dans le futur, des conditions climatiques favorables. Nous avons pu mettre en évidence une augmentation des distances de dispersion au cours des 70 dernières années chez la sterne arctique et mettre cette augmentation en relation avec celle de l'oscillation Atlantique nord (NAO), un indice climatique dont l'évolution au cours du siècle dernier reflète le réchauffement climatique dans l'Ouest de l'Europe (Møller et al., 2006a). En revanche, dans la population de lézard vivipare du mont Lozère, l'augmentation importante des températures printanières au cours des 15 dernières années s'est accompagnée d'une réduction importante de la probabilité de

dispersion des jeunes (Massot et al., 2008). Les résultats obtenus s'avèrent donc contrastés entre espèces.

*b) Innovations méthodologiques*

Grâce au travail entrepris lors de la première phase de financement obtenue auprès du programme GICC2, nous avons achevé dans le cadre de ce projet une synthèse qui définit et évalue un ensemble de techniques statistiques pour l'analyse des impacts démographiques des facteurs climatiques (Grosbois et al., 2008). De plus, l'importante expérience collective acquise grâce aux travaux effectués dans chaque équipe du réseau CLIM-POP nous a permis d'identifier des lacunes méthodologiques. Nous avons développé des méthodes destinées à combler ces lacunes, en particulier pour l'analyse de données de suivi à l'échelle individuelle. Ainsi, nous avons développé des outils statistiques permettant de modéliser les variations d'un paramètre démographique à l'échelle multi-population (Grosbois et al., sous presse), les relations non-linéaires entre facteurs climatiques et paramètres démographiques (Gimenez et al., 2006, 2008), ou encore, les schémas de causalité complexes dans lesquels, par exemple, un facteur climatique influence un paramètre démographique indirectement, via son impact sur les ressources alimentaires (Gimenez et al., en préparation). Pour développer ces méthodes, nous exploitons l'extrême flexibilité de la modélisation Bayésienne (Gimenez et al., 2009).

*c) Etudes intégratives*

Nous avons entrepris une étude des impacts démographiques du climat intégrant plusieurs populations de macareux moine (Harris et al. 2005). Nous avons ainsi pu mettre en évidence des variations entre populations dans la forme de la relation entre la survie et la température de surface de l'eau de mer. Ces variations s'expliquent probablement par des différences de régime alimentaire entre populations. Nous avons également produit une étude portant sur la comparaison des impacts du climat sur le manchot empereur et le pétrel blanc en terre Adélie (Jenouvrier et al., 2005b). Du fait de différences dans le calendrier de la reproduction, les paramètres de reproduction de ces deux populations occupant le même site, et donc un habitat commun, répondent à des facteurs climatiques différents (facteurs climatiques automnaux et hivernaux pour le manchot empereur, et facteurs climatiques printaniers pour le pétrel blanc).

A un niveau d'intégration beaucoup plus large, nous avons participé à une étude comparatives des changements de date d'arrivée en Europe chez plus de 150 espèces d'oiseaux migrateurs au cours du 20ème siècle. Cette étude a permis de mettre en évidence une nette tendance globale à l'avancement des dates d'arrivée. Les changements des dates ne sont cependant pas homogènes: ils varient en fonction de la phylogénie et sont plus prononcés dans les populations occupant des zones de haute latitude que chez des espèces occupant des zones de latitude moyenne.

Dans un travail en cours de publication, nous avons tenté d'intégrer les résultats publiés dans la littérature portant sur les effets des facteurs climatiques sur la survie d'une cinquantaine d'espèces d'oiseaux. Nous avons identifié quelques caractéristiques des espèces selon lesquelles l'intensité des impacts du climat varie, comme le type d'habitat et le régime alimentaire. Cependant, nous nous sommes heurtés à des difficultés liées principalement à l'hétérogénéité des mesures de l'intensité des effets du climat qui sont rapportées dans les publications.

**Objectif n° 2: Mettre en œuvre les modèles stochastiques de projection de population pour étudier la sensibilité des populations aux changements de moyenne et de variance des facteurs climatiques.**

Pour certaines des populations étudiées par les équipes du réseau CLIM-POP, nous disposons de suffisamment d'informations sur les variations des différents paramètres démographiques pour construire des modèles stochastiques de projection de population. C'était notamment le cas pour certaines populations d'oiseaux marins des terres australes françaises (le fulmar argenté, Jenouvrier et al. 2005a, le manchot empereur et le pétrel blanc, Jenouvrier et al. 2005b). Pour l'instant, ces modèles ont principalement été utilisés pour identifier les paramètres démographiques dont les variations ont le plus fort impact sur la dynamique des populations. Pour le manchot empereur et le pétrel blanc, il s'avère que ce paramètre est la survie des adultes. Par contre, pour le fulmar argenté, ce sont les variations des paramètres de la reproduction qui semblent avoir le plus fort impact. A présent, il convient d'intégrer explicitement à ces modèles les liens entre les variations des paramètres démographiques et les facteurs climatiques, ce qui permettra d'évaluer l'impact des facteurs climatiques sur la dynamique des populations. Une première tentative dans ce sens suggère que l'influence de l'étendue de glace de mer en été sur la probabilité de se reproduire chez le fulmar argenté a un fort impact sur la dynamique de la population (Jenouvrier et al. 2005a).

Nous avons également participé à un projet visant à évaluer, à une échelle phylogénétique très large (incluant des espèces d'algues, de plantes annuelles et pérennes, d'insectes, d'oiseaux et d'ongulés), les variations entre espèces de la sensibilité du taux d'accroissement des populations à des changements de variance des paramètres démographiques (Morris et al. 2008). Cette étude suggère que les espèces à courte durée de vie sont plus sensibles que les espèces à longue durée de vie à une augmentation de la variabilité de leurs paramètres démographiques. Les espèces à courte durée de vie pourraient par conséquent être plus vulnérables face à une augmentation de la fréquence d'occurrence de conditions climatiques extrêmes.

**Objectif n° 3 Etudier dans quelle mesure la sensibilité des populations aux variations des facteurs climatiques dépend de la forme de la relation entre facteurs climatiques et paramètres démographiques.**

Pour l'instant, notre contribution à l'étude des relations non-linéaires entre paramètres démographiques et facteurs climatiques a consisté à développer des méthodes d'analyse permettant de détecter ces relations, et à rechercher de telles relations dans les populations de vertébrés qui sont suivies par le réseau CLIM-POP. Nous avons développé une méthode statistique permettant de détecter et de décrire de façon très flexible des relations non-linéaires entre la survie estimée à partir de données de suivi à l'échelle individuelle et des facteurs climatiques (Gimenez et al., 2006). D'autre part, nous avons détecté des relations quadratiques (*i.e.*, en forme de cloche) entre les conditions climatiques locales et la survie dans des populations de macareux moines (Grosbois et al., en révision), de cigognes blanches (Grosbois et al., 2008) et de mésanges bleues (Grosbois et al., 2006). Dans ces populations, la survie des adultes est forte lorsque les conditions climatiques sont intermédiaires, et faible lorsque les conditions climatiques sont extrêmes. Nous avons aussi détecté une relation présentant un plateau entre la survie des pétrels blancs en terre Adélie et le Southern Oscillation Index (SOI, un indice reflétant le phénomène d'El Niño) (Gimenez et al., 2006). L'analyse, à l'aide de modèles stochastiques de projection de population, des conséquences de ces non-linéarités sur la dynamique des populations restera à faire.

**Objectif n°4 Evaluer l'influence de fortes interdépendances entre paramètres démographiques sur l'amplitude des réponses des espèces aux changements de valeur moyenne et de variabilité des facteurs climatiques**

Dans de nombreuses études menées sur des populations de vertébrés suivies par le réseau CLIM-POP, les relations entre les facteurs climatiques et plusieurs paramètres démographiques ont été examinées simultanément (Jenouvrier et al., 2005b; Jenouvrier et al., 2006; Nevoux & Barbraud, 2006; Nevoux et al., 2007; Nevoux et al., 2008; Roland et al., 2008). Ces études nous ont permis de documenter des co-variations entre des paramètres démographiques résultant de l'influence d'un facteur climatique commun. Ainsi, la température de l'air au printemps influence la probabilité de se reproduire et le succès de la reproduction chez le pétrel blanc (Jenouvrier et al. 2005b). De même, la température de surface de l'eau pendant la période de reproduction influence à la fois la survie des adultes et le succès de reproduction chez l'albatross à sourcil noir (Roland et al., 2008). Des facteurs climatiques qui influencent plusieurs paramètres démographiques dans une population ont probablement un fort impact sur la dynamique de cette population.

Le support à la collecte de données longitudinales au niveau individuel a aussi constitué un apport majeur de ce projet comme démontré par les nombreux travaux publiés qui n'auraient pas pu être menés sans ce support. Ces travaux sont listés dans la partie production et disponibles en pdf sur le CD associé à ce rapport.

## **Colloque de restitution**

Nous avons organisé comme prévu un atelier international de travail sur le thème de recherche développé dans ce projet en septembre 2008 en guise de clôture à ce projet. Cette réunion a été riche et nous a permis de faire émerger quelques conclusions générales. En outre, ce colloque de restitution nous a permis d'établir un réseau international de collaborations sur l'analyse des effets des variations climatiques sur les populations de vertébrés.

## Compte-rendu de l'atelier de travail "Réponses démographiques des populations de vertébrés aux changements climatiques" (du 22 au 24 Septembre 2008)

### PROGRAMME

#### **22 Septembre 14h00-18h00: Présentation des travaux des groupes de recherche norvégiens partenaires des équipes française participant au programme GICC2.**

- **Atle Mysterud.** Les impacts du climat sur les populations de vertébrés dans les régions de haute latitude en Europe.
  - **Ivar Herfindal.** Résultats récents et recherches en cours à l'université de Trondheim portant sur l'influence des conditions environnementales sur les populations de vertébrés.
  - **Audun Stien.** Effets démographiques et comportementaux de la variabilité climatique sur le renne du Svalbard.
  - **Discussion**
- 

#### **23 Septembre 9h00-12h00: Présentation des acquis et travaux en cours dans le cadre du programme GICC2**

- **Jean-Michel Gaillard.** Vue d'ensemble du programme GICC2
- **Vladimir Grosbois.** Meta-analyse des impacts du climat sur la démographie des oiseaux: résultats et problèmes méthodologiques
- **Olivier Gimenez** Nouvelles approches méthodologiques pour l'étude empirique des impacts du changement climatique sur la démographie des vertébrés
- **Anne Charmentier.** Oiseaux et changements climatiques: une approche utilisant la génétique quantitative
- **Allaine Dominique.** Les effets des fluctuations climatiques estivales sur la survie des marmottes alpines
- **Anders Pape Møller.** Changement climatique et études ornithologiques.
- **Manuel Massot.** Effets divers du réchauffement climatique sur des populations de lézards communs.

- **Christophe Barbraud.** Réponses écologiques des prédateurs antarctiques aux changements climatiques récents
  - **Discussion**
- 

**23 Septembre 14h00-18h00: Regard d'experts internationaux sur la thématique  
« Réponses démographiques des populations de vertébrés aux changements  
climatiques »**

- **Morten Frederiksen.** Démographie des oiseaux marins et climat – les leçons des études de suivi individuel à long terme en Atlantique Nord
  - **Paul Thompson:** L'influence du climat sur les prédateurs marins dans les eaux écossaises.
  - **Shripad Tuljapurkar** Supporter les nouvelles conditions climatiques locales ou suivre les conditions optimales par changement d'aire de répartition? Les plantes et le changement climatique (avec Eeelke Jogejans, Hans de Kroon, Kat Shea)
  - **Barry Sinervo** Un patron global d'extinctions locales à la limite sud de l'aire de répartition et aux basses altitudes chez le lézard commun
  - **Tim Coulson** Une vue d'ensemble de l'influence des facteurs climatiques sur la démographie des populations d'ongulés britanniques insulaires
  - **Discussion**
- 

**24 Septembre 09h00-12h00: Conclusions sur l'état de la recherche sur le thème  
« Réponses démographiques des populations de vertébrés aux changements  
climatiques »**

**Discussion des perspectives et des projets de collaboration.**

**Les communications orales présentées lors de cet atelier sont disponibles sur le CD joint à ce rapport.**

## DISCUSSION GENERALE ET PERSPECTIVES

### Bilan des acquis

La caractérisation des effets des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques est à présent bien avancée dans l'ensemble des populations de vertébrés étudiées par les différentes équipes participant au projet GICC2 (ongulés, marmottes, oiseaux marins, passereaux, lézards).

Les outils statistiques pour l'étude de ces effets ont été développés et sont utilisés par les équipes participant au projet.

L'étape de mise en commun des résultats obtenus par les différentes équipes pour différentes populations de vertébrés est bien avancée. De nombreux articles ont déjà été publiés pour les ongulés en France et pour les oiseaux marins en Antarctique. Une méta-analyse portant sur l'impact des facteurs climatiques sur la survie pour l'ensemble des espèces d'oiseaux est en cours (des résultats ont déjà été obtenus et présentés lors de plusieurs conférences et ateliers de travail: voir présentation de V. Grosbois). Pour cette méta-analyse, une base de données recensant les impacts des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques dans des populations de vertébrés a été initiée. Cette analyse ne contient pour l'instant que des informations concernant l'impact des facteurs climatiques sur la survie dans des populations d'oiseaux, mais pourrait facilement se généraliser à d'autres paramètres démographiques et à d'autres espèces de vertébrés (la structure de la base de données existante peut être utilisée).

L'analyse intégrée, pour une population donnée, des effets des facteurs climatiques sur l'ensemble des paramètres démographiques (paramètres de reproduction, survie des jeunes, survie des adultes, immigration et émigration) et l'étude de l'influence de ces effets intégrés sur la dynamique des populations ont été entreprises pour certaines populations de vertébrés qui sont étudiées par les équipes participant au projet GICC2 (populations d'oiseaux marins en Antarctique), et par certaines équipes partenaires (en particulier l'équipe de Tim Coulson qui étudie les effets du climat sur la dynamique d'une population insulaire de moutons).

Les outils de modélisation et d'analyse numérique permettant, à partir d'une description de l'impact des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques, de décrire l'influence des variations des facteurs climatiques sur la dynamique de la population, sont en cours de développement. Des collaborations sont en cours sur ce sujet entre les équipes de Jean-Michel Gaillard et Henri Weimerskirch et celles de Shripad Tuljapurkar et de Tim Coulson.

Les projections des dynamiques des populations de vertébrés étudiées pour les scénarios de conditions climatiques futures produits par la communauté IPCC ont été entreprises par une des équipes participant au projet GICC2 (en particulier par l'équipe dirigée par Henri Weimerskirch qui étudie les populations d'oiseaux marins en Antarctique). Cependant, ces projections sont encore soumises à de fortes incertitudes et posent d'importantes questions méthodologiques.



## **Identification des difficultés**

### Compréhension des mécanismes à travers lesquels le climat influence les paramètres démographiques

La compréhension de ces mécanismes nécessite souvent de suivre plusieurs composantes de l'écosystème dont la population étudiée fait partie. Par exemple, pour comprendre l'impact des fluctuations climatiques sur la dynamique d'une population d'ongulé, il est nécessaire de s'intéresser à l'impact des fluctuations climatiques sur les ressources alimentaires de cet ongulé, sur la dynamique des populations de ses compétiteurs pour l'exploitation de cette ressource, et sur la dynamique des populations de ses prédateurs.

### Méta-analyses

Les résultats rapportés dans la littérature n'utilisent pas toujours les mêmes mesures de l'impact des facteurs climatiques (*i.e.*, les mêmes mesures de la taille d'effet) sur les paramètres démographiques. La nécessité d'harmoniser ces mesures d'impact a été soulignée.

### Intégration des effets des variables climatiques sur les différents paramètres démographiques et conséquences pour la dynamique des populations

Les modèles qui intègrent les effets des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques et les traduisent en termes de dynamique de population (modèles de projection de population) devraient prendre en compte les phénomènes de dispersion.

### Projection des dynamiques de population avec des scénarios de changement climatiques

La principale difficulté réside dans l'intégration des différentes sources d'incertitude (incertitudes sur les scénarios climatiques, sur l'impact des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques, sur les phénomènes micro-évolutifs et de plasticité phénotypique (*i.e.*, possibilités d'adaptation aux conditions climatiques futures)) et dans l'étude de leur répercussion sur le degré d'incertitude accompagnant les prédictions.

## **Possibilités de collaboration sur des questions relatives aux réponses démographiques des vertébrés aux fluctuations climatiques.**

La base de données construite pour recenser les impacts de facteurs climatiques sur la survie dans des populations d'oiseaux pourrait être utilisée pour recenser les impacts de facteurs

climatiques sur d'autres paramètres démographiques et dans des populations de vertébrés autres que les oiseaux (ongulés, petits mammifères, reptiles, etc....). Pour ce faire, la base de donnée pourrait être partagée entre les différentes équipes participant au projet GICC2.

Cette base de données pourrait ensuite être utilisée pour répondre à des questions générales en utilisant les résultats obtenus dans de nombreuses études de populations de vertébrés. On pourrait aborder des questions telles que :

- Les facteurs climatiques à large échelle (NAO, ENSO, ...) ont-ils un effet plus marqué que les facteurs climatiques locaux (température, précipitations,...) sur les paramètres démographiques des vertébrés?
- Les facteurs climatiques ont-ils plutôt des effets directs ou des effets indirects (via par exemple son influence sur les ressources alimentaires) sur la démographie des vertébrés?
- Quelles sont les saisons les plus critiques en termes d'impact des facteurs climatiques sur les paramètres démographiques de vertébrés (saison de reproduction vs en dehors de la saison de reproduction)?

Une autre possibilité de collaboration fructueuse consisterait à mettre en commun plusieurs cas de populations de vertébrés pour lesquelles l'impact des facteurs climatiques est bien connu pour paramétrer des modèles de projection de population incluant explicitement des effets des facteurs climatiques. Une telle étude permettrait de documenter des variations entre populations et espèces de vertébrés dans la nature et l'amplitude des impacts des facteurs climatiques sur la dynamique des populations. Ces variations pourraient ensuite être reliées à des caractéristiques démographiques ou écologiques des populations et espèces considérées.

Tableau 1 – Liste des opérations et de leur responsable respectif constituant le réseau CLIM-POP, ainsi que les groupes zoologiques et milieux concernés.

<b>Opération</b>	<b>Responsable</b>	<b>Milieu</b>	<b>Sites</b>	<b>Espèces</b>
1 – Reptiles	J. Clobert	Landes, prairies humides	Cévennes	Lézard vivipare
2 – Mésanges	M. Lambrechts - J. Blondel	Forestier	Corse, Provence	Mésanges charbonnière et bleue
3- Hirondelles	A. Moller	Agricole et urbain	Danemark, Europe	Hirondelles
4 – Oiseaux marins	H. Weimerskirch	Marin	Antarctique	Albatros, pétrels, manchots
5 – Ongulés	J.M. Gaillard	Forestier et montagnard	Alpes, Pyrénées, Lorraine, Poitou	Chevreaux/cerfs/bouquetins/chamois/isards
6 – Méthodologie	J.D. Lebreton		Transversal	

Tableau 2. Résultats obtenus juste avant le début de notre programme de recherche (2005-2006) sur les relations entre paramètres démographiques et facteurs climatiques pour des populations suivies par les membres du réseau CLIM-POP.

Reference	Espèce	Localisation	Paramètre démographique	Facteur climatique	Saison	Sens
Jenouvrier et al., 2005b	Pétrel blanc	Terre Adélie	Proportion d'adultes reproducteurs	Concentration de la glace de mer	Automne	+
			Proportion d'adultes reproducteurs	Température de l'air	printemps	+
			Succès de reproduction	Température de l'air	printemps	+
Jenouvrier et al., 2005b	Manchot empereur	Terre Adélie	Survie des males adultes	Concentration de la glace de mer	hiver (SR)	+
			Survie des males et femelles adultes	Température de l'air	été (hors SR)	-
			Proportion d'adultes reproducteurs	Etendue de glace de mer	automne (début SR)	+
			Proportion d'adultes reproducteurs	Température de l'air	automne (début SR)	-
			Succès reproducteur	Southern Oscillation Index (El Niño)	annuel	+
Jenouvrier et al., 2005a	Furmar argenté	Terre Adélie	Succès reproducteur	Etendue de glace de mer	été	
Barbraud & Weimerskirch, 2005	Prion bleu	Kerguelen	Survie des individus inexpérimentés	Différentiel de hauteur de surface de l'eau (corrélé à la production primaire)	Octobre - Janvier	-
Jenouvrier et al., 2006	Manchot d'Adélie	Kerguelen	Survie adulte	Southern Oscillation Index (El Niño)	Annual	-
			Survie adulte	Indice intégratif glace / température de surface de l'eau	Hiver	-
Nevoux & Barbraud, 2006	Prion Belcher	Kerguelen	Survie adulte	Concentration de la glace de mer	hiver	-
			Succès de reproduction	Température de surface de l'eau	printemps	-
Harris et al., 2005	Macareux	Nord Est	Survie des adultes dans 5 colonies	Température de surface de l'eau	Hiver/printemps	-/+

	moine	Atlantique				
Møller et al., 2006a	Sterne arctique	Danemark	Dispersion de naissance et de reproduction	Température / Oscillation Nord Atlantique	Printemps / hiver	+
Møller et al., 2006b			Date de reproduction	Température / Oscillation Nord Atlantique	printemps	-
Grosbois et al., 2006	Mésanges bleues	Sud de la France et Corse	Survie adulte	Indice pluie et précipitation	été	o
				Indice pluie et précipitation	hiver	o
Nielsen & Møller, 2006	Epervier d'Europe	Danemark	Date de ponte	Température	printemps	-
Chamaille-Jammes et al., 2006	Lézard vivipare	Mont Lozère (France)	Survie	Température	Eté	+
			Reproduction	Température	été	+

Note : Sauf contre-indication, le printemps et l'été constituent la saison de reproduction pour les oiseaux. Lorsque «o» apparaît dans la colonne signe, la relation est de type quadratique avec un optimum pour les valeurs intermédiaires du facteur climatique.

## Références

- Balmford, A., Green, R. E. & Jenkins, M. (2003). Measuring the changing state of nature. *Trends in Ecology & Evolution* **18**, 326-330.
- Böhning-Gaese, K. & Lemoine, N. (2004). Importance of climate change for the ranges, communities and conservation of birds. In: Birds and climate change, A. P. Moller; W. Fielder & P. Berthold (Eds). *Advances in Ecological Research* **35**, 211-236.
- Clark, J. S., Carpenter, S. R, Barber, M., Collins, S., Dobson, A., Foley, J. A., Lodge, D. M., Pascual, M., Pielke, R., Pizer, W., Pringle, C., Reid, W. V., Rose, K. A., Sala, O., Schlesinger, W. H., Wall, D. H. & Wear, D. (2001) Ecological forecasts: an emerging imperative. *Science* **293**, 657-660.
- Coulson, T., E. A. Catchpole, S. D. Albon, B. J. T. Morgan, J. M. Pemberton, T. H. Clutton-Brock, M. J. Crawley & B. T. Grenfell (2001). Age, sex, density, winter weather, and population crashes in Soay sheep. *Science* **292**, 1528-1531.
- Doak, D.F., W.F., Morris, C. Pfister, B.E. Kendall & E.M. Bruna (2005) Correctly estimating how environmental stochasticity influences fitness and population growth. *American Naturalist*, **166**, E14-E21.
- Doran, P. T., Priscu, J. C., Lyons, W. B., Walsh, J. E., Fountain, A. G., McKnight, D. M., Moorhead, D. L., Virginia, R. A., Wall, D. H., Clow, G. D., Fritsen, C. H., McKay, C. P. & Parsons, A. N. (2002). Antarctic climate cooling and terrestrial ecosystem response. *Nature* **415**, 517-520.
- Dunn, P. (2004). Breeding dates and reproductive performance. *Advances in Ecological Research* **35**, 69-87.
- Easterling, D. R., Meehl, G. A., Parmesan, C., Changnon, S. A., Karl, T. R. & Mearns, L. O. (2000). Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. *Science* **289**, 2068-2074.
- Forsman, J. T. & Mönkkönen, M. (2003). The role of climate in limiting European resident bird populations. *Journal of Biogeography* **30**, 55-70.
- Guisan, A. & W. Thuiller (2005). Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* **8**, 993-1009.
- Haridas, C.V. & S. Tuljapurkar (2005) Elasticities in variable environments: properties and implications. *American Naturalist*, **166**, 481-495.
- Harrington, R., Woiwod, I. & Sparks, T. (1999). Climate change and trophic interactions. *Trends in Ecology & Evolution* **14**, 146-150.
- Hartley, S., R. Harris & P. J. Lester (2006). Quantifying uncertainty in the potential distribution of an invasive species: climate and the Argentine ant. *Ecology Letters* **9**, 1068-1079.
- Hays, G. C., Richardson, A. J. & Robinson, C. (2005) Climate change and marine plankton. *Trends in Ecology & Evolution* **20**, 337-344.
- Hulme, P. E. (2005). Adapting to climate change: is there scope for ecological management in the face of a global threat? *Journal of Applied Ecology* **42**, 784-794.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. In: Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (Eds.) Contribution of Working Group II to the Fourth. Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.

- Jenouvrier, S., C. Barbraud & H. Weimerskirch (2003). Effects of climate variability on the temporal population dynamics of southern fulmars. *Journal of Animal Ecology* **72**, 576-587.
- Jetz, W., Wilcove, D. S. & Dobson, A. P. (2007). Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. *PLOS Biology* **5**, 1211-1219.
- King, D. 2005. Climate change: the science and the policy. *Journal of Applied Ecology* **42**, 779-783.
- Ludwig, G. X., R. V. Alatalo, P. Helle, H. Linden, J. Lindstrom & H. Siitari (2006). Short- and long-term population dynamical consequences of asymmetric climate change in black grouse. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences* **273**, 2009-2016.
- Møller, A. P. & J. Merilä (2004). Analysis and interpretation of long-term studies investigating responses to climate change. *Advances in Ecological Research* **35**, 111-130.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics* **37**, 637-669.
- Parmesan, C. & Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* **421**, 37-42.
- Peterson, T. A., M. A. Ortega-Huerta, J. Bartley, V. Sanchez-Cordero, J. Soberon, R. H. Buddemeier & D. R. B. Stokwell (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. *Nature* **416**, 626-629.
- Sæther, B.-E., W. J. Sutherland & S. Engen (2004). Climate influences on avian population dynamics. *Advances in Ecological Research* **35**, 185-209.
- Schlesinger, W. H. (2006). Global change ecology. *Trends in Ecology & Evolution* **21**, 348-351.
- Smith, R. C., Ainley, D., Baker, K., Domack, E., Emslie, S., Fraser, B., Kennett, J., Leventer, A., Mosley-Thompson, E., Stammerjohn, S. & Vernet, M. (1999). Marine ecosystem sensitivity to climate change. *Bioscience* **49**, 393-404.
- Sutherland, W. J. (2006). Predicting the ecological consequences of environmental change: a review of the methods. *Journal of Applied Ecology* **43**, 599-616.
- Thomas, C. D., A. Cameron, R. E. G. Green, M. Bakkenes, L. J. Beaumont, Y. C. Collingham, B. F. N. Erasmus, M. F. de Siqueira, A. Grainger, L. Hannah, L. Hugues, B. Huntley, A. S. van Jaarsveld, G. F. Midgley, L. Miles, M. A. Ortega-Huerta, A. T. Peterson, O. L. Phillips & S. Williams (2004). Extinction risk from climate change. *Nature* **427**, 145-148.
- Thomas, C. D., Franco, A. M. A. & Hill, J. K. (2006). Range retractions and extinction in the face of climate warming. *Trends in Ecology & Evolution* **21**, 415-416.
- Tuljapurkar, S., C.C. Horvitz, & J.B. Pascarella (2003) The many growth rates and elasticities of populations in random environments. *American Naturalist*, **162**, 489-502.
- Walther, G. R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J. C., Fromentin, J. M., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F. (2002). Ecological responses to recent climate change. *Nature* **416**, 389-395.

## Production scientifique générée par le programme GICC2 (2007-2009)

*Tous ces travaux sont disponibles en pdf sur le CD joint à ce rapport*

- Barbraud, C., C. Marteau, V. Ridoux, K. Delord, and H. Weimerskirch. 2008. Demographic response of a population of white-chinned petrels *Procellaria aequinoctialis* to climate and longline fishery bycatch. *Journal of Applied Ecology*, **45**:1460-1467.  
[Barbraud\_2008.pdf]
- Berman, M., J. M. Gaillard, and H. Weimerskirch. 2009. Contrasted patterns of age-specific reproduction in long-lived seabirds. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, **276**:375-382.  
[Berman\_2009.pdf]
- Delord, K., D. Besson, C. Barbraud, and H. Weimerskirch. 2008. Population trends in a community of large Procellariiforms of Indian Ocean: Potential effects of environment and fisheries interactions. *Biological Conservation*, **141**:1840-1856.  
[Delord\_2008.pdf]
- Gaillard, J. M., A. J. M. Hewison, P. Kjellander, N. Pettorelli, C. Bonenfant, B. Van Moorter, O. Liberg, H. Andren, G. van Laere, K. Klein, J. M. Angibault, A. Coulon, and C. Vanpé. 2008. Population density and sex do not influence fine-scale natal dispersal in roe deer. *Proceedings of the Royal Society of London Series B*, **275**:2025-2030.  
[Gaillard\_2008.pdf]
- Gimenez, O., S. J. Bonner, R. King, R. A. Parker, S. P. Brooks, L. E. Jamieson, V. Grosbois, B. J.T. Morgan, and L. Thomas. 2009 WinBUGS for Population Ecologists: Bayesian Modeling Using Markov Chain Monte Carlo Methods. In: D. L. Thompson, E. G. Cooch, and M. J. Conroy (Eds.), *Modeling Demographic Processes In Marked Populations*, Environmental and Ecological Statistics, Springer Verlag, Berlin:pp 883-915.  
[Gimenez\_2009.pdf]
- Gimenez, O., A. Viallefont, A. Charmentier, R. Pradel, E. Cam, C. R. Brown, M. D. Anderson, M. B. Brown, R. Covas, and J. M. Gaillard. 2008. The risk of flawed inference in evolutionary studies when detectability is less than one. *American Naturalist*, **172**:441-448.  
[Gimenez\_2009.pdf]
- Grosbois, V., O. Gimenez, J. M. Gaillard, R. Pradel, C. Barbraud, J. Clobert, A. P. Moller, and H. Weimerskirch. 2008. Assessing the impact of climate variation on survival in vertebrate populations. *Biological Reviews* **83**:357-399.  
[Grosbois\_2008.pdf]
- Hamel, S., S. D. Côté, J. M. Gaillard, and M. Festa-Bianchet. 2009. Individual variation in reproductive costs of reproduction: high quality females always do better. *Journal of Animal Ecology* **78**:143-151.  
[Hamel\_2009.pdf]
- Jenouvrier, S., G. Tavecchia, J. C. Thibault, R. Choquet, and V. Bretagnolle. 2008. Recruitment



- processes in long-lived species with delayed maturity: estimating key demographic parameters. *Oikos*, **117**:620-628.  
[\[Jenouvrier\\_2008.pdf\]](#)
- Jenouvrier, S., H. Caswell, C. Barbraud, M. Holland, J. Stroeve, and H. Weimerskirch. 2009. Demographic models and IPCC climate projections predict the decline of an emperor penguin population. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States*, **106**:1844-1847.  
[\[Jenouvrier\\_2009\\_01.pdf\]](#)
- Jenouvrier, S., J. C. Thibault, A. Viallefont, P. Vidal, D. Ristow, J. L. Mougin, P. Bricchetti, J. J. Borg, and V. Bretagnolle. 2009. Global climate patterns explain range-wide synchronicity in survival of a migratory seabird. *Global Change Ecology*, **15**:268-279.  
[\[Jenouvrier\\_2009\\_02.pdf\]](#)
- Lepetz, V., M. Massot, A. S. Chaine, and J. Clobert. 2009. Climate warming and the evolution of morphotypes in a reptile. *Global Change Biology* **15**:454-466.  
[\[Lepetz\\_2009.pdf\]](#)
- Marquis, O., M. Massot, and J. F. Le Galliard. 2008. Intergenerational effects of climate generate cohort variation in lizard reproductive performance. *Ecology* **89**:2575-2583.  
[\[Marquis\\_2008.pdf\]](#)
- Massot, M., J. Clobert, and R. Ferriere. 2008. Climate warming, dispersal inhibition and extinction risk. *Global Change Biology* **14**:461-469.  
[\[Massot\\_2008.pdf\]](#)
- McLoughlin, P. D., J. M. Gaillard, M. S. Boyce, C. Bonenfant, F. Messier, P. Duncan, D. Delorme, B. Van Moorter, S. Saïd, and F. Klein. 2007. Lifetime reproductive success and composition of the home range in a large herbivore. *Ecology* **88**:3192-3201.  
[\[McLoughlin\\_2007.pdf\]](#)
- Moller, A. P., Rubolini, D., and Lehikoinen, E. 2008. Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. *Proceedings of the National Academy of Sciences of United States*, **105**:16195-16200.  
[\[Moller\\_2008\\_01.pdf\]](#)
- Moller, A. P. 2008. Climate change and micro-geographic variation in laying date. *Oecologia*, **155**:845-857.  
[\[Moller\\_2008\\_02.pdf\]](#)
- Morris, W. F., C. A. Pfister, S. Tuljapurkar, C. V. Haridas, C. L. Boggs, M. S. Boyce, E. M. Bruna, D. R. Church, T. Coulson, D. F. Doak, S. Forsyth, J. M. Gaillard, C. C. Horvitz, S. Kalisz, B. E. Kendall, T. M. Knight, C. T. Lee, and E. S. Menges. 2008. Longevity can buffer plant and animal populations against changing climatic variability. *Ecology* **89**:19-25.  
[\[Morris\\_2008.pdf\]](#)
- Nevoux, M., J. C. Barbraud, and C. Barbraud. 2008. Breeding experience and demographic response to environmental variability in the White Stork. *Condor* **110**:55-62.  
[\[Nevoux\\_2008\\_02.pdf\]](#)
- Nevoux, M., H. Weimerskirch, and C. Barbraud. 2007. Environmental variation and experience-related differences in the demography of the long-lived black-browed albatross. *Journal of Animal Ecology* **76**:159-167.  
[\[Nevoux\\_2007.pdf\]](#)

- Nevoux, M., J. C. Barbraud, and C. Barbraud. 2008. Non-linear impact of climate on survival in a migratory white stork population. *Journal of Animal Ecology* **77**:1143-1152.  
[Nevoux\_2008\_01.pdf]
- Nilsen, E. B., J. M. Gaillard, R. Andersen, J. Odden, D. Delorme, G. van Laere, and J. D. C. Linnell. 2009. A slow life in hell or a fast life in heaven: demographic analyses of contrasting roe deer populations. *Journal of Animal Ecology* **78**:585-594.  
[Nilsen\_2009.pdf]
- Rolland, V., C. Barbraud, and H. Weimerskirch. 2008. Combined effects of fisheries and climate on a migratory long-lived marine predator. *Journal of Applied Ecology* **45**:4-13.  
[Rolland\_2008.pdf]
- Rolland, V., C. Barbraud, and H. Weimerskirch. 2009. Assessing the impact of fisheries, climate and disease on the dynamics of the Indian yellow-nosed Albatross. *Biological Conservation* **142**:1084-1095.  
[Rolland\_2009.pdf]
- Rubolini, D., A. P. Moller, K. Rainio, and E. Lehikoinen. 2007. Intraspecific consistency and geographic variability in temporal trends of spring migration phenology among European bird species. *Climate Research* **35**:135-146.  
[Rubolini\_2007.pdf]
- Toïgo, C., J. M. Gaillard, M. Festa-Bianchet, E. Largo, J. Michallet, and D. Maillard. 2007. Sex- and age-specific survival of the highly dimorphic Alpine ibex: evidence for a conservative life-history tactic. *Journal of Animal Ecology* **76**:679-686.  
[Toigo\_2007.pdf]
- Van Moorter, B., J. M. Gaillard, P. H. McLoughlin, D. Delorme, F. Klein, M. S. Boyce. 2009. Maternal and individual effects in selection of bed sites and their consequences for fawn survival at different spatial scales. *Oecologia* **159**:669-678.  
[Moorter\_2009.pdf]
- Weladji, R. B., A. Loison, J. M. Gaillard, O. Holand, A. Myrsterud, N. G. Yoccoz, M. Nieminen, and N. C. Stenseth. 2008. Heterogeneity in individual quality overrides costs of reproduction in female reindeer. *Oecologia* **156**:237-247.  
[Weladji\_2008.pdf]

## Publications en préparation

- Bonenfant, C, J. M. Gaillard, A. Myrsterud, G. Van Laere, D. Delorme, P. Duncan, and F. Klein, Local weather packages outperform the NAO index in accounting for climatic influences on life history traits in temperate areas Soumis à *Ecology*.
- Gimenez, O., A. Grégoire, S. Cubaynes, T. Anker-Nilssen, and V. Grosbois. Path analysis and structural equation modeling of mark-recapture data.
- Grosbois, V., M. P. Harris, T. Anker-Nilssen, R. H. McCleery, D. N. Shaw, B. J. T. Morgan, and Gimenez O. Modelling survival at multi-population scales using mark-recapture data. Soumis à *Ecology* (en révision).
- Pioz, M., V. Grosbois, A. Loison, P. Gibert, D. Dubray, M. Artois, and E. Gilot-Fromont. Can a new virus cause major declines in Pyrenean chamois (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) populations?