

Eco-épidémiologie et déplacement des goélands leucophée des îles de Marseille

Demandeurs

Thierry BOULINIER

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive - CNRS Université Montpellier UMR 5175

1919 Route de Mende, 34293 Montpellier

Tél.: 04 67 61 32 67 Fax: 04 67 61 32 36

Email: Thierry.Boulinier@cefe.cnrs.fr

Page internet: <http://www.cefe.cnrs.fr/fr/recherche/ee/esp/777-c/151-thierry-boulinier>

Mandataires

Juliet LAMB

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive - CNRS UMR 5175

1919 Route de Mende, 34293 Montpellier

Tél.: 04 67 61 32 67

Email: juliet.lamb@cefe.cnrs.fr

Yvan LATGE

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive - CNRS UMR 5175

1919 Route de Mende, 34293 Montpellier

Tél.: 04 67 61 32 67

Email : yvan.satge@gmail.com

Jérémy TORNOS

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive - CNRS UMR 5175

1919 Route de Mende, 34293 Montpellier

Tél.: 04 67 61 32 67

Email : Jeremy.Tornos@cefe.cnrs.fr

Samuel PERRET

Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive - CNRS UMR 5175

1919 Route de Mende, 34293 Montpellier

Tél.: 04 67 61 32 67

Email : samuel.perret@cefe.cnrs.fr

Espèce concernée

Goéland leucophée *Larus michahellis*

Nombre et sexe des spécimens faisant l'objet de la demande

Pour cette étude éco-épidémiologique et du déplacement des goélands leucophée, il s'agira de capturer un **total de 200 adultes et 500 poussins** sur 5 années (en moyenne, 40 adultes et 100 poussin par saison de reproduction) pour les marquer (pose de bagues), faire des prélèvements (prises de

sang, frottis buccaux et cloacaux, plumes) et d'étudier les déplacements de 40 des adultes par pose d'appareils GPS. Un programme de baguage est demandé auprès du CRBPO/MNHN.

Afin d'étudier les effets d'échecs de reproduction induits par des actions de gestion sur le comportement des individus, la moitié de ces adultes équipés d'appareil GPS auront leurs œufs stérilisés ou enlevés (n = 20 couples).

Par ailleurs, afin d'étudier l'exposition à des agents infectieux après l'éclosion, des **prélèvements sanguins seront effectué de façon répétée** sur des poussins et **un total de 40 œufs**, correspondant à un œuf sur 3 pour un total de 40 nids (20 par saison de reproduction en 2020 et 2021) seront **prélevés pour analyses en relation avec le statut des poussins qui seront issus des autres œufs**. Un total de 40 œufs, correspondant à 1 œuf sur 3 pour ces mêmes 40 nids, auront été **échangés de façon réciproque entre nids** pour permettre de prendre en compte les effets pré- et post-éclosion lors du suivi de la dynamique sérologique des poussins.

Périodes et dates d'intervention

Mars-Mai 2020, 2021, 2022, 2023, 2024

Les dates exactes des interventions seront fonction de la phénologie de la reproduction de l'espèce sur les différents sites et des possibilités d'accès et conditions météorologiques.

Lieux d'intervention

Région PACA, Département des Bouches du Rhône (13), Iles de Marseille : Archipel du Frioul (île de Pomègue et Ratonneau), Ile d'If, Ile de Riou et Ile Plane. Les interventions auront lieu au sein du Parc National des Calanques, où les goélands leucophée nichent en abondance.

Objectifs de l'étude et contexte scientifique

L'objectif général du programme est **l'étude de l'écologie de la circulation d'agents infectieux dans les populations de goélands en relation avec les déplacements des individus et les activités humaines**. Il s'agira en particulier de déterminer l'utilisation possible du goéland leucophée comme **espèce sentinelle** de l'exposition des populations d'animaux sauvages en zone côtière à des agents infectieux (virus, bactéries, parasites ; Halliday et al. 2007) et des contaminants chimiques.

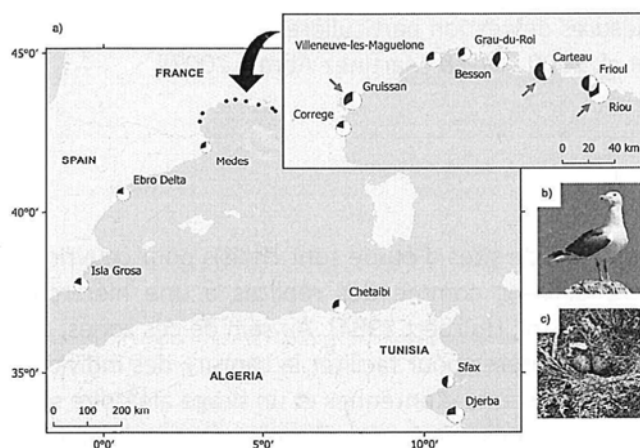
Les goélands représentent un modèle particulièrement intéressant pour ce type d'approche de par leur abondance et leur large distribution géographique autour des côtes européennes, mais aussi à cause de leur mode de vie et de leurs fortes interactions avec les activités humaines. Leur **comportements alimentaires opportunistes** les exposent à différentes sources d'agents infectieux et de contaminants ; leur reproduction en colonies et leur **vie grégaire** favorisent leur exposition à des agents infectieux; leur forte **fidélité au site de reproduction** d'une année à l'autre rend particulièrement intéressant de suivre l'histoire des individus; les **implications de certaines mesures de contrôle de leurs populations** demandent à être étudiées avec les **moyens modernes disponibles pour suivre les déplacements des individus**, notamment suite à des mises en échec de reproduction par stérilisation ou destruction des œufs. Finalement, parce qu'ils nichent dans les milieux naturels, mais aussi de plus en plus en zones urbaines, ils peuvent représenter des sentinelles particulièrement importantes à cette interface.

2 objectifs seront abordés en parallèle dans cette étude :

1- A partir données de capture-marquage-recapture et des analyses des échantillons de sang, d'écouvillons buccaux et cloacaux, de plumes et d'œufs, il s'agira non-seulement de déterminer les prévalences d'exposition à des agents infectieux et à des contaminants, mais aussi les dynamiques de réponse et persistance des anticorps: quelle est la variabilité spatiale et temporelle de l'exposition à des agents infectieux tels que *Toxoplasma gondii*, les virus de l'influenza aviaire et des flavivirus ?

2- En utilisant des appareils GPS, il s'agira de déterminer les déplacements des goélands à une hiérarchie d'échelles spatiales et temporelles (comportements d'approvisionnement alimentaire, de prospection d'autres colonies et hors saison de reproduction) en relation avec leur exposition possible à des agents infectieux et contaminants et en fonction de mesures de gestion. Il s'agira de déterminer s'il existe de fortes hétérogénéités dans l'utilisation des habitats par les individus et si des individus en échec de reproduction se comportent comme des individus en succès, avec des conséquences possibles pour les interaction des oiseaux avec des agents infectieux. Des actions de gestion des populations par destruction ou stérilisation des œufs sont autorisées sur certains sites en France, notamment dans les habitats urbains ou dans des zones touristiques (par exemple sur le château d'If, à Marseille), et il s'agira d'explorer dans quelle mesure ces actions sont susceptibles d'affecter les comportements des oiseaux et l'écologie de leur exposition aux agents infectieux.

L'échantillonnage permettra une poursuite des suivis mis en place dans le cadre d'une **Tâche d'Observation de l'Observatoire des Sciences de l'Université de Montpellier OREME** (Tâche d'Observation 'Goélands et Pathogènes'), qui ont déjà fournis des résultats sur l'exposition du goéland leucopnée à des agents infectieux (Pearce-Duvel et al. 2009, Arnal et al. 2014, Gamble et al. 2019a) et du matériel pour des analyses rétrospectives préliminaires conduites sur le mercure dans le cadre de la **DCSMM oiseaux – contaminants** (Poiriez et al., communication orale à l'International Gull Meeting, San Sebastian, Espagne, novembre 2019). Les résultats obtenus ont notamment permis de préciser que l'exposition des goélands au virus de l'influenza aviaire (Pearce-Duvel et al. 2019, Hammouda et al. 2014 ; Figure 1) et au parasite agent de la Toxoplasmose *Toxoplasma gondii* (Gamble et al. 2019a) est variable entre sites et années, mais avec des prévalences assez fortes sur toutes les zones échantillonnées (Figure 2), alors que pour les flavivirus en Méditerranée, seule la colonie de Medes (Espagne) héberge une forte proportion de goélands séropositifs (Arnal et al. 2014). Les colonies françaises ne semblent pas exposées à des flavivirus pour l'instant (Arnal et al. 2014).



Ces connaissances viennent compléter les rares éléments déjà disponibles sur ces agents (voir Cabezon et al. 2016 pour *Toxoplasma gondii*). Le suivi permettra de déterminer d'éventuels changements dans ces patterns, notamment il pourrait permettre de détecter une émergence

d'exposition à un flavivirus au sud de la France. Ce type d'approche transversale peut aussi venir compléter des suivis des oiseaux par capture-marquage-recapture afin d'estimer précisément des paramètres éco-épidémiologiques (Gamble et al. 2019b ; Figure 2). Par ailleurs, les travaux de Cabezon et al. (2016) ont été fait à partir de prélèvements uniques fait chez des poussins d'âges variables entre colonies, ce qui pose des problèmes d'interprétation à cause de possible présence d'anticorps maternels (Boulinier & Staszewski 2008) ; le suivi précis de la dynamique d'anticorps contre *Toxoplasma gondii* de lots de poussins d'origines différentes permettra déterminer de séparer des effets pré-éclosion (transmission d'anticorps maternels) d'effet pos-éclosion (réponse immunitaire suite à une exposition à l'agent infectieux).

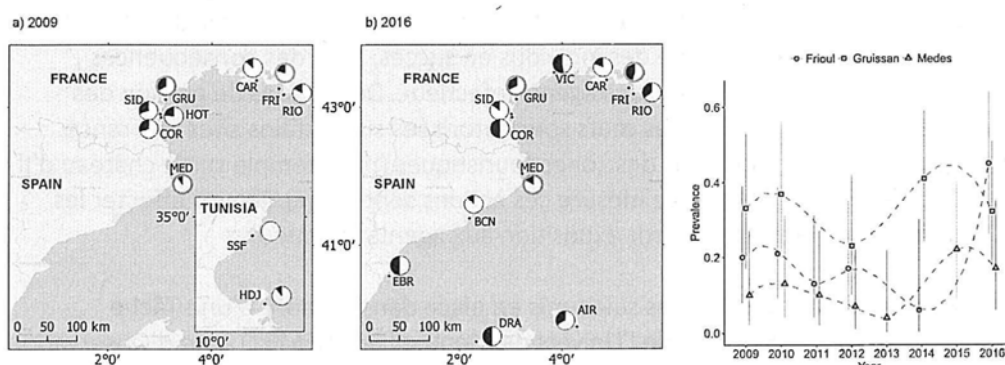


Figure 2. Variation dans l'espace et le temps des proportions de nids de goélands leucophée contenant un œuf avec des anticorps anti-*Toxoplasma gondii* dans des colonies de l'ouest méditerranéen, dont Frioul et Riou (Gamble et al. 2019a). Les données de suivis longitudinaux du statut sérologique d'individus (par capture-marquage-recapture) sont nécessaires pour interpréter les changements observés (Gamble et al. 2019b).

Les travaux proposés ont donc le potentiel de faire avancer d'une façon significative les connaissances sur les facteurs affectant l'exposition à des contaminants et la circulation de ces agents infectieux, notamment en relation avec les différents types de déplacement faits par les goélands au cours du cycle annuel (Boulinier et al. 2016, Navaro et al. 2016, 2019). Les travaux apporteront aussi des informations complémentaires sur le fonctionnement des populations de ces espèces (Bosch & Sol 1998 ; Vidal et al. 1998a, 1998b ; Ramos et al. 2009a, 2009b), ce qui a un intérêt fondamental, mais aussi appliqué, étant données les enjeux et les mesures de gestion particulières dont elles font l'objet à une échelle régionale et internationale (Bosch et al. 2000 ; Oro & Martinez-Abraín 2007).

Protocole

Zones d'étude

Pour les **capture d'adultes et équipements GPS**, une série de sites d'étude sont choisis pour couvrir un ensemble de zones dispersées qui pourront être utilisées comme des répliques à une hiérarchie d'échelles (pour s'affranchir d'effets de pseudo-réplication ; Hurlbert 1984). Au sein de ces zones, des sous-zones suivies seront donc choisies en fonction de critères pour faciliter la capture des individus, leur ré-observation et les transferts de données GPS au système d'antennes et un tirage aléatoire sera fait pour attribuer les traitements au sein des zones/sous-zones. Ces besoins feront l'objet de compromis, sachant qu'une zone encaissée qui peut faciliter l'accès à l'individu sur un nid peut ne pas être favorable à l'échanges de données GPS avec le système d'antennes. La facilité d'accès au colonies est aussi à prendre en compte. Le déploiement des appareils GPS au sein et entre les îles de Marseille bénéficiera de la structure des sites, avec une hiérarchie spatiale claire (entre île versus au sein des îles ; voir Figure 3) et la structure de la plupart des habitats qui permettent de travailler relativement indépendamment sur des groupes d'individus (cas du Frioul et de Riou en particulier). Les territoires de reproduction des goélands seront reportés sur une carte de chaque secteur, en s'aidant de la

location GPS des nids et d'éléments du paysage (Figure 3). Des photographies des sites intégrées dans un logiciel de SIG (QGIS) permettront de faciliter le suivi des zones et des individus (Tornos et al. 2014).

Suivis de déplacement (GPS) : zones et catégories d'individus (total de 40 adultes équipés)

Les captures pour équipement d'individus d'appareils GPS seront donc effectuées sur des séries de territoires proches (appariés) ce qui permettra de comparer les déplacements d'individus appartement à un groupe laissé en succès de reproduction et un groupe auquel les pontes auront été prélevées ou stérilisées (mimant une action de gestion : voir par exemple l'Arrêté préfectoral n° 13-2017-01-12-010 du 12 janvier 2017, notifiant les actions à mener par la commune de Marseille à l'encontre du Goéland leucopnée pour réduire les nuisances causées par cette espèce d'oiseau protégée sur son territoire ». Nous prédisions des comportements différents pour ces différents types d'individus, avec éventuellement des déplacements de prospection d'individus en échec de reproduction dans d'autres parties des colonies (Ponchon et al. 2013, 2015, 2017) et une moindre fréquentation de leur territoire de reproduction en fin de saison. Ce protocole expérimental permettra de collecter des **données originales qui ont un fort intérêt en termes appliqués**, sachant que des mises en échec de reproduction sont réalisées dans beaucoup de sites dans le cadre d'arrêtés préfectoraux alors que très peu de choses sont connues sur les déplacements des individus suite à ces traitements.

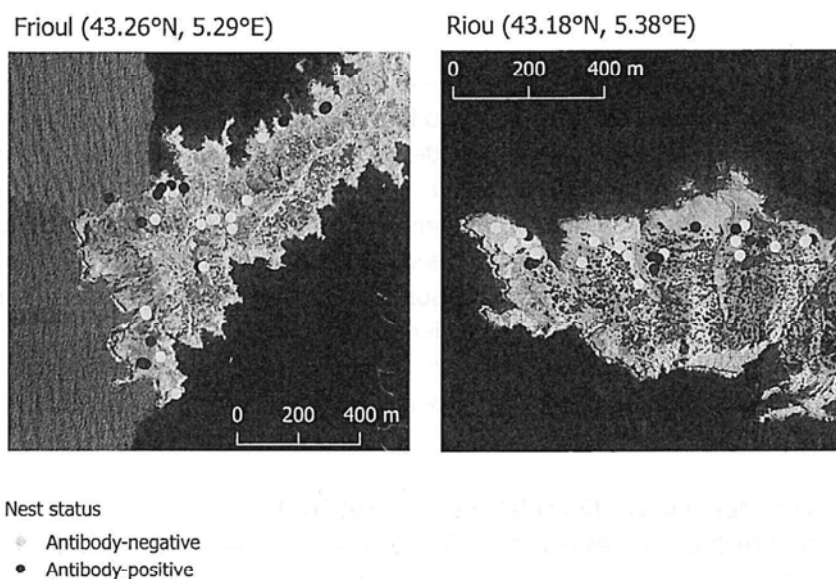


Figure 3. Vues partielles des îles du Parc National des Calanques (Frioul à gauche et Riou à droite) avec les nids de goélands contenant un oeuf échantillonné dans lequel des anticorps anti-*Toxoplasma gondii* ont été détecté (rouge) ou pas (jaune) en 2016. Remarque : seule une très faible proportion des nids a été échantillonnée (n = 36 nids échantillonnés par île, lors d'une visite de quelques heures). (Gamble et al. 2019a). Les zones et sous-zones d'étude nécessitant des visites très régulières seront en particulier disposées sur l'archipel du Frioul (îles de Pomègue et Ratonneau) où il est possible de loger.

Suivi de reproduction, baguage et prélèvements (100 nids suivis, 40 adultes et 100 poussins bagués/an en moyenne)

Au sein de chaque saison de reproduction, des visites régulières des zones seront effectuées chaque année, de la période de ponte (Mars) jusqu'à la période d'envol des jeunes (25-30 jours post éclosion) (Mai) selon les protocoles classiques de suivi (voir par exemple Duhem 2004 pour le goélands leucopnée sur les sites considérés). Des observations seront réalisées à distance avec des jumelles/un télescope et par des visites directes des zones (détection des nids, œufs, éclosions). Les fréquences

des visites seront adaptées pour limiter le dérangement des oiseaux et optimiser la collecte de données et échantillons utiles. Des visites fréquentes seront réalisées en début de saison pour localiser des nids et déterminer les dates de pontes, nombres d'œufs pondus et la localisation des individus qui seront marqués/équipés de GPS. Les captures d'adultes seront réalisées sur le nid, par l'utilisation d'une cage piège posée sur le nid (dans laquelle l'adulte va se capturer) ou d'un nœud coulant (les œufs sont temporairement remplacés par des œufs en plâtre pour éviter de les casser lors de la capture). Une bague colorée avec code individuel visible (Darvic) et une bague métallique du CRBPO-MNHN seront posées. Des mesures biométriques standard seront prises (dont la longueur tête plus bec pour déterminer le sexe des individus ; Hammouda et al. 2012). Un suivi fréquent sera réalisé après les éclosions pour déterminer le devenir des poussins au moins jusqu'à l'âge de 10 jours. Les suivis et captures bénéficieront de notre forte expérience de ce type de travail de terrain et de ses contraintes, notamment les fortes variations spatiales et temporelles des probabilités de détecter des nids, poussins ou individus (voir par exemple Chambert et al. 2013b). Un prélèvement de sang de 0,5 à 1 ml sera réalisé à la veine ulnaire (aile) ou au tarse (0.2-0,4 ml sur les jeunes poussins). Les frottis seront réalisés avec des écouvillons stériles. Des plumes de duvet seront prélevées pour analyses de polluants. La difficulté de suivre les poussins dès quelques jours après l'éclosion (à cause de leurs déplacements et de leur mimétisme dans la végétation ; Duhem 2004) sera compensée par le choix des sites, leur marquage (bagues Darvic colorées), le nombre limité de nids nécessitant un suivi après l'âge de 10 jours et la possibilité de ne pas détecter chacun des poussins lors de chacune des visites (possibilité d'application de modèles de capture-marquage-recapture au sein de la période d'élevage des poussins).

Les zones où des adultes auront été marqués seront suivies année après année afin de documenter les retours sur zone des individus et leur implication dans la reproduction. Des recherches d'individus seront effectuées hors de ces zones pour détecter d'éventuels déplacements d'individus, notamment dans des zones proches (voir Ponchon et al. 2018). Pour suivre le changement de statut immunologique des individus d'année en année sans avoir à recapter les individus, nous prévoyons d'échantillonner un œuf frais pondu par femelle, en laissant les deux autres œufs dans le nid. Ceci nécessitera un très fort effort d'observation en tout début de saison pour localiser ces individus et leur nid. Hors de la saison de reproduction, aucun effort particulier ne sera effectué pour suivre les individus, hormis les suivis GPS (les observations d'individus marqués dispersés hors des colonies hors de la saison de reproduction sont difficiles à utiliser car il est difficile de prendre en compte l'hétérogénéité des efforts d'observation).

Suivi des dynamiques d'anticorps chez des poussins (20 nids/an en 2020 et 2021)

Finalement, des **prélèvements seront réalisés sur des poussins** afin de déterminer leur exposition locale (depuis leur naissance) à des agents infectieux et polluants. Les territoires sur lesquels ces poussins seront échantillonnés d'une façon répétée seront localisés sur les cartographies des zones suivies. Une partie des nids ($n = 20$) feront l'objet de l'échange d'un œuf entre paires de nids synchrones afin d'effectuer des séries de prélèvements sur les poussins (à environ 6, 10, 15 et 20 jours) pour être en mesure de prendre en compte leur environnement pré- et post-natal : 1 œuf frais sera prélevé, 1 œuf sera laissé dans le nid et 1 œuf sera permuté avec un nid voisin synchrone (la date récente de ponte d'un œuf peut être confirmée par un test de flottaison : 1 œuf frais coule complètement lorsqu'il est disposé dans un pot d'eau). Les œufs seront marqués (marqueur non-toxique) et les éclosions seront suivies afin de déterminer le devenir des poussins (marquage du diamant sur le bec des poussins en train d'éclore : point vert pour le poussin local, point bleu pour l'autre poussin). Avant la pose d'une bague, les poussins pourront être identifiés par une petite tâche de couleur faite sur leur duvet en zone ventrale. Le nombre relativement limité de nids manipulés permettra de limiter le dérangement tout en étant suffisant pour distinguer des situations et dynamiques d'anticorps contrastées entre les nids étant données les prévalences d'anticorps observées.

Traitement des échantillons et analyses

Les analyses au laboratoire permettront de quantifier la présence d'anticorps contre différents agents infectieux (virus de l'influenza A, flavivirus transmis par les tiques, agent de la toxoplasmose...) en utilisant des kits ELISA adaptés et à partir du plasma (après centrifugation des prélèvements sanguins) et du jaune d'œuf (conservé congelé dilué dans un tampon). Les protocoles ont été décrits dans des publications ayant découlé des travaux que nous avons menés ces dernières années (Pearce-Duvet et al. 2009 ; Hammouda et al. 2011, 2012, 2014 ; Arnal et al. 2014, Garnier et al. 2017, Gamble et al. 2019a). Les écouvillons seront analysés pour la détection moléculaire directe de l'acide nucléique d'agents infectieux ou pour effectuer des tentatives d'isolement. La présence de polluant (mercure) sera quantifiée par un test spécifique réalisé au LLIENs (équipe du Professeur Paco Bustamante, en charge des dosages pour le suivi de la DCSMM oiseaux - contaminants).

Mesure d'atténuation ou de compensation mises en œuvre, ayant des conséquences bénéfiques pour l'espèce concernée

Le goéland leucopnée est une espèce abondante et robuste, et nous essayerons dans la mesure du possible de prendre un maximum de précautions prises pour éviter des échecs de reproduction. Les captures seront réalisées par des personnels entraînés et les oiseaux seront manipulés dans le calme et relâchés dès que possible. Les prélèvements sanguins sont de petits volumes comparés aux poids des oiseaux. Pour les nids qui seront mis en échec pour étudier la réponse spécifique des individus en termes de déplacement, le choix des nids sera effectué dans la mesure du possible en coordination avec les personnels en charge de la destruction des nids afin d'éviter de rajouter des échecs de reproduction. Les tailles d'échantillons concernés sont faibles comparés aux effectifs de goélands leucopnée reproducteur sur les îles de Marseille et nous prévoyons un dérangement limité des oiseaux.

Mesures mises en œuvre pour limiter des conséquences négatives qui pourraient être associées à des conséquences négatives du comportement de l'espèce concernée

Comme indiqué ci-dessus, il sera veillé à ce que, dans la mesure du possible, les interventions n'entraînent pas d'échecs de reproduction, afin de limiter un impact possible sur les populations de ces espèces protégées, mais aussi afin d'optimiser les tailles d'échantillons des différentes catégories d'individus pour lesquels des données seront disponibles.

Il sera en particulier évité d'intervenir lors de mauvaises conditions météorologiques et lorsque les interventions seraient susceptibles de favoriser la prédation des contenus de nid. Comme indiqué ci-dessus, nous interviendrons sur des couples dans des zones susceptibles de subir des destructions de pontes dans le cadre d'arrêtés préfectoraux de contrôle des populations (château d'If en particulier) : un effort de coordination serait fait avec les personnes en charge de ces actions afin de limiter au maximum le dérangement d'individus et la destruction de pontes.

Enfin, cette étude sera menée en parallèle et coordonnée avec une étude d'éco-épidémiologie et écotoxicologie faite au niveau national et reposant sur l'échantillonnage d'un œuf par ponte pour un maximum de 36 nids par colonie ; une demande d'autorisation pour ces collectes d'œuf est faite au niveau national étant donné que plus de 10 départements sont concernés. Les œufs collectés dans le cadre de la présente étude pourront être utilisés pour l'étude nationale et ainsi limiter le nombre total d'œufs prélevés.

Cadre institutionnel et qualification des personnes amenées à intervenir

- *Cadre institutionnel national*

L'étude sera réalisée par une équipe d'un laboratoire de recherche du CNRS (CEFE, Montpellier), en collaboration avec d'autres laboratoires. L'échantillonnage permettra la collecte de matériel biologique pour des analyses de polluants dans le cadre de la DCSMM, avec le soutien de l'OFB.

L'étude constitue une partie importante du projet SENTIMOUV (Financement Européen d'une chercheuse Postdoctorale Marie Curie 2020-2022).

Le travail rentrera dans le cadre de la tâche d'une Tâche d'Observation du Service d'Observation 'Suivi des populations d'organismes modèles - Ecologie' de l'Observatoire des Sciences de l'Univers (OSU) 'OREME' (Université Montpellier - CNRS - IRD - INRAE).

- *Personnes amenées à intervenir*

Ce travail est mené sous la responsabilité de Thierry BOULINIER, Directeur de Recherche au CNRS au Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive à Montpellier (CEFE, CNRS UMR 5175). Juliet LAMB, chercheuse postdoctoral au CEFE pour le projet SENTIMOUV (2020-2022), sera la principale personne impliquée dans la collecte et l'analyse des données, ainsi que dans la production des articles scientifiques. Les personnes intervenant sur le terrain seront associées à ce laboratoire (voir leurs qualifications ci-dessous) ; elles ont l'expérience de travailler sur des colonies d'oiseaux marins pour des travaux d'écologie scientifique.

- *Qualification du responsable*

Thierry BOULINIER, Directeur de Recherche au CNRS, est Directeur-Adjoint de l'OSU OREME et membre de l'équipe 'Ecologie et Epidémiologie Evolutives' au sein du Centre d'Ecologie Fonctionnelle et Evolutive (CEFE-CNRS, UMR 5175). Il est titulaire d'un Doctorat en Ecologie, d'un Doctorat Vétérinaire, d'une Habilitation à Diriger des Recherches et il a validé la formation de niveau I à l'expérimentation animale. Ses travaux ont notamment porté sur l'écologie de la circulation d'agents infectieux (agent de la maladie de Lyme, Choléra aviaire) et le fonctionnement des populations d'oiseaux marins coloniaux (page internet: <http://www.cefe.cnrs.fr/fr/recherche/ee/esp/777-c/151-thierry-boulinier>).

- *Qualification des mandataires pour les opérations de terrain*

Juliet LAMB

Chercheuse postdoctorale au CEFE sur le projet SENTIMOUV (Postdoc Marie Curie 2020-2022), titulaire d'une thèse d'Université (2016, Clemson University, Etats-Unis); forte expérience de terrain en écologie des populations d'oiseaux marins, > 10 années d'expérience de travail de terrain sur les oiseaux marins.

Yvan LATGE

Assistant de recherche temporaire à l'Université de Clemson, titulaire d'un diplôme d'ingénieur agronome (Institut National Polytechnique - Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Toulouse), >10 années d'expérience de travail de terrain sur les oiseaux marins.

Jérémy TORNOS

Doctorant au CEFE à l'Université de Montpellier, titulaire d'un Master et d'un diplôme d'ingénieur agronome (Ecole d'Agronomie de Montpellier) et d'une attestation de suivi de la formation de

concepteur de projet d'expérimentation animale; forte expérience de terrain en écologie des populations d'oiseaux marins.

Manon AMIGUET

Assistante de recherche temporaire au CEFE sur différents programmes sur les oiseaux marins depuis plusieurs années, titulaire d'un Master de l'EPHE en Biodiversité et gestion de l'environnement et d'une BTS Gestion et Protection de la Nature.

Samuel PERRET

Assistant Ingénieur CNRS au CEFE, titulaire d'une attestation de suivi de la formation de manipulateur pour des projets d'expérimentation animale; forte expérience de terrain en écologie des populations d'oiseaux.

Mesures d'évaluation et de suivi scientifique

Comme précisé ci-dessus, l'objectif est de contribuer à développer un programme de suivi spatialisé des polluants chez les oiseaux de mer dans le cadre de la DCSMM et de poursuivre la mise en place d'un suivi éco-épidémiologique par quantification des anticorps maternels développés contre des agents infectieux par les goélands.

Les travaux sur les agents infectieux reposeront sur des analyses immunologiques effectuées au laboratoire CEFE (Montpellier) sur les échantillons collectés et sur des analyses de déplacement et de capture-marquage-recapture. Les méthodes de laboratoire employées reposent principalement sur l'utilisation de kits d'analyses immunologiques à conduire sur les extraits d'échantillons (Trampel et al. 2006; voir Hammouda et al. 2011, 2012, 2014, Arnal et al. 2014, Gamble et al. 2019a). Les kits spécifiquement utilisés sont notamment le kit ID-Vet influenza aviaire multi-espèce, le kit ID-Vet West Nile pour la recherche d'anticorps contre des flavivirus et le kit ID-Vet toxoplasmose aviaire (ID-Vet, Montpellier). Pour la recherche d'anticorps contre certains virus (notamment flavivirus), des tests complémentaires de séroneutralisation seront conduits à l'ANSES (Dr Sylvie LECOLLINET, Maisons Alfort). Concernant l'influenza aviaire, l'identification des sous-types sera réalisée en collaboration avec l'Eramus Medical Center (Mr Erwin DE BRUIN et Pr Marion P.G. KOOPMANS, Rotterdam; voir Freidl et al. 2014). L'intérêt de ces suivis repose notamment sur la grande zone géographique couverte ainsi que sur les différentes échelles spatiales considérées. Les données seront considérées dans le contexte de l'analyse d'échantillons issus d'autres pays (notamment Tunisie, Espagne, Algérie; voir Hammouda et al. 2011, 2012, 2014, Arnal et al. 2014, Gamble et al. 2019a). Les travaux sur les polluants reposeront sur des analyses effectuées au laboratoire LLIENS (La Rochelle), en particulier sur le mercure.

Les principaux éléments pour évaluer le programme seront les productions scientifiques ainsi que les résultats synthétiques mis à disposition via les moyens appropriés (**publications dans des revues internationales, conférences, rapports, sites internet**).

L'évaluation du travail et le suivi scientifique seront conduits dans le cadre de l'évaluation des **travaux de recherche** (Evaluation des activités du CEFE-CNRS et du LIENSs et des activités des chercheurs impliqués par leurs instances respectives), ainsi que dans le cadre de **programmes de suivis** menés par un OSU (commission 'Observation' de l'OSU OREME). Lorsque les échantillonnages sont réalisés dans le cadre d'espaces naturels gérés, les commissions scientifiques et de gestion de ces espaces auront l'occasion d'évaluer les avancés du programme à partir des rapports fournis. Le projet en zone méditerranéenne fait l'objet d'un programme scientifique financé par la commission européenne (programme « SENTIMOUV »).

Les échantillons prélevés seront conservés congelés au CEFE-CNRS après analyse.

Les données seront stockées et mises à disposition via l'OSU OREME. Elles seront partagées avec les collaborateurs locaux.

Modalité de compte-rendu des opérations et publications scientifique prévues le cas échéant

- Rapports annuels et rapport de synthèse pour le conseil scientifique du Parc National des Calanques, le CRBPO/MNHN demande de programme de baguage)
- Les données seront disponibles et présentées dans le cadre des activités de suivis développées par l'OSU OREME et de la DCSMM.
- Le travail sur les agents infectieux étant effectué dans le cadre des activités scientifiques du Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (UMR 5175 CNRS-Université Montpellier), et il est prévu de poursuivre la valorisation sous la forme de publications scientifiques dans des revues scientifiques internationales.
- Le programme SENTIMOUV (2020-2022), financé par la Commission Européenne, fera l'objet d'un rapport final, de publication scientifiques et de présentations.

Références des articles scientifiques cités

- Ackerman, J. T., Eagles-Smith, C. A., Herzog, M. P., & Hartman & C. A. 2016. Maternal transfer of contaminants in birds: Mercury and selenium concentrations in parents and their eggs. *Environmental Pollution*, 210, 145-154
- Arnal, A., Gómez-Díaz, E., Cerdà-Cuéllar, M., Lecollinet, S., Pearce-Duvel, J., Busquets, N., García-Bocanegra, I., Pagès, N., Vittecoq, M., Hammouda, A., Samraoui, B., Garnier, R., Ramos, R., Selmi, S., González-Solís, J., Jourdain, E. and Boulinier, T. 2014. Circulation of a Meaban-like virus in yellow-legged gulls and seabird ticks in the western Mediterranean Basin. *PLOS One* 9, e89601.
- Boulinier, T. and Staszewski, V. 2008. Maternal transfer of antibodies: raising immuno-ecology issues. *Trends in Ecology and Evolution* 23: 202-288.
- Boulinier, T., McCoy, K.D., Yoccoz, N.G., Gasparini, J. and Tveraa, T. 2008. Public information affects breeding dispersal in a colonial bird: kittiwakes cue on neighbours. *Biology Letters* 4:538-540.
- Boulinier, T., Mariette, M., Doligez, B. and Danchin, E. 2009. Choosing where to breed: breeding habitat choice. In *Behavioural Ecology*, Oxford University Press, pp. 285-321.
- Boulinier, T., Kada, S., Ponchon, A., Dupraz, M., Dietrich, M., Gamble, A., Bourret, V., Duriez, O., Bazire, R., Tornos, J., Tveraa, T., Chambert, T., Garnier, R. and McCoy, K.D. 2016. Migration, prospecting, dispersal? What host movement matters for infectious agent circulation? *Integrative and Comparative Biology* 56: 330-42.
- Bosch, M. & Sol, D. 1998. Habitat selection and breeding success in Yellow-legged Gulls *Larus cachinnans*. *Ibis* 140: 415-421.
- Bosch, M., Oro, D., Cantos, F.J. & Zabala, M. 2000. Short-term effects of culling on the ecology and population dynamics of the yellowlegged gull. *Journal of Applied Ecology* 37:369-385.

Cabezón, O., Cerdà-Cuellar, M., Morera, V., García-Bocanegra, I., González-Solís, J., Napp, S. et al. 2016. *Toxoplasma gondii* infection in seagull chicks is related to the consumption of freshwater food resources. *PLOS One* 11: e0150249.

Cadiou, B. & les coordinateurs. 2015. 5e recensement des oiseaux marins nicheurs de France métropolitaine (2009-2012) / Status of breeding seabirds in France in 2009-2012. *Ornithos* 22-5: 233-257.

Cadiou, B. 2015. État des lieux des suivis menés sur les colonies d'oiseaux marins nicheurs du littoral de France métropolitaine, sources potentielles de données pour renseigner des indicateurs dans le cadre de la DCSMM. GISOM.

Chastel, C., Main, A.J., Guiguen, C., Lay, G. le, Quillien, M.C., Monnat, J.Y., and Beaucournu, J.C. 1985. The isolation of Meaban virus, a new Flavivirus from the seabird tick *Ornithodoros (Alectorobius) maritimus* in France. *Archives of Virology* 83: 129-140.

Chastel, C., Le Lay, G., Legrand-Quillien, M.-C. & Le Goff, F. 1988. Distribution inégale des arbovirus transmis par des tiques dans les colonies d'oiseaux de mer du Nord et du Sud de la France. *Compte Rendus Académie des Sciences* 307: 79-484.

Duhem, C. 2004. *Goélands surabondants et ressources alimentaires anthropiques: cas des colonies insulaires de Goélands leucophées du littoral provençal*. Thèse de Doctorant de l'Université Aix-Marseille III.

Duhem, C., Roche, P. Vidal, E. & Taton, T. 2007. Distribution of breeding sites and food constrains size and density of yellow-legged gull colonies. *Ecoscience* 14: 535-543.

Duhem, C., Vidal, E., Legrand, J. & Taton, T. 2010. Opportunistic feeding responses of the Yellow-legged Gull *Larus michahellis* to accessibility of refuse dumps: The gulls adjust their diet composition and diversity according to refuse dump accessibility. *Bird Study* 50: 61-67.

Dittmann, T., Becker, P. H., Bakker, J., Bignert, A., Nyberg, E., Pereira, M. G., Pijanowska, U., Shore, R. F., Stienen, E.W.M. Toft & Marencic, H. 2012. Large-scale spatial pollution patterns around the North Sea indicated by coastal bird eggs within an EcoQO programme. *Environmental Science and Pollution Research* 19 : 4060-4072. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1070-2>

Freidl, G. S., de Bruin, E., van Beek, J., Reimerink, J., de Wit, S., Koch, G., Vervelde, L., van den Ham, H.-J. and Koopmans, M. P. G. 2014. Getting more out of less - A quantitative serological screening tool for simultaneous detection of multiple Influenza A Hemagglutinin-types in chickens. *PLOS One* 9:e108043.

Gamble, A., Ramos, R., Rarra-Torres, Y., Mercier, A., Galal, L., Pearce-Duvet, J., Villena, I., Montalvo, T., González-Solís, J., Hammouda, A., Oro, D., Selmi, S. & Boulinier, T. 2019a. Exposure of yellow-legged gulls to *Toxoplasma gondii* along the Western Mediterranean coasts: tales from a sentinel. *International Journal of Parasitology: Parasites and Wildlife* 8: 221-228.

Gamble A., Garnier R., Chambert T., Gimenez O. & Boulinier T. 2019b. Next generation serology: integrating cross-sectional and capture-recapture approaches to infer disease dynamics. *Ecology* <https://doi.org/10.1002/ecy.2923>.

Garnier, R., Ramos, R., Staszewski, V., Militão, T., Lobato, E., González-Solís, J. and Boulinier, T. 2012. Maternal antibody persistence: a neglected life history trait with implications from albatross conservation to comparative immunology. *Proceedings of the Royal Society, London B* 279: 2033-2041.

Gasparini, J., McCoy, K.D., Haussy, C., Tveraa, T. and Boulinier, T. 2001. Induced maternal response to Lyme disease spirochaete *Borrelia burgdorferi sensu lato* in a colonial seabird, the kittiwake *Rissa tridactyla*. *Proceedings of the Royal Society B* 268: 647-650

Gasparini, J., McCoy, K.D., Tveraa, T. and Boulinier, T. 2002. Related concentrations of specific immunoglobulins against the Lyme disease agent *Borrelia burgdorferi sensu lato* in eggs, young and adults of the kittiwake (*Rissa tridactyla*). *Ecology Letters* 5: 519-524.

Halliday, J.E.B., Meredith, A.L., Knobel, D.L., Shaw, D.J., Bronsvort, B.M. and Cleaveland, S. 2007. A framework for evaluating animals as sentinels for infectious disease surveillance. *Journal of the Royal Society Interface* 4: 973-984.

Hammouda, A., Pearce-Duvel, J., Chokri, M.A., Arnal, A., Gauthier-Clerc, M., Boulinier, T. and Selmi, S. 2011. Prevalence of Influenza A antibodies in yellow-legged gull (*Larus michahellis*) eggs and adults in southern Tunisia. *Vector Borne and Zoonotic Diseases* 11: 1583-1590.

Hammouda, A., Selmi, S., Pearce-Duvel, J., Chokri M.A., Arnal, A., Gauthier-Clerc M. and Boulinier T. 2012. Maternal antibody transmission in relation to mother fluctuating asymmetry in a long-lived colonial seabird: the yellow-legged gull *Larus michahellis*. *PLOS One* 7: e34966.

Hammouda, A., Pearce-Duvel, J., Boulinier, T. and Selmi, S. 2014. Egg sampling as a possible alternative to blood sampling when monitoring the exposure of yellow-legged gulls (*Larus michahellis*) to avian influenza viruses. *Avian Pathology* 43: 547-51.

Hulbert, S.H. 1984. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. *Ecological Monographs* 54: 187-211.

Jurado-Tarifa, E., Napp, S., Lecollinet, S., Arenas, A., Beck, C., Cerdà-Cuellar, M., Fernández-Morente, M. and García-Bocanegra, I. 2016. Monitoring of West Nile virus, Usutu virus and Meaban virus in waterfowl used as decoys and wild raptors in southern Spain. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases* 49: 58-64.

Navarro, J., Grémillet, D., Afán, I., Ramírez, F., Bouten, W., and Forero, M.G. 2016. Feathered detectives: Real-Time GPS tracking of scavenging gulls pinpoints illegal waste dumping. *PLOS ONE* 11: e0159974.

Navarro J., Grémillet D., Afán I., Miranda F., Bouten W., Forero M.G. & Figuerola J. 2019. Pathogen transmission risk by opportunistic gulls moving across human landscapes. *Scientific Reports* 9: 10659, doi:10.1038/s41598-019-46326-1.

Oro, D. and Martínez-Abraín, A. 2007. Deconstructing myths on large gulls and their impact on threatened sympatric waterbirds. *Animal Conservation* 10: 117-126.

Pearce-Duvel, J., Jourdain, E., Gauthier-Clerc, M. & Boulinier, T. 2009. Maternal antibody transfer in Yellow-legged gulls. *Emerging Infectious Diseases* 15: 1147-1149.

Ponchon, A., Grémillet, D., Doligez, B., Chambert, T., Tveraa, T., González-Solís, J. and Boulinier, T. 2013. Tracking prospecting movements involved in breeding habitat selection: insights, pitfalls and perspectives. *Methods in Ecology and Evolution* 4: 143-150.