

Projet ANR-16-CE02-0007-01

DEMOCOM - Effets de la gestion et du climat sur la dynamique des communautés ; Développement d'une démographie multi-espèce

Programme appel générique 2016

A	IDENTIFICATION.....	2
B	RESUME CONSOLIDE PUBLIC	2
B.1	Résumé consolidé public en français	2
B.2	Résumé consolidé public en anglais	4
C	MEMOIRE SCIENTIFIQUE.....	6
C.1	Résumé du mémoire	6
C.2	Enjeux et problématique, état de l'art	7
C.3	Approche scientifique et technique	9
C.4	Résultats obtenus	10
C.5	Exploitation des résultats	11
C.6	Discussion.....	11
C.7	Conclusions.....	11
C.8	Références	12
D	LISTE DES LIVRABLES.....	15
E	IMPACT DU PROJET.....	17
E.1	Indicateurs d'impact.....	17
E.2	Liste des publications et communications	18
E.3	Liste des éléments de valorisation	22
E.4	Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires).....	24

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	DEMOCOM
Titre du projet	Effets de la gestion et du climat sur la dynamique des communautés ; Développement d'une démographie multi-espèce
Coordinateur du projet (société/organisme)	Olivier Gimenez (CNRS, UMR CEFE 5175)
Période du projet (date de début – date de fin)	01 / 01 / 2017 31 / 12 / 2022
Site web du projet, le cas échéant	https://sites.google.com/view/democom/

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mr Olivier Gimenez
Téléphone	0467613314
Adresse électronique	olivier.gimenez@cefe.cnrs.fr
Date de rédaction	Mai 2023

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	CEFE. Olivier Gimenez CEBC. Christophe Barbraud ISEM. Vincent Devictor MARBEC. Daniel Gaertner CESCO & MECADEV. Pierre-Yves Henry OFB. Pierre-Yves Quenette IBM. Frédéric Barraquand
---	--

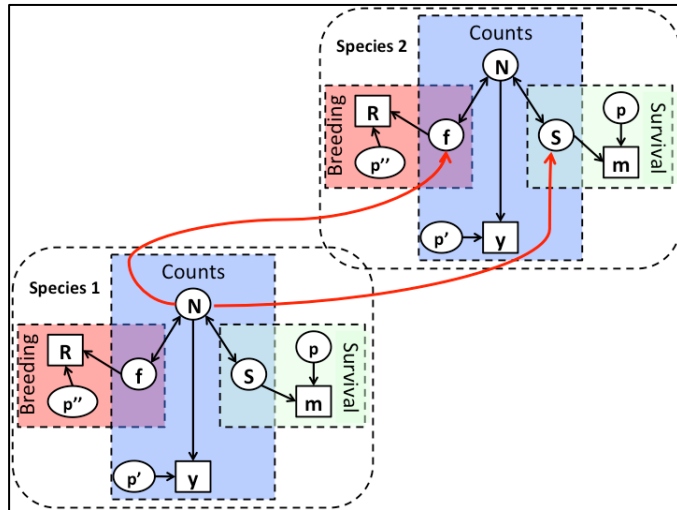
B RESUME CONSOLIDE PUBLIC

B.1 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN FRANÇAIS

Comment quantifier l'effet des activités humaines sur les communautés animales ?

Faire dialoguer la démographie et l'écologie des communautés pour mieux comprendre la structure et la dynamique de la biodiversité. Quels sont les mécanismes spécifiques qui sous-tendent l'assemblage et la dynamique des communautés écologiques ? Malgré son apparente universalité, cette question continue d'intriguer les scientifiques. Les changements planétaires ont un impact sur la diversité, la structure et la dynamique des communautés, mais la façon dont ces changements sont pilotés par les dynamiques des espèces reste mal comprise. La modélisation de la dynamique des communautés est difficile en raison de la dynamique complexe des espèces en interaction et de la nécessité d'intégrer des informations à plusieurs niveaux biologiques (individus - populations - communautés). Pourtant, pour faire la lumière sur les processus qui sous-tendent les modifications observées dans les communautés, il est primordial de savoir dans quelle mesure chaque espèce contribue à la direction et à l'intensité de ces modifications.

Un cadre statistique intégré pour inférer la dynamique des communautés d'espèces en combinant différentes sources de données hétérogènes. Dans DEMOCOM, nous avons développé un cadre statistique pour ajuster des modèles multi-espèces aux données et pour partitionner la contribution des variations démographiques intra-spécifiques et inter-spécifiques aux changements dans la composition des communautés. Nous avons étendu les modèles démographiques déterministes afin d'incorporer la stochasticité et de prendre



pleinement en compte la variabilité environnementale, et nous avons pris en compte les différentes sources d'incertitude. Nous avons étudié le rôle des interactions interspécifiques dans la réponse des communautés au changement climatique et aux interventions de gestion dans les communautés d'oiseaux, de plantes et de mammifères. En outre, nous avons développé des codes informatiques et des « packages » (dans le logiciel R) pour aider les écologues à étudier la structure et la dynamique des

communautés grâce à la modélisation démographique multi-espèces. Dans l'ensemble, nous avons adopté une approche multidisciplinaire dans laquelle des questions importantes en écologie des communautés ont été abordées à l'aide de méthodes robustes et modernes issues de la démographie, des statistiques et de l'informatique.

Résultat majeur. Le résultat principal de DEMOCOM est le développement d'un cadre statistique pour l'estimation et l'inférence de la dynamique des communautés, via l'intégration des concepts, des prédictions et des outils issus des domaines de la démographie et de l'écologie des communautés. Motivés par des études de cas sur des populations sauvages, nous avons illustré le rôle des interactions interspécifiques dans la réponse des communautés au changement climatique et aux interventions de gestion dans les communautés d'oiseaux, de plantes et de mammifères.

Production scientifique. Les membres de DEMOCOM ont publié 30 articles scientifiques, 1 ouvrage, participé à des conférences nationales et internationales sous la forme de plus de 20 interventions orales, et ont contribué à la vulgarisation des résultats par écrit et oralement. L'implication des jeunes chercheuses et chercheurs a été primordiale pour assurer cette production.

Illustration. Modèle démographique intégré pour deux espèces. Pour chacune des deux espèces, les paramètres sont dans les cercles, les données dans les rectangles, et les flèches représentent les dépendances inter-espèces entre les paramètres. Les notations sont les suivantes : m données de capture-recapture ; y données de comptage des espèces ; R nombre de descendants ; S survie ; p , p' et p'' détection pour la survie, les comptages et les données de reproduction respectivement ; N abondance. Dans la situation idéale, trois sources de données sont disponibles pour chaque espèce (dénombrement de la population, données sur

la reproduction et la mortalité) et sont intégrées dans un cadre analytique unique. Certains paramètres sont partagés par différentes sources d'information, par exemple la survie (données vertes et bleues), ce qui, en augmentant la taille de l'échantillon, améliore la précision et rend certains paramètres facilement estimables, autrement difficiles à évaluer dans des analyses séparées. Pour chaque espèce, les flèches entre N et f ou S vont dans les deux sens pour capturer l'effet évident de la fécondité et de la survie sur l'abondance, mais aussi pour tenir compte de la dépendance de la densité à l'égard de ces paramètres démographiques. Un exemple d'interactions est donné entre les espèces 1 et 2 qui peuvent être explicitement formulées et estimées comme des réponses fonctionnelles/numériques en combinant toutes les sources d'information : les connecteurs rouges représentent les paramètres d'un effet de densité-dépendance de l'espèce 1 (N) sur la démographie de l'espèce 2 (f et S). Dans ce cadre, il est possible de distinguer l'effet des variations du climat ou de l'habitat sur les espèces des interactions interspécifiques.

Informations factuelles. Le projet DEMOCOM est un projet de recherche fondamentale coordonné par Olivier Gimenez (UMR CEFÉ). Il associe aussi les UMRs ISEM, MARBEC, CEBEC, CESCO, MECADEV, IMB et l'Office Français de la Biodiversité. Le projet a commencé en 2016 et a duré 5 ans. Il a bénéficié d'une aide ANR de 600,000€ pour un coût global de l'ordre de 3 millions d'€.

B.2 RESUME CONSOLIDE PUBLIC EN ANGLAIS

How can we quantify the effect of human activities on animal communities?

Bringing together demography and community ecology to gain a better understanding of the structure and dynamics of biodiversity. What are the specific mechanisms underlying the assembly and dynamics of ecological communities? Despite its apparent universality, this question continues to intrigue scientists. Global changes are having an impact on the diversity, structure and dynamics of communities, but the way in which these changes are driven by species dynamics remains poorly understood. Modelling community dynamics is difficult because of the complex dynamics of interacting species and the need to integrate information at several biological levels (individuals - populations - communities). However, to shed light on the processes underlying the changes observed in communities, it is essential to know to what extent each species contributes to the direction and intensity of these changes.

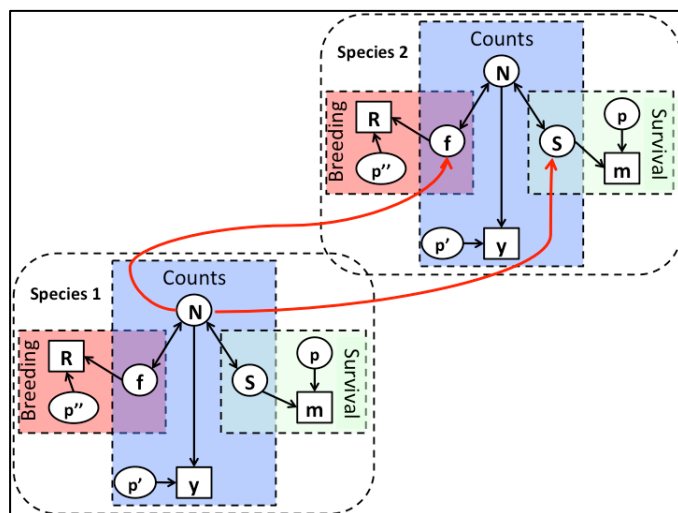
An integrated statistical framework for inferring species community dynamics by combining different sources of heterogeneous data. In DEMOCOM, we have developed a statistical framework for fitting multi-species models to data and for partitioning the contribution of intra- and inter-specific demographic variations to changes in community composition. We have extended deterministic demographic models to incorporate stochasticity and to take full account of environmental variability, and we have considered the various sources of uncertainty. We studied the role of interspecific interactions in the response of communities to climate change and management interventions in bird, plant and mammal communities. In addition, we have developed computer codes and packages (in R software) to help ecologists study community structure and dynamics through multi-species demographic modelling. Overall, we have adopted a multidisciplinary approach in which important questions in community ecology have been addressed using robust and modern

methods derived from demography, statistics and computer science.

Major result. The main outcome of DEMOCOM is the development of a statistical framework for the estimation and inference of community dynamics, through the integration of concepts, predictions and tools from the fields of demography and community ecology. Motivated by case studies on wild populations, we have illustrated the role of interspecific interactions in the response of communities to climate change and management interventions in bird, plant and mammal communities.

Scientific output. DEMOCOM members have published 30 scientific articles and 1 book, taken part in national and international conferences in the form of more than 20 oral presentations, and contributed to the dissemination of the results in writing and orally. The involvement of young researchers has been essential in ensuring this output.

Illustration. An integrated two-species demographic model. For each of the two species, parameters are in circles, data in rectangles, and arrows are for inter-species dependencies between parameters. The notations are: m capture-recapture data; y species count data; R number of offspring; S survival; p , p' and p'' detection for survival, counts and reproductive data respectively; N abundance. In the ideal situation, three sources of data are available for



each species (population counts, breeding and mortality data) that are integrated in a single analytical framework. Some parameters are shared by different sources of information, e.g. survival (green and blue data), which, by increasing the sample size, improves precision and makes some parameters easily estimable otherwise difficult to assess in separate analyses. For each species, arrows between N and f or S go both ways to capture the obvious effect of fecundity and survival of abundance,

but also to allow for density-dependence on these demographic parameters. An example of interactions is given between species 1 and 2 that can explicitly be formulated and estimated as functional/numerical responses by combining all sources of information: the red connectors stand for parameters of a density-dependence effect of species 1 (N) on demography of species 2 (f and S). Within this framework, one can disentangle the effect of variation in climate or habitat on species from inter-specific interactions. For simplicity, we illustrate the framework with two species, but the model can obviously be extended to $K \geq 2$ possibly interacting species (see application of this framework to case studies of WP2).

Factual information. The DEMOCOM project is a fundamental research project coordinated by Olivier Gimenez (UMR CEFÉ). It also involves the UMRs ISEM, MARBEC, CEBC, CESCO, MECADEV, IMB and the Office Français de la Biodiversité. The project began in 2016 and lasted 5 years. It received ANR funding of €600,000 for a total cost of around €3 million.

C MEMOIRE SCIENTIFIQUE

Mémoire scientifique confidentiel : non

C.1 RESUME DU MEMOIRE

DEMOCOM ou Comment quantifier l'effet des activités humaines sur les communautés animales ?

Faire dialoguer la démographie et l'écologie des communautés pour mieux comprendre la structure et la dynamique de la biodiversité. Quels sont les mécanismes spécifiques qui sous-tendent l'assemblage et la dynamique des communautés écologiques ? Malgré son apparente universalité, cette question continue d'intriguer les scientifiques. Les changements planétaires ont un impact sur la diversité, la structure et la dynamique des communautés, mais la façon dont ces changements sont pilotés par les dynamiques des espèces reste mal comprise. La modélisation de la dynamique des communautés est difficile en raison de la dynamique complexe des espèces en interaction et de la nécessité d'intégrer des informations à plusieurs niveaux biologiques (individus - populations - communautés). Pourtant, pour faire la lumière sur les processus qui sous-tendent les modifications observées dans les communautés, il est primordial de savoir dans quelle mesure chaque espèce contribue à la direction et à l'intensité de ces modifications.

Un cadre statistique intégré pour inférer la dynamique des communautés d'espèces en combinant différentes sources de données hétérogènes. Dans DEMOCOM, nous avons développé un cadre statistique pour ajuster des modèles multi-espèces aux données et pour partitionner la contribution des variations démographiques intra-spécifiques et inter-spécifiques aux changements dans la composition des communautés. Nous avons étendu les modèles démographiques déterministes afin d'incorporer la stochasticité et de prendre pleinement en compte la variabilité environnementale, et nous avons pris en compte les différentes sources d'incertitude. Nous avons étudié le rôle des interactions interspécifiques dans la réponse des communautés au changement climatique et aux interventions de gestion dans les communautés d'oiseaux, de plantes et de mammifères. En outre, nous avons développé des codes informatiques et des « packages » (dans le logiciel R) pour aider les écologues à étudier la structure et la dynamique des communautés grâce à la modélisation démographique multi-espèces. Dans l'ensemble, nous avons adopté une approche multidisciplinaire dans laquelle des questions importantes en écologie des communautés ont été abordées à l'aide de méthodes robustes et modernes issues de la démographie, des statistiques et de l'informatique.

Résultat majeur. Le résultat principal de DEMOCOM est le développement d'un cadre statistique pour l'estimation et l'inférence de la dynamique des communautés, via l'intégration des concepts, des prédictions et des outils issus des domaines de la démographie et de l'écologie des communautés. Motivés par des études de cas sur des populations sauvages, nous avons illustré le rôle des interactions interspécifiques dans la

réponse des communautés au changement climatique et aux interventions de gestion dans les communautés d'oiseaux, de plantes et de mammifères.

C.2 ENJEUX ET PROBLEMATIQUE, ETAT DE L'ART

Enjeux. La plupart des activités humaines (industrie, agriculture, pêche, tourisme) et leurs conséquences sociales et économiques reposent sur l'utilisation des ressources naturelles et de la biodiversité à travers les services écosystémiques (Costanza et al., 1997 ; Kareiva et al., 2007 ; Vitousek, 1997). Cependant, face à la demande humaine croissante en ressources naturelles (Godfray et al., 2010 ; Western, 2001), un enjeu majeur est de concilier le développement humain et la conservation de la biodiversité dans le cadre d'une utilisation durable des ressources naturelles (e.g. Maury et al., 2013). La quantification des dynamiques des populations et des communautés liées à la gestion des ressources naturelles est une étape essentielle pour y parvenir.

Malgré le rôle largement reconnu des changements environnementaux sur les populations animales et végétales, de nombreux aspects des réponses espèces-environnement restent mal compris. Par conséquent, la gestion et la conservation des populations sauvages tiennent rarement, voire jamais, compte des changements attendus dans les conditions environnementales. Le changement climatique est devenu un moteur de changements écologiques d'une importance capitale d'un point de vue social, politique et économique. L'écologie scientifique est à l'avant-garde de ce défi important car elle peut fournir aux décideurs politiques et aux sociétés des outils concrets pour décrire les causes et les conséquences du changement climatique sur les systèmes naturels et les incertitudes qui y sont associées. Outre le changement climatique, les modifications de l'utilisation des sols et l'exploitation des ressources naturelles ont considérablement modifié les écosystèmes et leur fonctionnement (Crutzen, 2002). Par exemple, l'élimination des grands prédateurs a des conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes, et donc sur les activités humaines qui dépendent directement du bon fonctionnement de ces écosystèmes.

Avant le lancement de DEMOCOM, on connaissait les conséquences du changement climatique et des pressions exercées par la gestion des ressources sur les espèces et les communautés. Toutefois, pour mieux comprendre les mécanismes sous-jacents et ainsi prévoir les conséquences de ces pressions, un cadre intégré ambitieux incorporant explicitement des réponses multi-espèces restait à développer.

Problématique. La modélisation de la dynamique des communautés est difficile en raison de la dynamique complexe des espèces en interaction (Lawton, 1999). Pour faire la lumière sur les processus qui sous-tendent les changements observés dans les communautés, il est primordial de savoir dans quelle mesure chaque espèce contribue à ces changements et de connaître la direction et l'ampleur de ces contributions. Par exemple, à la suite d'un changement climatique ou d'une perturbation humaine, les implications en matière de conservation et de gestion seraient très différentes si seulement deux ou trois espèces focales étaient responsables d'un changement observé dans un indice basé sur la communauté. En outre, l'évaluation des contributions pour des groupes fonctionnels significatifs (par exemple protégés ou non, compétitifs ou non, exotiques ou résidents) pourrait être intéressante pour tester les prévisions écologiques ou pour améliorer les plans de conservation et de gestion. La difficulté à établir un lien entre les changements au sein de la communauté et la dynamique des espèces a contribué à diviser les études empiriques et conceptuelles en deux

branches. D'une part, les approches au niveau de la communauté se concentrent sur la description des tendances spatiales et temporelles de la diversité et de la composition dans l'espace et dans le temps. Dans ce cas, les indices de richesse ou de diversité des espèces sont souvent utilisés comme descripteurs intégratifs de la communauté (Mackey & Currie, 2001). Suite à des changements environnementaux, la structure et la composition de la communauté devraient être modifiées en fonction de l'importance relative des interactions entre espèces et des processus neutres (Logue et al., 2011). Mais la manière dont ces processus peuvent être anticipés à partir de la combinaison de multiples dynamiques de populations individuelles n'était pas claire. D'autre part, les approches spécifiques se concentrent sur la façon dont les occurrences ou les abondances des espèces sont distribuées le long de gradients environnementaux. À la suite d'une perturbation, on s'attend à ce que l'abondance et la répartition des espèces soient modifiées en fonction de la position et de l'étendue de la niche de l'espèce. Par exemple, le changement climatique devrait entraîner des déplacements de l'aire de répartition des différentes espèces en fonction de leurs préférences en matière de température (Thomas et al., 2004). Cependant, l'étude des réponses de chaque espèce aux changements environnementaux peut ne pas tenir compte du rôle joué par les interactions entre les espèces dans ces réponses, et ne fournit pas de modèles pour l'écologie des communautés.

État de l'art. Globalement, si ces deux niveaux d'étude (populations et communautés) ont contribué indépendamment à mieux décrire les réponses de la biodiversité aux changements environnementaux, il restait difficile de relier les dynamiques des populations et des communautés (Walther et al., 2002) avant le démarrage de DEMOCOM. Pour appréhender pleinement les conséquences des interactions interspécifiques au niveau de la communauté, nous devons penser à l'intérieur de la boîte des espèces (Miller & Rudolf, 2011). Il s'agit en fait du cœur de la démographie, qui vise à saisir la variation de la taille, des âges et des stades ontogéniques (ci-après "stades") au sein d'une population (Caswell, 2001). Bien que bien développée pour les dynamiques monospécifiques, la démographie avait reçu peu d'attention dans l'écologie des communautés, malgré son grand potentiel pour élucider le rôle de la structure des stades de la population dans la structure et la dynamique de la biodiversité. Des modèles classiques multi-espèces basés sur des équations différentielles ont été proposés (Tilman, 1994) et étendus (Calcagno et al., 2006). Cependant, ces approches ont le plus souvent ignoré la contribution des espèces individuelles à la dynamique des communautés et se sont concentrées sur les conditions de coexistence des espèces, ou sur le rôle spécifique de la compétition et de la dispersion. En outre, ces modèles théoriques n'ont guère été étayés par des données empiriques réelles.

Construction de modèles démographiques - Divers modèles ont été proposés pour évaluer la dynamique des populations d'une seule espèce à partir des informations démographiques disponibles (Caswell, 2001). Pour les oiseaux et les mammifères, des modèles structurés par âge sont souvent utilisés (matrice de Leslie). Pour les plantes et les poissons, des modèles structurés par stade sont couramment utilisés (matrice de Lefkovitch). Les modèles de projection intégrale étendent les modèles matriciels structurés par âge et par stade aux variables de taille continues afin de définir un modèle de population (Easterling et al., 2000). Les modèles monospécifiques ont été étendus à plusieurs espèces, à la fois dans des communautés non structurées (Chesson, 2000 ; May, 1973) ou structurées (de Roos & Persson, 2013), mais le lien avec les données de terrain est resté très contraint, limitant ainsi notre compréhension de la structure et de la dynamique des communautés. A notre

connaissance, la seule tentative en ce sens a été faite en écologie marine sous l'influence de De Roos et de ses collaborateurs (de Roos & Persson, 2013 ; Gårdmark et al., 2014). Dans DEMOCOM, notre objectif principal était de développer un cadre statistique pour combiner des modèles démographiques mathématiques multi-espèces et des séries temporelles de données pour l'inférence sur les communautés.

Estimation des paramètres démographiques - Pour calibrer les modèles démographiques, il est nécessaire d'estimer les paramètres démographiques. Les modèles d'estimation de la démographie des animaux et des plantes sauvages doivent intégrer des paramètres de nuisance pour tenir compte de la détectabilité incomplète dans le suivi des individus (Gimenez et al., 2008 ; Lebreton et al., 1992). Parce qu'ils contournent l'impossibilité pratique d'un suivi exhaustif inhérente aux études en conditions naturelles, les modèles de capture-recapture ont eu un impact important sur la recherche en biologie des populations en permettant l'estimation de la plupart des paramètres démographiques (survie, reproduction, dispersion). En outre, les modèles de capture-recapture permettent d'estimer les effets environnementaux tels que la température ou la pluviométrie, ainsi que les effets individuels tels que le sexe, l'âge, le statut social et les interactions potentielles entre eux. Avant le lancement de DEMOCOM, les membres du consortium avaient largement contribué à l'extension des modèles de capture-recapture monospécifiques aux modèles multispécifiques (Papadatou et al., 2011 ; Abadi et al., 2014). Cependant, l'intégration explicite de paramètres pour la force des interactions entre les espèces dans les modèles de capture-recapture restait à faire.

Un cadre démographique intégré - Jusqu'à récemment, les deux étapes ci-dessus étaient réalisées en séquence, le plus souvent en ignorant l'incertitude associée à l'estimation des paramètres démographiques. Des modèles démographiques intégrés ont été développés pour déduire la démographie de la population en utilisant de manière optimale toutes les sources d'information disponibles (Schaub & Abadi, 2010). Dans leur forme la plus simple, ces modèles combinent les comptages de population et les données démographiques en une seule analyse, ce qui permet d'estimer les paramètres démographiques tout en tenant compte des diverses sources d'incertitude dans chaque source de données (par exemple, l'erreur de mesure ou l'estimation des paramètres). Étant donné que les données de comptage de la population contiennent également des informations sur tous les paramètres démographiques de la population étudiée, l'intégration de ces deux types de données dans une seule analyse pourrait se traduire par une plus grande précision des estimations des paramètres et permettre l'estimation de paramètres qui ne pourraient pas être estimés autrement, comme la fécondité (Besbeas et al., 2002). Le consortium DEMOCOM a été impliqué dans des développements théoriques sur les modèles intégrés (Abadi, Gimenez, Arlettaz, et al., 2010 ; Abadi, Gimenez, Ullrich, et al., 2010 ; Borysiewicz et al., 2008 ; McCrea et al., 2010) ainsi que dans leurs applications (Schaub et al., 2007, 2010). Avant le démarrage de DEMOCOM, cette approche n'avait peu ou pas encore été appliquée dans un contexte multi-espèces malgré un grand potentiel en écologie des communautés.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Avec DEMOCOM, notre objectif principal était de proposer un cadre statistique intégré pour l'estimation et l'inférence de la dynamique des communautés via le développement d'une démographie multi-espèces rassemblant des concepts, des prédictions et des outils issus des

domaines de la démographie et de l'écologie des communautés. Dans DEMOCOM, nous avons cherché à développer une approche méthodologique originale s'appuyant sur trois groupes de travail (WP).

Dans le WP1, nous avons développé le cadre méthodologique de DEMOCOM pour combiner des informations potentiellement hétérogènes et éparses sur des populations multi-espèces structurées par âge/étape dans des modèles de communautés dynamiques. Ceci a fourni les bases sur lesquelles les études de cas du WP2 ont été développées.

Dans le WP2, nous avons étudié la dynamique des communautés de plantes, d'oiseaux, et de mammifères, dans le but de quantifier le rôle des interactions dans la réponse de la communauté au changement climatique et aux interventions de gestion sur les assemblages multi-espèces. Pour toutes ces communautés "d'étude de cas", nous avons bénéficié d'ensembles de données de surveillance recueillies sur des communautés naturelles composées de 2 à 60 espèces qui ont changé sous l'influence des perturbations environnementales globales qui ont caractérisé les dernières décennies.

Dans le WP3, nous avons développé des codes et des solutions logicielles pour assurer le transfert des connaissances vers les biologistes.

Globalement, nous avons adopté une approche pluridisciplinaire dans laquelle des questions importantes en écologie des communautés ont été abordées avec des méthodes robustes et modernes dans les domaines de la démographie, des statistiques et de l'informatique.

C.4 RESULTATS OBTENUS

We organize and discuss the results we obtained by going through each WP. Concernant le WP1 et les développements méthodologiques, nous avons développé une méthode générale sur deux espèces et plus sur des dynamiques prédateur-proie (Barraquand & Gimenez, 2019), que nous avons étendu à d'autres types d'interactions (Kazakou et al., 2021) et à des types de données complémentaires (Barraquand & Gimenez, 2021). La méthode permet l'estimation des paramètres démographiques et des paramètres d'interactions spécifiques. Les performances de l'approche ont été évaluées positivement à l'aide de simulations. L'analyse mathématique des modèles est cruciale, et nous a permis de réaliser par exemple que la densité dépendance intra-espèce est importante pour la stabilité du système (Bardon & Barraquand, 2023). Un autre développement concerne la mise en place d'outils simples de caractérisation des dynamiques temporelles des espèces et des communautés. Une étude a notamment cherché à lier de manière explicite la contribution des espèces individuelles à des reconfiguration de communautés (Gaüzère et al., 2019), et cette étude est marquée par son application flexible à différentes situations et jeux de données (Rigal et al., 2022). Une autre avancée du même ordre a été la mise en place d'un diagnostic statistique des trajectoires non linéaires typiquement rencontrées dans la dynamique des populations et des communautés (Rigal et al., 2020). Enfin, nous avons également exploré la pertinence de notre approche à des espèces pour lesquelles on peut étudier la démographie spatialement (Kleiven et al., 2023). Ces travaux ont été mis en lumière dans un article de synthèse auquel nous avons participé (Frost et al., 2022; Rounsevell et al., 2021) et ont contribué à la réflexion sur l'édition d'un volume spécial entre plusieurs revues de la British Ecological Society (Salguero-Gómez et al., 2018). Concernant le WP2 et les applications, les principaux développements ont été accomplis dans le cadre des travaux des stagiaires de Master, doctorant.e.s et post-doctorant.e.s associé.e.s à DEMOCOM, et en particulier Lucile Marescot, Nina Santostasi, Vincenzo Gervasi, Gilles Maurer, Sarah Bauduin, Maëlis Kervellec sur les mammifères (Bauduin et al., 2020, 2022; Gervasi et al., 2021; Gimenez et al., 2022; Kervellec et al., 2023;

Marescot et al., 2020; Maurer et al., 2017; Santostasi et al., 2019, 2020, 2021) et Maud Quérroué, Nathan Pacoureaux, Manon Ghislain et Lise Viollat sur les oiseaux (Ghislain et al., 2022; Pacoureaux et al., 2019; Quérroué et al., 2021; Viollat et al., 2023). On notera entre autres l'utilisation des développements produits dans le WP1 pour informer sur l'impact du climat sur les relations prédateur-proies chez des oiseaux de mer ou encore sur la gestion de l'hybridation et du braconnage chez les grands prédateurs. Une application importante a été aussi de confirmer l'existence d'interactions écologiques à larges échelles. En effet, la plupart des études issues de l'exploitation des jeux de données de sciences participatives comme le Suivi Temporel des Oiseaux Communs (STOC) se sont auparavant concentrées sur la dynamique des espèces individuelles (pour par exemple retracer leurs tendances temporelles) ou sur des indices de diversité des communautés (comme la richesse spécifique). DEMOCOM a permis de révéler l'existence d'associations positives et négatives entre espèces et a démontré que l'homogénéisation biotique (le remplacement systématique de certaines espèces par d'autres) entraînait une homogénéisation des liens *entre* espèces (Rigal et al., 2022). Une autre étude plus spécifique sur ce thème a cherché à valider l'utilisation des données d'un groupe d'espèces en particulier (les mésanges) comme indicateur synthétique de densité des oiseaux en général (Kajanus et al., 2022). Concernant le WP3 et la mise à disposition des méthodes auprès des écologues, nous avons développé et publié un paquet R pour les tests d'ajustement des modèles de capture-recapture (Gimenez et al., 2018). Les codes associés aux modèles développés et aux applications proposées sont disponibles et reproductibles, le plus souvent via la plate-forme GitHub.

C.5 EXPLOITATION DES RESULTATS

Les résultats des WP1 et WP3 en particulier sont actuellement utilisés dans plusieurs travaux de doctorat et post-doctorat dans lesquels les membres de DEMOCOM sont impliqués.

C.6 DISCUSSION

Parmi les perspectives ouvertes dans et par DEMOCOM, celles relatives à la prise en compte de nombreuses espèces est centrale et reste un verrou majeur de par les lourdeurs de calcul. Les méthodes de réduction de dimensions sont une piste envisageable, ainsi que l'addition d'information a priori sur les interactions possibles. Une autre perspective plus écologique consistera à tester dans quelles mesures l'approche proposée qui se concentre sur les co-occurrences d'espèces renseigne bien sur les interactions entre ces espèces. Enfin, si les résultats du projet DEMOCOM sont très positifs, il reste à montrer que le cadre de travail proposé saura s'imposer dans la communauté des écologues. Si les solutions logicielles sont certainement à améliorer, des opportunités de dialogue entre écologues des populations et des communautés restent à créer.

C.7 CONCLUSIONS

Le projet DEMOCOM a réuni des chercheuses et chercheurs en début de carrière et à un stade plus avancé dans leur carrière afin de proposer des études sur la démographie multi-espèce et l'écologie des communautés. DEMOCOM s'est caractérisé par une grande pluridisciplinarité, avec la modélisation statistique au service de l'écologie pour répondre à des questions sur l'effet des forçages environnementaux et de la gestion. Les membres du projet DEMOCOM se réjouissent des résultats obtenus, ainsi que des suites à venir.

C.8 REFERENCES

- Abadi, F., Barbraud, C., Besson, D., Bried, J., Crochet, P.-A., Delord, K., Forcada, J., Grosbois, V., Phillips, R. a., Sagar, P., Thompson, P., Waugh, S., Weimerskirch, H., Wood, A. G., & Gimenez, O. (2014). Importance of accounting for phylogenetic dependence in multi-species mark-recapture studies. *Ecological Modelling*, 273, 236–241. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.11.017>
- Abadi, F., Gimenez, O., Arlettaz, R., & Schaub, M. (2010). An assessment of integrated population models: Bias, accuracy, and violation of the assumption of independence. *Ecology*, 91(1), 7–14.
- Abadi, F., Gimenez, O., Ullrich, B., Arlettaz, R., & Schaub, M. (2010). Estimation of immigration rate using integrated population models. *Journal of Applied Ecology*, 47(2), 393–400. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01789.x>
- Bardon, G., & Barraquand, F. (2023). Effects of Stage Structure on Coexistence: Mixed Benefits. *Bulletin of Mathematical Biology*, 85(5), 33. <https://doi.org/10.1007/s11538-023-01135-6>
- Barraquand, F., & Gimenez, O. (2019). Integrating multiple data sources to fit matrix population models for interacting species. *Ecological Modelling*, 411, 108713. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.06.001>
- Barraquand, F., & Gimenez, O. (2021). Fitting stochastic predator–prey models using both population density and kill rate data. *Theoretical Population Biology*, 138, 1–27. <https://doi.org/10.1016/j.tpb.2021.01.003>
- Bauduin, S., Germain, E., Zimmermann, F., Idelberger, S., Herdtfelder, M., Heurich, M., Kramer-Schadt, S., Duchamp, C., Drouet-Hoguet, N., Morand, A., Blanc, L., Charbonnel, A., & Gimenez, O. (2022). *Eurasian lynx populations in Western Europe: What prospects for the next 50 years?* (p. 2021.10.22.465393). bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2021.10.22.465393>
- Bauduin, S., Grente, O., Santostasi, N. L., Ciucci, P., Duchamp, C., & Gimenez, O. (2020). An individual-based model to explore the impacts of lesser-known social dynamics on wolf populations. *Ecological Modelling*, 433, 109209. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109209>
- Besbeas, P., Freeman, S. N., Morgan, B. J. T., & Catchpole, E. A. (2002). Integrating mark-recapture-recovery and census data to estimate animal abundance and demographic parameters. *Biometrics*, 58(3), 540–547.
- Borysiewicz, R. S., Morgan, B. J. T., Henaux, V., Begnballe, T., Lebreton, J. D., & Gimenez, O. (2008). An integrated analysis of multisite recruitment, mark-recapture-recovery and multisite census data. *Environmental and Ecological Statistics*, 3, 579–591.
- Calcagno, V., Mouquet, N., Jarne, P., & David, P. (2006). Coexistence in a metacommunity: The competition-colonization trade-off is not dead. In *Ecology Letters* (Vol. 9, Issue 8, pp. 897–907).
- Caswell, H. (2001). Matrix population models: Construction, analysis, and interpretation. Sinauer Associates. In *Sunderland Massachusetts USA*. Sinauer Sunderland (MA), USA.
- Chesson, P. (2000). MECHANISMS OF MAINTENANCE OF SPECIES DIVERSITY. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 31, 343–366. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.343>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. In *Nature* (Vol. 387, Issue 6630, pp. 253–260). <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Crutzen, P. J. (2002). Geology of mankind. *Nature*, 415(6867), 23. <https://doi.org/10.1038/415023a>
- de Roos, A. M., & Persson, L. (2013). Population and community ecology of ontogenetic development. In *Monographs in population biology*. <https://doi.org/10.2307/j.ctt1r2g73>
- Easterling, M. R., Ellner, S. P., & Dixon, P. M. (2000). Size-Specific Sensitivity: Applying a New Structured Population Model. *Ecology*, 81(3), 694–708. <https://doi.org/10.2307/177370>
- Frost, F., McCrea, R., King, R., Gimenez, O., & Zipkin, E. (2022). Integrated Population Models: Achieving Their Potential. *Journal of Statistical Theory and Practice*, 17(1), 6. <https://doi.org/10.1007/s42519-022-00302-7>
- Gårdmark, A., Casini, M., Huss, M., Leeuwen, A. van, Hjelm, J., Persson, L., & Roos, A. M. de. (2014). Regime shifts in exploited marine food webs: Detecting mechanisms underlying alternative stable

states using size-structured community dynamics theory. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370, 20130262.

Gaüzère, P., Doucier, G., Devictor, V., & Kéfi, S. (2019). A framework for estimating species-specific contributions to community indicators. *Ecological Indicators*, 99, 74–82. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.069>

Gervasi, V., Linnell, J. D. C., Berce, T., Boitani, L., Cerne, R., Ciucci, P., Cretois, B., Derron-Hilfiker, D., Duchamp, C., Gastineau, A., Grente, O., Huber, D., Iliopoulos, Y., Karamanlidis, A. A., Kojola, I., Marucco, F., Mertzanis, Y., Männil, P., Norberg, H., ... Gimenez, O. (2021). Ecological correlates of large carnivore depredation on sheep in Europe. *Global Ecology and Conservation*, 30, e01798. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01798>

Ghislain, M., Bonnet, T., Godeau, U., Dehorter, O., Gimenez, O., & Henry, P.-Y. (2022). *Synchrony in adult survival is remarkably strong among common temperate songbirds across France*. <https://ecoevorxiv.org/repository/view/3762/>

Gimenez, O., Kervellec, M., Fanjul, J.-B., Chainé, A., Marescot, L., Bollet, Y., & Duchamp, C. (2022). Trade-off between deep learning for species identification and inference about predator-prey co-occurrence: Reproducible R workflow integrating models in computer vision and ecological statistics. *Computo*, 1. <https://doi.org/10.57750/yfm2-5f45>

Gimenez, O., Lebreton, J.-D., Choquet, R., & Pradel, R. (2018). R2ucare: An r package to perform goodness-of-fit tests for capture–recapture models. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(7), 1749–1754. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.13014>

Gimenez, O., Viallefont, A., Charmantier, A., Pradel, R., Cam, E., Brown, C. R., Anderson, M. D., Brown, M. B., Covas, R., & Gaillard, J.-M. (2008). The risk of flawed inference in evolutionary studies when detectability is less than one. *The American Naturalist*, 172(3), 441–448. <https://doi.org/10.1086/589520>

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: The challenge of feeding 9 billion people. *Science (New York, N.Y.)*, 327(5967), 812–818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>

Kajanus, M. H., Forsman, J. T., Vollstädt, M. G. R., Devictor, V., Elo, M., Lehtiköinen, A., Mönkkönen, M., Thorson, J. T., & Kivelä, S. M. (2022). Titmice are a better indicator of bird density in Northern European than in Western European forests. *Ecology and Evolution*, 12(2), e8479. <https://doi.org/10.1002/ece3.8479>

Kareiva, P., Watts, S., McDonald, R., & Boucher, T. (2007). Domesticated nature: Shaping landscapes and ecosystems for human welfare. *Science (New York, N.Y.)*, 316(5833), 1866–1869. <https://doi.org/10.1126/science.1140170>

Kazakou, E., Fried, G., Cheptou, P.-O., & Gimenez, O. (2021). Does seed mass drive interspecies variation in the effect of management practices on weed demography? *Ecology and Evolution*, 11(19), 13166–13174. <https://doi.org/10.1002/ece3.8038>

Kervellec, M., Milleret, C., Vanpé, C., Quenette, P.-Y., Sentilles, J., Palazón, S., Jordana, I. A., Jato, R., Irurtia, M. M. E., & Gimenez, O. (2023). Integrating opportunistic and structured non-invasive surveys with spatial capture-recapture models to map connectivity of the Pyrenean brown bear population. *Biological Conservation*, 278, 109875.

Kleiven, E. F., Barraquand, F., Gimenez, O., Henden, J.-A., Ims, R. A., Soininen, E. M., & Yoccoz, N. G. (2023). A Dynamic Occupancy Model for Interacting Species with Two Spatial Scales. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*. <https://doi.org/10.1007/s13253-023-00533-6>

Lawton, J. H. (1999). Are There General Laws in Ecology? *Oikos*, 84(2), 177–192.

Lebreton, J.-D., Burnham, K. P., Clobert, J., & Anderson, D. R. (1992). Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: A unified approach with case studies. *Ecological Monographs*, 62(1), 67–118.

Logue, J. B., Mouquet, N., Peter, H., & Hillebrand, H. (2011). Empirical approaches to metacommunities: A review and comparison with theory. In *Trends in Ecology & Evolution* (Vol. 26, Issue 9, pp. 482–491). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.04.009>

- Mackey, R. L., & Currie, D. J. (2001). The diversity-disturbance relationship: Is it generally strong and peaked? *Ecology*, 82(12), 3479–3492.
- Marescot, L., Lyet, A., Singh, R., Carter, N., & Gimenez, O. (2020). Inferring wildlife poaching in southeast Asia with multispecies dynamic occupancy models. *Ecography*, 43(2), 239–250. <https://doi.org/10.1111/ecog.04536>
- Maurer, G., Rashford, B. S., Chanthavong, V., Mulot, B., & Gimenez, O. (2017). Wild-captive interactions and economics drive dynamics of Asian elephants in Laos. *Scientific Reports*, 7(1), 14800. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13907-x>
- Maury, O., Miller, K., Campling, L., Arrizabalaga, H., Aumont, O., Bodin, ??, Guilloireau, P., Hobday, A. J., Marsac, F., Suzuki, Z., & Murtugudde, R. (2013). A global science-policy partnership for progress toward sustainability of oceanic ecosystems and fisheries. In *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 5, Issues 3–4, pp. 314–319).
- May, R. M. (1973). Stability and complexity in model ecosystems. In R. M. May (Ed.), *Evolution* (Vol. 28, Issue 3). Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/2407184>
- McCrea, R. S., Morgan, B. J. T., Gimenez, O., Besbeas, P., Lebreton, J. D., & Bregnballe, T. (2010). Multi-site integrated population modelling. *Journal of Agricultural Biological and Environmental Statistics*, 15(4), 539–561.
- Miller, T. E. X., & Rudolf, V. H. W. (2011). Thinking inside the box: Community-level consequences of stage-structured populations. *Trends in Ecology & Evolution*, 26(9), 457–466.
- Pacoureaux, N., Delord, K., Jenouvrier, S., & Barbraud, C. (2019). Demographic and population responses of an apex predator to climate and its prey: A long-term study of South Polar Skuas. *Ecological Monographs*, 89(4), e01388. <https://doi.org/10.1002/ecm.1388>
- Papadatou, E., Ibáñez, C., Pradel, R., Juste, J., & Gimenez, O. (2011). Assessing survival in a multi-population system: A case study on bat populations. *Oecologia*, 165, 925–933. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1771-5>
- Péron, G., & Koons, D. N. (2012). Integrated modeling of communities: Parasitism, competition, and demographic synchrony in sympatric ducks. *Ecology*, 93(11), 2456–2464. <https://doi.org/10.1890/11-1881.1>
- Quérroué, M., Barbraud, C., Barraquand, F., Turek, D., Delord, K., Pacoureaux, N., & Gimenez, O. (2021). Multispecies integrated population model reveals bottom-up dynamics in a seabird predator–prey system. *Ecological Monographs*, 91(3), e01459. <https://doi.org/10.1002/ecm.1459>
- Rigal, S., Devictor, V., & Dakos, V. (2020). A method for classifying and comparing non-linear trajectories of ecological variables. *Ecological Indicators*, 112, 106113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106113>
- Rigal, S., Devictor, V., Gaüzère, P., Kéfi, S., Forsman, J. T., Kajanus, M. H., Mönkkönen, M., & Dakos, V. (2022). Biotic homogenisation in bird communities leads to large-scale changes in species associations. *Oikos*, 2022(3), e08756. <https://doi.org/10.1111/oik.08756>
- Rounsevell, M. D. A., Arneth, A., Brown, C., Cheung, W. W. L., Gimenez, O., Holman, I., Leadley, P., Luján, C., Mahevas, S., Maréchaux, I., Péliissier, R., Verburg, P. H., Vieilledent, G., Wintle, B. A., & Shin, Y.-J. (2021). Identifying uncertainties in scenarios and models of socio-ecological systems in support of decision-making. *One Earth*, 4(7), 967–985. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.003>
- Salguero-Gómez, R., Violle, C., Gimenez, O., & Childs, D. (2018). Delivering the promises of trait-based approaches to the needs of demographic approaches, and vice versa. *Functional Ecology*, 32(6), 1424–1435. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.13148>
- Santostasi, N. L., Ciucci, P., Bearzi, G., Bonizzoni, S., & Gimenez, O. (2020). Assessing the dynamics of hybridization through a matrix modelling approach. *Ecological Modelling*, 431, 109120. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109120>
- Santostasi, N. L., Ciucci, P., Caniglia, R., Fabbri, E., Molinari, L., Reggioni, W., & Gimenez, O. (2019). Use of hidden Markov capture–recapture models to estimate abundance in the presence of uncertainty: Application to the estimation of prevalence of hybrids in animal populations. *Ecology and Evolution*, 9(2), 744–755. <https://doi.org/10.1002/ece3.4819>

Santostasi, N. L., Gimenez, O., Caniglia, R., Fabbri, E., Molinari, L., Reggioni, W., & Ciucci, P. (2021). Estimating Admixture at the Population Scale: Taking Imperfect Detectability and Uncertainty in Hybrid Classification Seriously. *The Journal of Wildlife Management*, 85(5), 1031–1046. <https://doi.org/10.1002/jwmg.22038>

Schaub, M., & Abadi, F. (2010). Integrated population models: A novel analysis framework for deeper insights into population dynamics. *Journal of Ornithology*, 152(S1), 227–237. <https://doi.org/10.1007/s10336-010-0632-7>

Schaub, M., Aebischer, A., Gimenez, O., Berger, S., & Arlettaz, R. (2010). Massive immigration balances high anthropogenic mortality in a stable eagle owl population: Lessons for conservation. *Biological Conservation*, 143(8), 1911–1918. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.04.047>

Schaub, M., Gimenez, O., Sierro, A., & Arlettaz, R. (2007). Use of integrated modeling to enhance estimates of population dynamics obtained from limited data. *Conservation Biology*, 21(4), 945–955.

Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., De Siqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Van Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L., & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145–148.

Tilman, D. (1994). Competition and biodiversity in spatially structured habitats. *Ecology*, 75(1), 2–16.

Viollat, L., Quérroué, M., Delord, K., Gimenez, O., & Barbraud, C. (2023). *Bottom-up Effects and Density Dependence Drive the Dynamic of an Antarctic Seabird Predator-Prey System* (p. 2023.06.06.543885). bioRxiv. <https://doi.org/10.1101/2023.06.06.543885>

Vitousek, P. M. (1997). Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, 277(5325), 494–499. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.494>

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(6879), 389–395. <https://doi.org/10.1038/416389a>

Western, D. (2001). Human-modified ecosystems and future evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98(10), 5458–5465.

D LISTE DES LIVRABLES

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
		Project management			
2 mo		Meeting 1 – kick-off meeting	Réunion	All partners, <u>O. Gimenez</u>	Delivered
14 mo		Meeting 2	Réunion	All partners, <u>O. Gimenez</u>	Delivered
26 mo		Meeting 3	Réunion	All partners, <u>O. Gimenez</u>	Delivered
38 mo		Meeting 4	Réunion	All partners, <u>O. Gimenez</u>	Delivered
6 mo		Website of the project	Site web	All partners, <u>O. Gimenez</u>	Delivered
		Work package 1: models			
24 mo		Pub: multispecies demographic models; age/stage structured	Article scientifique	All partners, <u>M. Quérroué</u>	Delivered
26 mo		Pub: multispecies integral projection models	Article scientifique		Abandoned (done by others)
30 mo		Pub: community	Article	All partners but OFB,	Delivered

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
		sensitivity analyses (birds)	scientifique	<u>F. Barraquand</u>	
32 mo		Pub: community sensitivity analyses transient dynamics (carnivores)	Article scientifique	CEFE, OFB, IBM, <u>E. Barraquand</u>	Delivered
30 mo		Pub: relative importance of dem param in community dynamics	Article scientifique	IBM, CEFE, <u>E. Barraquand</u>	Delivered
42 mo		Pub: integrated community models; compare estimation methods	Article scientifique	CEFE, IBM, <u>M. Quérroué</u>	Delivered
24 mo		Pub: multispecies demographic models in a stochastic framework	Article scientifique	All partners but OFB, <u>M. Quérroué</u>	Delivered
30 mo		Pub: integral projection models as state-space models	Article scientifique		Abandoned (done by others)
42 mo		Talks: At least 10 talks or posters (over the entire project)	Exposés scientifiques	All partners	Delivered
		Work package 2: case studies			
24 mo		Pub: Effect of climate forcing on a simple predator-prey system	Article scientifique	CEFE, CEBC, IBM, <u>M. Quérroué</u>	Delivered
36 mo		Pub: Impact of climate forcing on a community of songbirds	Article scientifique	All partners but OFB, <u>M. Quérroué</u>	Delivered
36 mo		Pub: Coexistence of tuna species, with emphasis on the role of age	Article scientifique	MARBEC, CEFE, <u>D. Gaertner</u>	Ongoing
30 mo		Pub: Community modeling of carnivores (meth.)	Article scientifique	CEFE, OFB, <u>L. Marescot</u>	Delivered
30 mo		Pub: Practical recommendation on managing carnivores (appl.)	Rapport	CEFE, OFB, <u>C. Duchamp</u>	Delivered
30 mo		Policy report: Recommendations on management of carnivores	Rapport	CEFE, OFB, <u>C. Duchamp</u>	Delivered
36 mo		Policy report: Recommendations on management of tunas	Rapport	MARBEC, CEFE, <u>D. Gaertner</u>	Yet to be done
46 mo		Talks: At least 10 talks or posters (over the entire project)	Exposés scientifiques	All partners	Delivered
		Work package 3: software			
46 mo		Pub: introduction of the software (for Methods in Ecol and Evol)	Article scientifique	CEFE, <u>O. Gimenez</u>	Delivered

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
46 mo		Report: Users' guide	Rapport	CEFE, <u>Q. Gimenez</u>	Yey to be done
46 mo		Website: tutorial with case studies	Site web	All partners, <u>Q. Gimenez</u>	Yet to be done
		Broader deliverables			
48 mo		Post-docs, research engineer and master students trained	Formation	All partners	Delivered
44 mo		Scientific publication: Review paper on multispecies demography	Article scientifique	CEFE, <u>Q. Gimenez</u>	Delivered
46 mo		Popular publication: the link between demography and communities	Article de vulgarisation	All partners	Yet to be done
46 mo		International workshop	Réunion	All partners	Delivered

E IMPACT DU PROJET

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	11	18
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	0	1
	Communications (conférence)	10	4
France	Revue à comité de lecture	0	0
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	0	0
	Communications (conférence)	7	0
Actions de diffusion	Articles vulgarisation	2	1
	Conférences vulgarisation	1	1
	Autres	0	0

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	0
Brevet internationaux en cours d'obtention	0
Brevets nationaux obtenus	0
Brevet nationaux en cours d'obtention	0
Licences d'exploitation (obtention / cession)	0

Créations d'entreprises ou essaimage	0
Nouveaux projets collaboratifs	5
Colloques scientifiques	0
Autres (préciser)	1

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

INTERNATIONAL

Revues à comité de lecture

Bardon, G., Barraquand, F. Effects of Stage Structure on Coexistence: Mixed Benefits. Bull Math Biol 85, 33 (2023).

Barraquand F., Gimenez O. (2019). Integrating multiple data sources to fit matrix population models for interacting species. Ecological Modelling 411: 108713.

Barraquand F., Gimenez O. (2021). Fitting stochastic predator-prey models using both population density and kill rate data Theoretical Population Biology 138: 1-27.

Bauduin S., O. Grente, N.L. Santostasi, P. Ciucci, C. Duchamp, Gimenez O. (2020). An individual-based model to explore the impacts of lesser-known social dynamics on wolf populations. Ecological Modelling 433: 109209.

Bauduin S., Germain E., Zimmermann F., Idelberger S., Herdtfelder M., Heurich M., Kramer-Schadt S., Duchamp C., Drouet-Hoguet N., Morand A., Blanc L., Charbonnel A., Gimenez O. (2022). Eurasian lynx populations in Western Europe: What prospects for the next 50 years? bioRxiv preprint.

Frost F., R. McCrea, R. King, O. Gimenez, E. Zipkin (2023). Integrated Population Models: Achieving Their Potential. Journal of Statistical Theory and Practice 17:6.

Gamble A., Garnier R., Chambert T., Gimenez O., Boulinier T. (2020). Next generation serology: integrating cross-sectional and capture-recapture approaches to infer disease dynamics. Ecology 101:e02923.

Gaüzère, P., Doucier, G., Devictor, V., and Kéfy, S. (2019), A framework for estimating species-specific contributions to community indicators. Ecological Indicators, 99: 74-82.

Gervasi V., J. Linnell, T. Berce, L. Boitani, B. Cretois, P. Ciucci, C. Duchamp, A. Gastineau, O. Grente, D. Hilfiker, D. Huber, Y. Iliopoulos, A. Karamanlidis, F. Marucco, Y. Mertzanis, P. Mannil, H. Norberg, N. Pagon, L. Pedrotti, P.-Y. Quenette, S. Reljic, V. Salvatori, T. Talvi, M. von Arx, Gimenez O. (2021). Ecological correlates of large carnivore depredation on sheep in Europe. Global Ecology and Conservation 30: e01798.

Ghislain M., T. Bonnet, U. Godeau, O. Dehorter, O. Gimenez, P.-Y. Henry (2022). Synchrony in adult survival is remarkably strong among common temperate songbirds across France. EcoEvoRxiv preprint.

Gimenez O., J.-M. Gaillard (2018). Estimating individual fitness in the wild using capture–recapture data. *Population Ecology*. 60: 101–109.

Gimenez O., Lebreton J.-D., Choquet R., Pradel R. (2018). R2ucare: An r package to perform goodness-of-fit tests for capture–recapture models. *Methods in Ecology and Evolution* 9: 1749–1754.

Gimenez O., E. Cam, J.-M. Gaillard (2018). Individual heterogeneity and capture–recapture models: what, why and how? *Oikos*. 127: 664–686.

Gimenez O., M. Kervellec, J.-B. Fanjul, A. Chaine, L. Marescot, Y. Bollet, C. Duchamp (2021) Trade-off between deep learning for species identification and inference about predator-prey co-occurrence: Reproducible R workflow integrating models in computer vision and ecological statistics. *Computo*.

Kazakou E., Fried G., Cheptou P.-O., and Gimenez O. (2021). Does seed mass drive interspecies variation in the effect of management practices on weed demography? *Ecology and Evolution* 00: 1–9. <https://doi.org/10.1002/ece3.8038>

Kervellec M., C. Milleret, C. Vanpé, P.-Y. Quenette, J. Sentilles, S. Palazón, I. A. Jordana, R. Jato, M. M. Elósegui Iurrtia, O. Gimenez (2023). Integrating opportunistic and structured non-invasive surveys with spatial capture-recapture models to map connectivity of the Pyrenean brown bear population. *Biological Conservation*. 278: 109875.

Kleiven E.F., F. Barraquand, Gimenez O., J.-A. Henden, R. Anker Ims, E. M. Soininen, N. G. Yoccoz (2023). A Dynamic Occupancy Model for Interacting Species with Two Spatial Scales. *JABES*. In press.

Marescot L., Lyet A., Singh R., Carter N., Gimenez O. (2019). Inferring wildlife poaching in southeast Asia with multispecies dynamic occupancy models. *Ecography* 42: 1–12.

Maurer G., Rashford B. S., Chanthavong V., Mulot B., Gimenez O. (2017). Wild-captive interactions and economics drive dynamics of Asian elephants in Laos. *Scientific Reports*. DOI:10.1038/s41598-017-13907-x.

Pacoureaux, N., Delord, K., Jenouvrier, S., and Barbraud, C.. 2019. Demographic and population responses of an apex predator to climate and its prey: a long-term study of South Polar Skuas. *Ecological Monographs* 89(4):e01388. 10.1002/ecm.1388.

Quérroué M., C. Barbraud, F. Barraquand, D. Turek, K. Delord, N. Pacoureaux, Gimenez O. (2021). Multispecies integrated population model reveals bottom-up dynamics in a seabird predator-prey system *Ecological Monographs* 91: e01459.

Rigal, S., Devictor, V., Gaüzère, P., Kéfi, S., Forsman, J.T., Kajanus, M.H., Mönkkönen, M. and Dakos, V. (2022), Biotic homogenisation in bird communities leads to large-scale changes in species associations. *Oikos*, e08756.

Rigal, S., Devictor, V., and Dakos, V. (2020), A method for classifying and comparing non-linear trajectories of ecological variables. *Ecological Indicators*, 106113.

Rounsevell M.D.A., A. Arneth, C. Brown, W.W.L. Cheung, O. Gimenez, I. Holman, P. Leadley, C. Luján, S. Mahevas, I. Maréchaux, R. Péliissier, P. H. Verburg, G. Vieilledent, B.A. Wintle, Y-J Shin (2021). Identifying uncertainties in scenarios and models of socio-ecological systems in support of decision-making. *One Earth* 4.

Salguero-Gomez R., Violle C., Gimenez O., Childs D. (2018). Delivering the promises of trait-based approaches to the needs of demographic approaches, and vice versa. *Functional Ecology* 32: 1424–1435.

Santostasi N.L., P. Ciucci, R. Caniglia, E. Fabbri, L. Molinari, W. Reggioni, Gimenez O. (2019). Use of hidden Markov capture–recapture models to estimate abundance in the presence of uncertainty: Application to the estimation of prevalence of hybrids in animal populations. *Ecology and Evolution* 9: 744-755.

Santostasi N.L., Ciucci P., Bearzi G., Bonizzoni S., Gimenez O. (2020). Assessing the dynamics of hybridization through a matrix modelling approach. *Ecological Modelling* 431: 109120.

Santostasi N. L., O. Gimenez, R. Caniglia, E. Fabbri, L. Molinari, W. Reggioni, P. Ciucci (2021). Estimating Admixture at the Population Scale: Taking Imperfect Detectability and Uncertainty in Hybrid Classification Seriously. *Journal of Wildlife Management* 85: 1031-1046.

Viollat, L., Quéroué, M., Delord, K., Gimenez, O. & Barbraud, C. (2023) Bottom-up effects and density-dependence drive the dynamic of an Antarctic seabird predator-prey system. Submitted.

Vitet C., P. Duncan, Gimenez O., C. Mabika, S. Chamaillé-Jammes (2020). Plains zebras bring evidence that dilution and detection effects may not always matter behaviorally and demographically. *Ecosphere* 11: e03288.

Ouvrages ou chapitres d'ouvrage

Peyrard N. and Gimenez O. (2022). *Statistical Approaches for Hidden Variables in Ecology*. Wiley.

Communications (conférence)

Christophe Barbraud (2019). Impact of fishing and climate on seabird demography. *Wildlife Research and Conservation*, Berlin (Germany). September/October 2019.

Olivier Gimenez (2019) A review of research in capture-recapture: Ecological questions and methods. *Wildlife Research and Conservation*. Berlin Germany.

Olivier Gimenez (2022). Statistical ecology, hidden Markov models and the management of large carnivores in Europe. June 28, 2022. Plenary talk for the ISEC2022 conference.

Olivier Gimenez (2020). Large carnivores and statistical ecology. Seminar in Lisbon (remotely).

Olivier Gimenez (2023) A review of research in capture-recapture: Ecological questions and methods. Euring international conference. Montpellier France.

Oksana Grente (2019). Identifying hotspots of wolf depredation when accounting for wolf and sheep spatial and temporal distributions , Talk, 29th International Congress for Conservation Biology, Society for Conservation Biology, Kuala Lumpur, Malaisie.

Oksana Grente (2020). Evaluation of wolf lethal control efficiency in reducing predation on livestock in France, Talk, Festival of Ecology, British Ecological Society, online.

Julie Louvrier (2023). How many sites/visits do we need to assess species interactions: A simulation study. Euring international conference. Montpellier, France.

Nathan Pacoureaux (2018). Age, density, prey, and climate drive the demographics of an apex predator. International Seabird Group Conference, Liverpool. September 2018.

Maud Quérroué (2020). Revealing how interspecific relationships and environmental fluctuations affect seabirds' population dynamics: A multispecies demography approach. International Statistical Ecology Conference 2020, 22/06-26/06/2020, Online. Honorable student talk prize.

Maud Quérroué (2020). Multispecies integrated population models reveal the relative contribution of interspecific relationships and climate fluctuations on seabirds demography. World Seabird Twitter Conference 2020, 04/05/2020. Online.

Maud Quérroué (2021). Using multispecies integrated population model to understand interspecific competition: A case study on Great Tit and Blue Tit. EURING 2021 Analytical Meeting, 31/05-11/06/2021, Online. 3rd student talk prize.

Stanislas Rigal. (2019) The spatial and temporal dynamics of interspecific associations under global changes. Ecological Society of America.

Nina Santostasi (2021). Assessing hybridization with capture-recapture models. International Statistical Ecology Conference 2020, 22/06-26/06/2020, Online.

FRANCE

Communications (conférence)

Sarah Bauduin (2019). Guiding decision-making to mitigate lynx-vehicle collisions using spatially-explicit individual-based models.. JIEM Nantes <https://jiem-nantes-19.sciencesconf.org/>

Sarah Bauduin (2019). Co-construction d'une plateforme pour tester l'impact d'aménagements. Cas d'étude: Le lynx boréal en France. OïkoLab - Sorèze, 26-27 juin 2019.

Olivier Gimenez (2020). First steps in Deep Learning - Species identification and camera traps. Speed talk at imagineecology. November 16-17, 2020, Lyon.

Olivier Gimenez (2020). Modélisation spatio-temporelle de l'aire d'occupation : le cas des grands carnivores en France. Annual meeting of the French network in Statistical ecology. 2020, Rennes France. Slides.

Olivier Gimenez (2021). Deep learning, false negatives/positives and predator-prey interactions: Peregrinations in R. March 31, 2021. Rencontres R.

Oksana Grente (2020). Identifying hotspots of wolf depredation when accounting for wolf and sheep spatial and temporal distributions, Talk, 6èmes rencontres du Groupe de Recherche en Ecologie Statistique (GdR EcoStat), Rennes.

Maud Quérroué (2020). Utilisation de modèles de population intégrés pour comprendre les effets des relations interspécifiques et des fluctuations climatiques dans la dynamique d'oiseaux marins. GDR Ecologie Statistique 2020. 09/03-10/03/2020, Rennes.

ACTIONS DE DIFFUSION

Articles vulgarisation

Grente O., C. Duchamp, S. Bauduin, S. Chamaille-Jammes, N. Drouet-Hoguet, O. Gimenez (2023). Tirs dérogatoires de loups en France : évaluation des effets sur les dommages aux troupeaux. Paru dans *Naturae* numéro 5.

Miele V., S. Dray, O. Gimenez (2021) Images, écologie et deep learning.. Regard 95 de la Société Française d'Ecologie et d'Evolution.

Grente O., C. Duchamp, S. Bauduin, T. Opitz, S. Chamaille-Jammes, N. Drouet-Hoguet, O. Gimenez (2020) Tirs dérogatoires de loups en France: état des connaissances et des enjeux pour la gestion des attaques aux troupeaux. Paru dans *Faune Sauvage* numéro 327.

Conférences vulgarisation

Olivier Gimenez (2018). Humains, cétacés et recherche académique. Rencontres sur les Interactions entre Humains et Cétacés. 2018, Marseille France.

Olivier Gimenez (2020). Grands carnivores et écologie statistique. Séminaire grand public 2020, Rennes France.

E.3 LISTE DES ELEMENTS DE VALORISATION

Nouveaux projets collaboratifs

1. Collaboration CNRS (via CEFE) et WWF-US (Arnaud Lyet) sur la démographie multi-espèce des grands prédateurs. Convention de partenariat signée.
2. Co-tutelle de thèse Université Montpellier et Université de la Sapienza à Rome - Paolo Ciucci (Italie) sur modèles de capture-recapture et matriciels multiespèces pour l'étude de l'hybridation loup/chien.
3. Brage Bremset (Norvège) sur Community dynamics in a rapidly warming high Arctic: trophic synchrony in time and space. Convention de recherche établie entre le CNRS et la Norvège.
4. Richard Bischof (Norvège) et Ian Renner (Australie) sur modèles capture-recapture spatialement explicites multi-espèces et grands carnivores. Des visites bilatérales effectuées au cours du projet.
5. Daniel Turek (USA) sur développement logiciels et modèles occupancy/capture-recapture ; co-développeur plate-forme Nimble. Sabbatique Montpellier en 2019.

Autres

1. Accroissement du réseau des stations STOC Capture en 2 ans de projet DEMOCOM (+30% de sites), ce qui est en fait le plus grand réseau national de sites de suivi standardisé par capture-recapture permettant la veille démographique sur les populations d'oiseaux communs en Europe (Suivi Temporel des Oiseaux Communs par Capture). L'accroissement est attribuable à :

- l'opération "Coup de pouce STOC Capture" financée par l'ANR DEMOCOM (comme prévu dans le projet). Les bénévoles créant une nouvelle station, ou reprenant une ancienne station, ou ayant suivi une station sur plus de 10 ans, peuvent demander à bénéficier de 5 filets de captures gratuits, financés par DEMOCOM.

- la création d'indicateurs d'état et de fonctionnement des populations et de communautés locales d'oiseaux communs, restitués annuellement à chaque bagueur, à leur destination, et à celle des gestionnaires d'espaces naturels souhaitent suivre l'impact de leurs actions de gestion sur les populations d'oiseaux. Plus d'information sur:

http://crbpo.mnhn.fr/spip.php?article41#outil_sommaire_8

Ces indicateurs sont le "bénéfice" direct pour les bénévoles de leur implication dans le STOC Capture, sur le long terme.

E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTES EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Marescot Lucile	F	lucile.marescot@cirad.fr	31/12/2022	Thèse	France	3	CEFE	Post-doc	24	31/09/2019	CDI	EPIC	Chercheuse	Non	Oui
Louvrier Julie	F	julie.louvrier2@gmail.com	31/12/2022	Thèse	France	2	CEFE	Post-doc	8	31/12/2022	Post-doc étranger	enseignement et recherche publique	Chercheuse	Non	Oui
Bauduin Sarah	F	sarah.bauduin@ofb.gouv.fr	31/12/2022	Thèse	Canada	0	CEFE	Post-doc	10	30/11/2019	CDI	EPIC	Chercheuse	Oui	Oui
Desprez Marine	F	marine.desprez@gmail.com	31/12/2022	Thèse	Australie	3	CEFE	Post-doc	9	30/09/2022	Recherche d'emploi				
Quérroué Maud	F	maud.querroue@cfe.cnrs.fr	31/12/2022	Master	France	0	CEFE	Thèse	36	30/09/2021	Post-doc France	enseignement et recherche publique	Chercheuse	Oui	Oui