

Mémoire

Auteur : Escoutay, Léa

Promoteur(s) : Magain, Nicolas; 12719

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en biologie des organismes et écologie, à finalité spécialisée en biologie de la conservation : biodiversité et gestion

Année académique : 2020-2021

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/12583>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

La sélection d'habitat d'un oiseau migrateur : la pie-grièche à tête rousse (*Lanius senator*) lors de son escale sur l'île d'Anticythère (Grèce)



Mémoire présenté par Léa ESCOUTAY

En vue de l'obtention du grade de master en Biologie des Organismes et Ecologie à finalité spécialisée Biologie de la Conservation : Biodiversité et Gestion

Promoteur : Christos BARBOUTIS

Co-promoteur : Nicolas MAGAIN

Année académique : 2020 – 2021

Résumé

La pie-grièche à tête rousse est un oiseau migrateur qui fait escale chaque année sur l'île grecque d'Anticythère. Cette étape, commune chez les migrateurs longue distance afin de reprendre des forces, est pourtant peu étudiée par les spécialistes.

L'objectif ici a été de déterminer la sélection d'habitat d'après la distribution de l'espèce dans ce milieu durant l'escale printanière. Sa répartition et son modèle de distribution ont été étudiés selon quatre variables environnementales : la distance à la côte, la pente, l'élévation et les habitats.

Selon le modèle généré, la distance à la côte est la variable environnementale qui contribue le plus à la distribution des individus sur l'île. Toutefois, cette variable seule s'avère insuffisante pour expliquer cette répartition.

Selon le modèle généré à partir des habitats, l'habitat qui contribue le plus à la distribution est celui des cultures abandonnées. Il est considéré comme un milieu semi-ouvert auquel les pies-grièches à tête rousse sont inféodées dans leur zone de reproduction.

La sélection d'habitat de l'espèce a pu être supposée d'après ces résultats mais un manque de précision persiste sur l'utilisation du milieu, qui pourrait être corrigé par la combinaison avec une étude de la sélection d'habitat à une échelle plus précise comme les types de végétaux. Pour améliorer les modèles générés il serait intéressant d'ajouter des variables environnementales supplémentaires afin de préciser le modèle de distribution de l'espèce et de combiner l'étude de la sélection d'habitat à différentes échelles.

Remerciements

Je remercie Christos Barboutis pour son accueil sur Anticythère malgré le contexte sanitaire et de m'avoir appris tant de choses sur le terrain. Merci aux bénévoles de l'association, Aris et Kiki, d'avoir partagé votre passion pour les oiseaux avec moi.

Un grand merci à Christina Kassara pour son aide sur le logiciel MaxEnt et à Joris pour sa disponibilité et son aide sur QGIS.

Merci à mon co-promoteur Nicolas Magain pour ses relectures et commentaires.

Merci à mes ami(e)s d'avoir toujours été là, même à distance.

Merci Chloé pour l'accueil et la motivation pendant la dernière ligne droite ainsi que pour ses relectures.

Merci à Marie pour toutes ces années d'étude et d'amitié.

Merci à Clément pour ta présence et ton soutien ces 8 derniers mois ;

Merci à mes parents de m'avoir toujours soutenu (émotionnellement et financièrement) durant mes études.

Table des matières

I.	Introduction :	1
A.	Le phénomène de migration	1
B.	Le déclin ornithologique : causes et conséquences	2
C.	L'île d'Anticythère	4
D.	ABO : Antikythera Bird Observatory	8
E.	Présentation de l'espèce : Le pie-grièche à tête rousse (<i>Lanius senator</i>)	9
F.	La sélection d'habitat	12
G.	Objectifs du mémoire	13
II.	Matériels et Méthodes	14
A.	Capture et marquage des individus	14
B.	Méthode d'analyse	16
III.	Résultats	22
A.	Analyse exploratoire des données	22
B.	Carte des variables environnementales : résultats issus de QGIS	24
C.	Analyses statistiques	26
D.	Détermination des niches écologiques de <i>Lanius senator</i> : résultats du Niche Modelling	29
IV.	Discussion	36
V.	Conclusion	43
VI.	Bibliographie	44
VII.	Annexes	50

Liste des figures

Figure 1 Proportion d'espèces en déclin dans chaque biome (Rosenberg et al. 2019).....	2
Figure 2 Photo du matorral d'Anticythère au printemps 2021 (L. Escoutay).....	5
Figure 3 Vestiges de terrasses visibles à Anticythère (L.Escoutay, 2021)	7
Figure 4A et AB : A gauche : Fauvette des jardins attaquée par Lanius senator (L. Escoutay 2021) ; A droite : Lanius senator et sa proie (Gryllus campestris) de J. Koci , 2020 (Koci et al 2020).....	11
Figure 5 A gauche : gauche photo des bagues en aluminium pour Lanius senator ; A droite photo d'un des filets de capture installés sur Anticythère (Léa Escoutay, 2021)	14
Figure 6 Nombre de Lanius senator équipés d'un transmetteur par rapport au nombre d'oiseaux bagués	22
Figure 7 Nombre de points de présence recensés par rapport au nombre d'individus équipés d'un transmetteur.....	23
Figure 8 Répartition des points de présence de Lanius senator selon les habitats répertoriés sur Anticythère. 2021 correspondant aux zones artificielles, 1062 aux cultures abandonnées, 5340 aux garrigues orientales et 5420 aux phryganes.....	23
Figure 9 Carte de répartition des points de localisation de Lanius senator à Anticythère selon les habitats. Les points blancs représentent les localisations de Lanius senator. Les couleurs correspondent aux différents habitats.	24
Figure 10 Carte de la répartition de Lanius senator selon la pente (en degrés) sur l'île d'Anticythère ; les tons de rouge représentent le niveau de pente, les points blancs représentent la localisation des Lanius senator.	25
Figure 11 Carte de répartition de Lanius senator selon l'élévation du relief de l'île d'Anticythère. Les points blancs représentent les points de localisations de Lanius senator. Les différentes teintes de bleu représentent l'élévation.....	25

- Figure 12 Carte de répartition de *Lanius senator* selon la distance à la côte (mètres) sur l'île d'Anticythère. Les couleurs représentent les niveaux de distances à la côte. Les points blancs représentent les localisations de *Lanius senator*. 26
- Figure 13 Graphique des taux d'omission et de la surface prévue en fonction du seuil cumulé. Ce graphique permet de visualiser l'adaptation du modèle aux données de présence. En bleu foncé, le taux d'omission des échantillons d'entraînements, en bleu turquoise le... 29
- Figure 14 Graphique de la sensibilité et spécificité. La sensibilité correspond à la proportion de présences correctement prédites, tandis que la spécificité à la proportion d'absences correctement prédites. La ligne rouge, correspondant aux données d'entraînement..... 29
- Figure 15 Probabilité de présence de *Lanius senator* selon l'élévation. Le premier graphique correspond à l'Élévation par rapport au modèle tandis que le second graphique représente un modèle avec seulement la variable Élévation prise en compte. En Y l'estimation entre 0 et 1 de la présence d'individus de l'espèce et en X les variations de l'élévation (en mètres)..... 30
- Figure 16 Probabilité de présence de *Lanius senator* selon la distance par rapport à la côte d'Anticythère. Le premier graphique correspond à la distance à la côte par rapport au modèle général tandis que le second graphique représente un modèle basé uniquement selon la variable Distance à la côte. En Y l'estimation entre 0 et 1 de la présence d'individus de l'espèce et en X les variations de distances à la côte (en mètres)..... 31*
- Figure 17 Probabilité de présence de *Lanius senator* selon la pente du relief d'Anticythère. Le premier graphique correspond à la pente par rapport au modèle tandis que le second graphique représente un modèle avec seulement la variable Élévation prise en compte. En Y l'estimation entre 0 et 1 de la présence d'individus de l'espèce et en X les variations de pente (en degrés)..... 31
- Figure 18 Image de prédiction de la distribution de *Lanius senator* représentative du modèle. Les pixels blancs représentent les points de présence des individus localisés tandis que l'échelle logarithmique de couleurs montre la probabilité de trouver des *Lanius senator*; plus les couleurs sont chaudes plus cette probabilité est élevée, en rouge la probabilité la plus élevée soit 100% de chances d'avoir des individus situés dans cette zone..... 32
- Figure 19 Test Jackknife généré selon les variables environnementales ; les barres bleues représentent le gain d'entraînement régularisé avec une seule variable tandis que les

barres turquoises montrent le gain d'entraînement régularisé sans cette variable mais avec toutes les autres. Ce « gain » est en général une indication de la qualité de l'ajustement du modèle. Un gain élevé pour une variable particulière signifie donc que cette variable a une plus grande valeur prédictive..... 34

Liste des tableaux

Tableau 1	Liste des codes d'habitats d'Anticythère et de leurs description (https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/listeHabitats) ; les habitats avec une astérisque (*) sont ceux repris dans le code 2021 "Habitats artificiels".....	18
Tableau 2	Attribution de chiffres à chaque code d'habitat	19
Tableau 3	Test de corrélation de Spearman entre les trois variables environnementales quantitatives, arrondis à deux décimales.....	27
Tableau 4	Estimation des contributions relatives des variables environnementales au modèle. La première estimation, dans la deuxième colonne, à chaque itération de l'algorithme d'apprentissage, l'augmentation du gain régularisé est ajoutée à la contribution de la variable correspondante, ou soustraite si l'évolution de la valeur absolue de lambda est négative. La troisième colonne contient la deuxième estimation, pour laquelle les valeurs de chaque variable, une par une, sont permutées de manière aléatoire. Le modèle est réévalué sur les données permutées, et la baisse résultante de l'AUC d'entraînement est indiquée dans le tableau en pourcentages.	33

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ABO : Antikythira Bird Observatory

CMS : Conservation des espèces migratrices

CORINE : COordination et Recherche de l'Information en Environnement

IBA : Important Bird Area

ICBP : International Council for Bird Preservation

ZPS : zones de protection spéciale

ZICO : Zone Importante pour la Conservation des Oiseaux

I. Introduction :

A. Le phénomène de migration

1. Généralités

La migration peut se définir comme “les mouvements saisonniers réguliers des oiseaux entre les parties reproductrices et non reproductrices de leur aire de répartition, qui incluent le retour des survivants dans la zone de reproduction et sont contrôlés de manière endogène” (Chernetsov, 2012). Les oiseaux migrateurs empruntent chaque année les mêmes voies migratoires entre leur lieu de reproduction et d’hivernation.

Les oiseaux concernés ici sont les migrateurs africains-européens qui se reproduisent en Europe du Nord et hivernent sous un climat plus chaud en Afrique subsaharienne, au niveau du Sahel. La migration est contrôlée par plusieurs facteurs génétiques, environnementaux et physiologiques à différents niveaux d’influence (Berthold, 2001). L’importance de la génétique a été démontrée par le système dit du compas et de l’horloge qui joue un rôle dans les moments essentiels de la migration, à savoir les départs et les arrivées ainsi que pour l’orientation lors des itinéraires de migration. La détection du champ magnétique est permise par un des quatre cryptochromes situés dans leur rétine (Günther et *al.*, 2018). Les facteurs environnementaux comme les conditions météorologiques, la disponibilité alimentaire et la topographie du milieu (Thorup & Rabøl, 2001) vont influencer également sur la distance parcourue tandis que la vitesse lors du trajet influence la route migratoire. Les conditions de voyage seront aussi dépendantes du stade de développement de l’oiseau (Senner et *al.*, 2015). De plus, la longueur du trajet va influencer la gestion de celui-ci : les individus ayant une migration longue distance vont avoir une balance coûts-bénéfices différente de ceux réalisant une migration courte distance (Monti et *al.*, 2018).

Les passereaux sont des migrateurs majoritairement nocturnes. Cette migration de nuit est favorisée pour différentes raisons, notamment ses meilleures conditions météorologiques. En effet, il y a moins de variations atmosphériques durant la nuit et l’humidité ambiante permet de diminuer l’évapotranspiration de l’individu. La prédation est également plus faible à ce moment et l’orientation est facilitée lors de cette période. Le trajet se poursuit parfois durant la journée lorsqu’il n’y a pas de possibilité d’arrêt, par exemple en traversant la mer (Alerstam, 2009).

Durant ce trajet longue distance avec deux grandes barrières écologiques à traverser ; le désert du Sahara et la mer Méditerranée, les migrants ont besoin de faire une escale pour se reposer et reprendre des forces. Les petites îles de Méditerranée sont de parfaits exemples d’escales migratoires dont l’île d’Anticythère fait partie.

2. Les escales migratoires

La migration longue distance entre l’aire de reproduction et les quartiers d’hiver se fait rarement en une seule fois, la plupart des oiseaux migrants font des escales lors de celle-ci. Une escale se définit comme une pause durant le trajet migratoire afin de reconstituer des réserves, de se reposer à cause des conditions climatiques de vols désavantageuses qui rendent leur métabolisme moins optimal (Chernetsov, 2012). Cette pause peut durer entre un et 25 jours, par exemple sur l’île italienne de Ponza seulement 2% des oiseaux restent plus d’une journée sur l’île (Maggini et al., 2020). La taille des lieux d’escales varie d’une centaine de mètres à plusieurs kilomètres de surface (Chernetsov, 2012). Le premier facteur de succès d’un endroit comme escale migratoire va être la qualité de l’habitat que peuvent trouver les migrants (Maggini et al., 2020). Ces escales rallongent le temps du trajet migratoire mais sont parfois nécessaires à la survie de l’individu (Monti et al., 2018).

B. Le déclin ornithologique : causes et conséquences

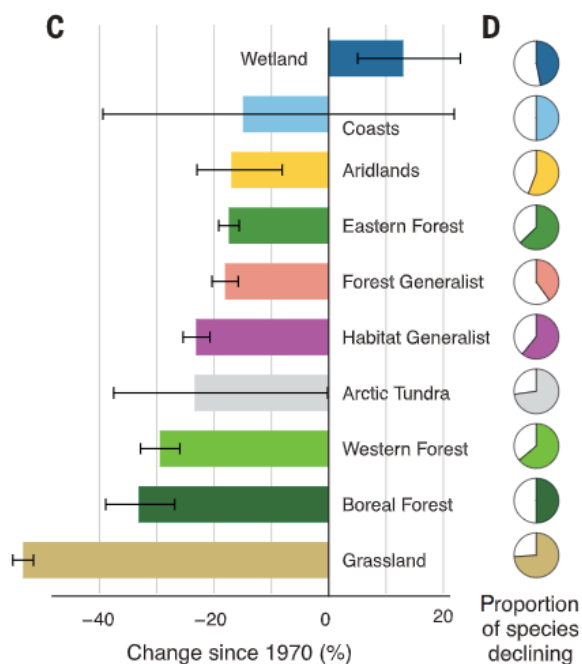


Figure 1 Proportion d’espèces aviaires en déclin dans chaque biome par rapport au changement dans celui-ci (Rosenberg et al. 2019)

Comme le reste de la biodiversité mondiale actuelle, les oiseaux sont un groupe considéré en déclin. En presque 50 ans, 2,9 milliards d'oiseaux ont disparu en Amérique du Nord, ce déclin est particulièrement visible chez les passereaux migrateurs avec une diminution de 40% (Rosenberg *et al.*, 2019). Les oiseaux migrateurs sont plus impactés par cette diminution que les non-migrateurs. Cela s'explique par le fait qu'ils sont soumis à plus de dangers lors de leur migration et de leur dépendance à deux milieux différents, un pour la reproduction et un pour l'hivernage. Les causes anthropiques et principales de ce déclin sont la dégradation de l'habitat, le changement climatique et la chasse (légale ou non) (Bairlein, 2016).

La modification des habitats est la première cause de déclin de la biodiversité dont celle des oiseaux. Le changement et la perte d'habitats est corrélé à la diminution des populations aviaires qui s'y trouvent (figure 1). Au Sahel, de 1975 à 2000, la proportion des terres agricoles a augmenté de 57%, entraînant une perte de terres naturelles de 5 hectares par an (Brink & Eva, 2009). Cette modification est une des causes de la désertification autour du Sahara, favorisée par la sécheresse (Taïbi, A. N. ,2017). Cet agrandissement pourra, à terme, impacter certaines espèces qui n'auront plus assez d'autonomie pour traverser cet obstacle que représente ces 1500 km (Moreau 1972).

Le changement climatique a aussi un impact non négligeable sur les oiseaux migrateurs. L'arrivée précoce des températures printanières (majoritairement dans l'hémisphère Nord) entraîne des départs migratoires vers les zones de reproduction (Zalakevicius *et al.*, 2006), qui sont avancés de deux jours à chaque décennie. Or, cet avancement ne permet pas toujours de compenser le changement climatique et entraîne des décalages écologiques avec par exemple la disponibilité des proies qui ne sont plus présentes au même moment (Saino *et al.*, 2011).

Le braconnage et la chasse des oiseaux sont encore d'actualité dans de nombreux pays. Au Sahel, ces pratiques sont plus courantes lors de la période sèche, ce qui accentue la pression sur les migrateurs. En moyenne 25 millions d'oiseaux sont tués illégalement dans les pays du pourtour méditerranéen, dont 20,1 millions de passereaux (Brochet, 2019). Les installations anthropiques comme les lignes à haute tension ou les éoliennes ont également un impact non négligeable. La pollution lumineuse est aussi une source de perturbation pour les oiseaux migrateurs nocturnes (Van Doren *et al.*, 2017). En dernier, mais non des moindres, la présence des prédateurs et espèces invasives, dont le plus important est le chat domestique (*Felis catus*).

Chaque année des millions d'oiseaux sont tués par cette espèce qui a été introduite par l'Homme dans tous les milieux dont les îles, où leur impact est encore plus important (Medina *et al.*, 2011). La gestion de cette espèce doit faire partie intégrante de la conservation et de la protection ornithologique des années à venir.

La convention de Bonn (CMS) est un traité international signé en 1979 et entré en vigueur en novembre 1983 qui se préoccupe de la protection des espèces migratrices. Ce traité comprend deux annexes, l'annexe I concerne les espèces migratrices menacées tandis que l'annexe II inclut les espèces devant faire l'objet d'accords internationaux, leur statut de conservation étant défavorable (CMS,1979).

Au niveau mondial, l'ICBP fut la première organisation internationale de conservation, devenue BirdLife depuis 1993 (BirdLife, nd). Les objectifs, toujours d'actualité, de BirdLife sont la protection des oiseaux migrateurs, l'identification et la protection de zones de rassemblement et des sites pour les oiseaux menacés. En Grèce, l'Hellenic Ornithological Society est une organisation non gouvernementale fondée en 1982. Ses missions sont tournées vers la protection et la conservation des oiseaux ainsi que la sensibilisation à cette cause. Cette association bénéficie d'un partenariat avec BirdLife International.

C. L'île d'Anticythère

1. Situation

Au carrefour des mers Ionienne, Égéeenne et Méditerranéenne, se trouve l'île grecque d'Anticythère. Elle se localise précisément entre le sud de l'île de Cythère et le nord-ouest de la Crète, à 390 km Sud et 490 km ouest des côtes africaines (35°52'N 23°18'E). Cette île a une surface de 20,4 km² et une côte littorale qui s'étend sur 24 km (Dimaki *et al.*, 2006). De forme allongée, le relief de sa partie centrale est assez plane, son altitude moyenne est de 130 m, le relief est marqué par plusieurs sommets dont le haut est le Plagara (378m) tandis que son littoral est escarpé et avec un gradient géomorphologique élevé (pente de 34%). Soumise à un climat méditerranéen, sec et chaud en été, doux en hiver, elle est aussi considérée comme une des régions les plus sèches de Grèce. Ceci est dû à sa faible pluviosité (moins de 200 mm de pluie par an) et sa saison sèche qui dure presque la moitié de l'année. De par sa position géographique, elle est également fortement exposée au vent notamment celui du nord-est (30,5% d'incidence) et ceci durant toute l'année.

Bien que non répertoriés, des incendies passés ont marqué la végétation de l'île. Au niveau géologique, le calcaire domine sur l'île, provenant du Trias et du Crétacé.

2. Biotope

Actuellement, la couverture terrestre de l'île se divise en 15,01% de zones agricoles et 82,57% de forêts et zones semi-naturelles, dont 73,7% de végétation sclérophylle. Ce pourcentage a évolué entre 2000 et 2012 par une régression de 2% des terres agricoles (définies comme des zones arables non irriguées). Ceci est corrélé à une augmentation des zones dites semi-naturelles avec la végétation sclérophylle qui colonise ces anciennes exploitations agricoles (Angelidis et *al.*, 2016). Selon la directive 92/43/CEE, il y a différents types d'habitats naturels terrestres classés sur l'île. Les deux types d'habitats majoritaires sont les phryganes et le matorral, représentatifs de l'écosystème méditerranéen. Les phryganes sont composées de végétation sclérophylle très basse telle que *Sarcopoterium spinosum*. Le matorral, aussi connu sous le nom de garrigue en France, se définit comme une formation ligneuse basse (hauteur maximale de 7 mètres) typiquement liée au milieu méditerranéen et souvent associée à un écosystème dégradé par le feu ou un sol pauvre en nutriments (Aidoud, 1997). La garrigue peut être arborescente avec des *Olea europea* ou le genre *Quercus* ou encore des *Juniperus spp* (figure 2). Chaque pays au climat méditerranéen a sa propre dénomination pour cette même végétation spécifique à cet écosystème. Les deux habitats sont différenciés par la hauteur de leur végétation ainsi que leur ordre d'apparition, les phryganes apparaissent en premier avant d'être remplacées par le Matorral.



Figure 2 Photo du matorral d'Anticythère au printemps 2021 (L. Escoutay)

La couverture terrestre actuelle sur l'île se compose donc de phryganes (61%), suivi du maquis (25%), puis des falaises végétalisées (8%), et dans une moindre mesure des cultures abandonnées (4%), alors que les habitations couvrent moins de 1% de l'île (Papageorgiou *et al.*, 2016). Les cultures abandonnées sont d'anciennes cultures en terrasses agricoles et désormais des habitats semi-naturels avec une haute valeur environnementale. Un autre type d'habitat sont les falaises rocheuses au sol calcaire qui constituent la majorité du littoral de l'île caractérisées par *Limonium spp.*

Un fort endémisme végétal est associé à l'île, dû à sa petite taille et sa position géographique, 25 espèces sont endémiques sur les 300 composants la flore d'Anticythère, dont *Allium aegelicum* Angelidis *et al.*, 2016). Concernant la faune, en dehors de sa richesse en oiseaux migrateurs, de nombreux autres taxons sont présents. La diversité des reptiles est limitée, comme pour les mammifères terrestres, par l'isolement continental ainsi que le faible taux d'habitats adaptés. La seule espèce de serpent qui s'y trouve est la couleuvre-chat d'Europe (*Telescopus fallax*), ainsi que des lézards dont l'espèce endémique *Podarcis levendis*. L'abondance notable des invertébrés, comme les coléoptères terrestres avec 10 espèces de *Carabidae* et 12 *Tenebrionidae* dont l'espèce endémique *Dendarus antikythirensis* (Chatzimanolis *et al.*, 2002) notamment due à la présence des nombreuses pierres sèches des cultures en terrasse abandonnées. La faible diversité de mammifères terrestres s'explique par l'éloignement de l'île du continent grec ainsi que par la petite surface insulaire. Les seuls mammifères terrestres qui s'y trouvent sont des espèces introduites tels que deux espèces de rat (*Black Rattus rattus* et *Rattus norvegicus*) et le lapin de garenne (*Oryctolagus cuniculus*). Ce dernier a été introduit par l'Homme il y a une trentaine d'années (Angelidis *et al.*, 2016). Une population conséquente de chèvres devenues sauvages y est aussi présente, elle a d'ailleurs donné le surnom de "l'île aux chèvres sauvages".

3. Impacts anthropiques

Concernant les impacts anthropiques, il faut différencier les menaces qui peuvent arriver des pressions déjà présentes. Selon les codes Natura 2000, les pressions sur l'environnement proviennent des espèces introduites (I02) en particulier les chèvres, qui exercent une pression de surpâturage sur le milieu, entraînant à terme de la désertification. D'autres pratiques, si elles venaient à être mises en œuvre, pourraient être considérées comme des menaces potentielles sur le milieu.

Du fait des vents auxquels l'île est exposée, la zone est visée par de nombreux projets de constructions éoliennes dans un but de production d'énergie (C03.03) qui auraient un impact sur le milieu en particulier les oiseaux migrateurs. La pollution des eaux (H01) notamment marines, par les pétroliers par exemple, est aussi considérée comme une menace potentielle pour cette zone protégée. L'île a autrefois été occupée par une population bien plus importante, de ce fait l'exploitation agricole y était également plus présente. Les terrasses agricoles, un agencement permettant une exploitation maximale du milieu et sécurisant les terres arables, constituent une méthode pratiquée depuis des centaines d'années et a véritablement façonné le paysage de l'île. Les vestiges de 12 000 terrasses sont encore présents (figure 3). La dégradation de ces structures, qui de nos jours ne sont plus exploitées, a un impact négatif sur le milieu, favorisant les phénomènes érosifs et la perte de la biodiversité spécifique à ces anciennes exploitations (Bevan & Conolly, 2012).



*Figure 3 Vestiges de terrasses visibles à Anticythère
(L.Escoutay, 2021)*

Après la guerre, la vie agricole a repris dans une certaine mesure, mais la culture céréalière disparaît en grande partie à la fin des années 80 et au début des années 90, et seuls quelques potagers et vignobles dispersés continuent d'être entretenus aujourd'hui. Cependant, à mesure que la gestion agricole à l'échelle du paysage insulaire a diminué, la flore locale s'est adaptée et a recolonisé le milieu (Bevan & Conolly, 2012).

D. ABO : Antikythera Bird Observatory

La situation géographique de l'île la rend idéale comme lieu d'escale migratoire car se situant le long de la voie migratoire orientale de la Méditerranée (Lucia *et al.*, 2011) chaque année plus de 200 espèces d'oiseaux y sont de passage. Les oiseaux faisant escale à Anticythère proviennent directement des côtes africaines ou de l'Ouest de la Crète. Les oiseaux s'y arrêtent en se rendant sur leurs lieux d'hivernage lors de la période d'août à octobre et lors du retour vers leur lieux de reproduction de mi-mars à mi-mai. Le nombre et la diversité d'espèces d'oiseaux sont plus importants sur la période printanière par rapport à l'automne, comme à d'autres endroits en Méditerranée (Chypre et Sicile). Cela est dû à plusieurs raisons ; le passage de deux obstacles écologiques tel que le désert du Sahara ainsi que la Mer Méditerranée nécessite un plus grand besoin de se reposer et de se nourrir par rapport à l'automne où les oiseaux commencent seulement à traverser la Méditerranée. Les conditions climatiques sont aussi plus variées au printemps, donc plus instables, ce qui nécessite plus d'escales. De plus, il y a également plus de nourriture et d'habitats disponibles à cette période de l'année (Dimaki *et al.*, 2006).

Afin d'étudier ces migrations, une ancienne école primaire a été transformée en station scientifique d'études ornithologiques en 1998. Cette station est gérée par l'Hellenic Ornithological Society depuis 2004, en collaboration avec BirdLife. Les objectifs principaux de ce lieu sont l'étude des passereaux et rapaces migrateurs, ainsi que la surveillance d'espèces d'oiseaux spécifiques tels que les faucons d'Eléonore (*Falco eleonora*) (Dimaki *et al.*, 2006). 85% des individus de cette espèce nidifient en été sur sept îles situées en mer Egée, dont Anticythère, ils ont été inclus dans un projet Life (LIFE13 NAT/GR/000909). Celui-ci a étudié les adaptations à mettre en place pour aider cette espèce face au changement climatique.

Le monitoring des oiseaux (comprenant le bagage) se fait lors des périodes migratoires en automne et au printemps. Certains sont suivis visuellement par des bagues colorées ou par radio-tracking. Des prélèvements sanguins peuvent être entrepris dans le cadre d'études sur l'expression génique. Enfin des enregistrements nocturnes sont aussi réalisés dans une zone occupée par les migrateurs. Des travaux d'aménagement de la zone y sont entrepris afin d'établir un milieu ouvert en débroussaillant et en aménageant des points d'eau artificiels. Ceci dans le but de créer un nouvel habitat propice aux oiseaux migrateurs.

Depuis Octobre 2001, Anticythère est incluse en zone Natura 2000 (site GR3000012). La zone de 2082,82 hectares comprend l'île d'Anticythère ainsi que les petites îles situées en face de cette dernière : Thimonies, Pseira, Plakoulithra, Lagouvardos et Prasonis. Ce site d'intérêt est à protéger pour sa richesse faunistique, de par son nombre important d'espèces d'oiseaux, majoritairement migrateurs, dont 32 espèces inscrites à l'article 4 de la directive 2009/147/EC ainsi que à l'annexe II de la directive Oiseaux (92/43/EEC). En Grèce, 196 ZICO (ou IBA en anglais) sont reconnues, Anticythère en fait partie aussi (GR 130) depuis l'année 2000 en adéquation avec les critères de BirdLife international. Des ZPS sont aussi présentes et chevauchent souvent les ZICO ce qui est le cas pour la zone dont fait partie Anticythère.

E. Présentation de l'espèce : Le pie-grièche à tête rousse (*Lanius senator*)

Dans le cadre de ce mémoire de fin d'étude, une espèce d'oiseaux migrateurs a été choisie : la pie-grièche à tête rousse (*Lanius senator*).

1. Classification taxonomique et phylogénique

Décrite par Linné en 1758, cette espèce appartient à la famille des Laniidae, constituée de 4 genres et de 33 espèces. Cinq sous-espèces du *Lanius senator* sont actuellement répertoriées: le *badius*, le *rutilans*, le *niloticus* et le *senator*. *Le badius* se retrouve sur les îles méditerranéennes telles que la Corse, la Sardaigne et les Baléares. *Le rutilans* réside principalement sur la péninsule ibérique et le nord-ouest de l'Afrique. *Le niloticus* se trouve surtout dans les parties centrales et de l'est de la Turquie tandis que le *senator* a son aire de répartition sur tous les pays du pourtour du bassin méditerranéen (Demongin, 2016). Ce sont ces deux dernières sous-espèces qui se retrouvent sur l'île d'Anticythère de par la convergence des deux voies migratoires orientale et occidentale. Elles peuvent se différencier visuellement grâce à la tache blanche que présente, à l'inverse de sa consœur, la sous-espèce *nicotilus* à la base de ses rémiges primaires et de ses rectrices.

2. Caractéristiques physiques

Chaque *Lanius* est caractérisé par un bandeau noir recouvrant leurs yeux et par leur bec crochu, semblable à celui des rapaces, qui en fait un prédateur redouté. Il tue ses proies à l'aide de deux dents subterminales qui se situent sur la partie supérieure de leur bec. A l'âge adulte, le *Lanius senator* se distingue par sa calotte d'un brun-roux, qui a inspiré son nom issu de la couleur de la toge des sénateurs romains. Un léger dimorphisme sexuel est visible avec des couleurs moins contrastées chez la femelle, son dos étant plus terne ainsi que la pigmentation noire du haut du crâne qui est moins uniforme. Les individus ont une taille moyenne entre 17 et 19 cm pour un poids moyen variant entre 30 et 45 grammes (Demongin, 2016).

3. Comportement reproducteur

Arrivé sur son aire de reproduction, le *senator* construit son nid dans des arbustes épineux comme *Artemisia sieberi* ou *Zygophyllum atriplicoides* (Aghanajafizadeh *et al.*, 2014) ou des arbres du genre *Quercus suber* (Brahimia, *et al.*, 2003). Les individus reproducteurs ont une couvée par an durant laquelle 4 et 6 œufs éclosent, après une quinzaine de jours de couvaison réalisée uniquement par la femelle. Les soins parentaux, comprenant le nourrissage et l'apprentissage à la chasse, sont ensuite réalisés pendant les trois semaines suivant l'éclosion.

4. Distribution et habitat

Ce passereau est un exemple typique d'oiseau migrateur longue distance, passant son hivernage en région Sahélienne, en Afrique subsaharienne, et ayant son aire de reproduction située en Europe centrale et orientale, ainsi qu'en Asie occidentale et au Maghreb, comprenant la majorité des pays du pourtour méditerranéen. Sa migration vers cette dernière se déroule de début avril à mi-mai (Garcia, 2011). Il réalise des escales sur les îles méditerranéennes lors de son trajet migratoire comme la plupart des migrateurs entre l'Afrique et l'Europe (Gargallo *et al.*, 2011).

Son habitat est principalement composé de milieux ouverts et semi-ouverts, allant des milieux agricoles (cultures et vergers) aux bois éclaircis, en passant par les pelouses sèches ou encore les milieux arides avec végétation arbustive et toujours des arbres isolés (Brambilla *et al.*, 2017).

En effet les pies-grièches apprécient les arbustes et buissons pour leur nidification et les arbres pouvant servir de perchoirs lors de la chasse à l'affût. Ils se retrouvent aussi sur des installations humaines en hauteur tels que les lignes électriques ou les fils barbelés.

5. Régime alimentaire

Le régime alimentaire du *senator* est essentiellement insectivore. Il est principalement composé d'insectes de grandes taille (supérieure à 30mm) comme les Carabidae et les Scarabaeidae (Coléoptères 45%) ainsi que les Orthoptères (33%) et les Hyménoptères (18%) (Koci *et al.*, 2020). *Lanius* signifiant boucher en latin, ce nom provient d'une de leur habitude alimentaire à composer des gards manger dits lardoirs, où ils empalent des insectes comme réserve (Yosef & Pinshow, 2005). Les Lanidés sont connus pour se nourrir aussi de petits passereaux, composant jusqu'à 10 % de leur alimentation. *Lanius senator* est le seul de cette famille à ne pas s'en nourrir de manière récurrente (Sandor *et al.*, 2004) mais occasionnellement. Ce comportement a été observé lors d'une escale en Italie (Aispuro *et al.*, 2019) ainsi qu'à Anticythère, les *Lanius senator* profitant de l'état affaibli par la migration des autres passereaux. Ils vont chercher à se nourrir de la cervelle de leurs proies, comme cette fauvette des jardins *Sylvia communis* attaquée alors qu'elle se trouvait piégée dans les filets (Figure 4A et 4B).



Figure 4A et 4B : A gauche : Fauvette des jardins attaquée par *Lanius senator* (L. Escoutay 2021) ; A droite : *Lanius senator* et sa proie (*Gryllus campestris*) de J. Koci , 2020 (Koci *et al.*, 2020)

Son comportement de chasse est principalement de l'affût (dit « Sit and wait ») et il va aller attraper ses proies au sol directement. Son masque facial noir lui permettrait de mieux identifier sa proie en limitant le rayonnement solaire trop lumineux (Yosef *et al.*, 2012).

6. Statut de conservation et menaces directes

Sa population mondiale actuelle est classée comme *Least concern*, selon la liste rouge de l'UICN (IUCN, 2021). Cette espèce n'est pas considérée comme en danger de disparition, de par son nombre d'individus reproducteurs et son aire de répartition assez large (BirdLife, 2021). Sa population est malgré tout en diminution (ICUN, 2021), comme la plupart des oiseaux dans le monde. Un déclin net a été observé entre les années 1970 et 1990 et malgré une stabilisation de la population, voire une augmentation en Europe du Sud et de l'Est entre les années 1990 et 2000 elle est aujourd'hui considérée en déclin dans plusieurs pays du pourtour méditerranéen ; en Grèce, en France, au Portugal et surtout en Espagne. Elle a disparu dans plusieurs pays européens tels que le Luxembourg, les Pays-Bas ou encore la Belgique (BirdLife, 2004). Au niveau mondial, elle est protégée par son inscription à l'annexe II de la convention de Berne (relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe). Au niveau européen, elle est classée en catégorie II des SPEC (Species in European Concern) qui concernent les espèces présentent en Europe avec un statut de conservation défavorable (BirdLife, 2004).

L'espèce est en premier lieu menacée par le changement d'habitat notamment au niveau agricole avec la diminution de zones pastorales et d'agricultures extensives. L'agriculture actuelle comprenant la hausse des monocultures, l'intensification des cultures ainsi que la disparition des insectes impactent fortement les oiseaux inféodés à ce milieu, dont font partie les pies-grièches (Brambilla *et al.*, 2017).

F. La sélection d'habitat

Ce terme généraliste se définit en écologie comme "le processus qu'un organisme utilise pour choisir son habitat, ce qui se traduit par des préférences d'habitat consistant en une utilisation différentielle de ressources spécifiques par rapport à leur disponibilité." (Hall *et al.* 1997). Le choix se fait à différentes échelles spatiales. Comme le phénomène migratoire, la sélection de l'habitat lors d'une escale migratoire est tout sauf aléatoire. Plusieurs facteurs vont influencer cette décision, en plus de ceux qui caractérisent le paysage, comme la position des ressources alimentaires ou le risque de prédation (Jones, 2001). Il est donc dans l'intérêt de la conservation des oiseaux migrateurs de s'intéresser à la sélection d'habitat lors de leurs escales migratoires, afin de mieux connaître et protéger ces milieux et les espèces qui s'y trouvent.

G. Objectifs du mémoire

Ce mémoire va s'intéresser à la sélection d'habitat du *Lanius senator* dans le cadre de son escale sur l'île d'Anticythère lors de son trajet migratoire vers son lieu de reproduction au printemps et l'influence de certaines variables environnementales sur cette sélection. Pour cela un suivi des déplacements d'individus marqués par radio-transmetteur a été effectué. Les points de présence obtenus ont permis de déterminer la répartition de ces individus lors de cette escale sur plusieurs années. L'objectif principal est de déterminer quelles variables parmi celles disponibles ont influencé cette distribution et comment celles-ci illustrent la sélection de l'habitat lors d'une escale migratoire. Cette distribution d'espèce va être réalisée à l'aide du logiciel MaxEnt.

II. Matériels et Méthodes

Dans le cadre de ce mémoire, la sélection d'habitat par le *Lanius senator* lors de son escale sur l'île d'Anticythère qui a été choisie comme sujet de recherche. Etant donné la pandémie du COVID-19 les données n'ont pas pu être prélevées en 2021. Les résultats utilisés proviennent donc des données obtenues entre 2016 et 2019. Les données de localisation des individus lors de leur escale sur Anticythère ont été utilisées pour étudier la sélection d'habitat. Concernant la partie d'équipement des individus avec un émetteur, celle-ci reprend la méthode décrite dans Papageorgiou *et al.* (2016). Cette même méthode fut utilisée les années suivantes lors de la récolte de données.

A. Capture et marquage des individus

Les captures des oiseaux migrateurs se font par piégeage à l'aide de 11 filets tendus fixes (figure 5) et espacés chacun de 130 m. Ils sont disposés dans une zone choisie spécifiquement. Celle-ci est favorable à la présence des oiseaux migrateurs par son emplacement et la végétation qui s'y trouve ; au centre de l'île dans les parties de faible altitude et protégées des vents, dans des milieux ouverts, résultant d'anciennes exploitations agricoles séparées par des murets de pierres, agrémentés d'arbustes et arbres isolés. Déployés chaque matin lors de la période migratoire, les filets (figures) sont vérifiés toutes les heures (de 7h à 13h) afin d'y récupérer à l'aide de sacs en coton les oiseaux piégés pour analyser leurs variables et les baguer. Lors du monitoring, l'âge et le sexe de l'individu, son espèce, la longueur de ses ailes (mm) et son poids (gr) sont déterminés. L'âge, la longueur des ailes ainsi que la longueur des tarsi sont mesurées selon Svensson (1992) à une variation de 0,5 mm. La masse corporelle est mesurée à 0,1 gramme près tandis que le ratio de graisse sous-cutanée est défini d'après Kaiser (1993). Ils sont également bagués à l'aide de bagues en aluminium dont la taille varie en fonction des individus.

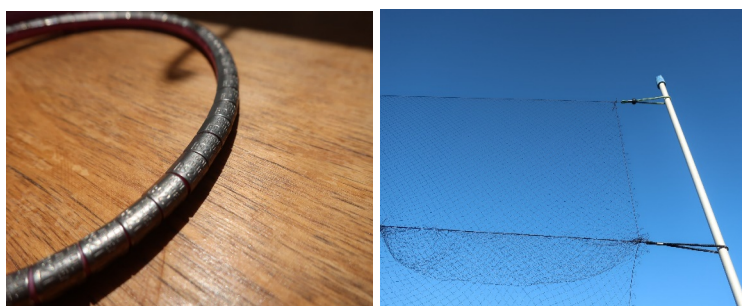


Figure 5 A gauche : photo des bagues en aluminium pour *Lanius senator* ; A droite photo d'un des filets de capture installés sur Anticythère (Léa Escoutay, 2021)

Les pies-grièches à tête rousse sont baguées à l'aide d'une bague en aluminium de la **taille B+** (figure 5) adaptée au diamètre d'environ 3,3 mm de leurs pattes. Certains des individus capturés sont déjà bagués, donc seule la masse corporelle est contrôlée lors de cette recapture afin de comparer l'évolution du poids par rapport à la première capture. En plus des bagues classiques, les individus d'intérêt sont équipés de trois anneaux colorés afin de faciliter la reconnaissance des individus sur le terrain. Certains individus capturés se verront aussi équipés d'un radio-transmetteur nano-tag VHF (modèle NTQB2-1 Lotek wireless Inc., Canada). Les dimensions de ce dernier sont de 11 mm de longueur, 5 mm de largeur et 3 mm d'épaisseur. Il a un poids d'environ 0,26 g auquel doit s'ajouter le poids du système d'attache : un harnais au niveau des cuisses permettant de maintenir le transmetteur sur l'oiseau (Rappole & Tipton, 1991). La longueur nécessaire de l'attache est déterminée d'après Naef-Daenzer (2007) Le poids total de l'équipement ne doit pas dépasser 5 % de la masse de l'oiseau.

Les oiseaux sont relâchés sur place après avoir été équipés. Aucune modification du comportement des oiseaux n'a été observée après leur libération, hormis pendant la demi-heure suivant la mise en place de l'émetteur où ils se lissaient le plumage plus fréquemment. La durée de la batterie est estimée entre 15 et 21 jours ce qui est suffisant, car supérieure à la durée de l'escale des *Lanius* sur l'île (maximum 10 jours). Ces transmetteurs finissent par se détacher d'eux-mêmes après quelques mois. Afin d'établir le suivi des individus équipés, un récepteur portatif, modèle : SRX800 m-2 (Lotek wireless Inc., Canada) ainsi qu'une antenne Yagi à trois éléments (Biotrack Ltd., Royaume-Uni) ont été utilisés. Ce système se base sur les fréquences émises par les transmetteurs et captées par l'antenne.

La méthode de homing, qui consiste à « s'approcher délibérément d'un animal lors d'un suivi radio » (Kenward, 2000) afin de connaître l'emplacement des individus sur place. Pour cela, une à deux personnes étaient présentes chaque jour sur le terrain du lever au coucher du soleil afin de localiser les individus marqués. Les positions ont donc été pour la plupart vérifiées visuellement. Cependant pour éviter toute perturbation et biais lors des observations après baguage, les individus ne sont pas approchés à moins d'une quinzaine de mètres et visualisés à l'aide de jumelles. Une tablette Android avec l'application Locus Maps Free (Locus 2014), et une carte numérisée d'Anticythère ont permis l'enregistrement des points de localisation.

La durée de l'escale pour chaque individu est calculée entre le premier jour où l'individu est équipé et le dernier jour de son signal. Si leur positionnement n'est plus détecté pendant trois jours, il est admis que l'individu a quitté l'île pour reprendre sa route migratoire.

B. Méthode d'analyse

Pour analyser les résultats de position, le logiciel **MaxEnt** v. 3.0 (Maximum Entropy Modeling of Species Geographic Distributions) a été employé (Phillips, S. *et al.*, 2006). Celui-ci est utilisé dans le domaine de l'écologie pour la modélisation de niche et permet de prédire la distribution d'une espèce en fonction de points de présence et de variables environnementales. Il permet également de voir comment chacune des variables influence la présence de l'espèce

Dans le cadre de ce travail, l'objectif est de visualiser la distribution du *Lanius* en fonction de différents facteurs environnementaux et voir si ces facteurs ont pu influencer la présence des *Lanius* à cet endroit. Les données utilisées proviennent de quatre années (2016, 2017 et 2018, 2019) de suivi du *Lanius senator* sur Anticythère.

Pour obtenir des données exploitables par ce logiciel, il est en premier lieu nécessaire de les traiter à l'aide d'un logiciel de Système d'Information Géographique (SIG), ici QGIS (version 3.10.10). Celui-ci va permettre de générer les couches environnementales en adaptant la taille des couches à la zone d'intérêt, et surtout d'accorder les couches environnementales au même système de projection ainsi qu'à la même résolution. Une analyse statistique des variables environnementales est réalisée via R-Studio avant d'encoder les données de localisation et les couches environnementales dans le logiciel MaxEnt.

1. QGIS

Le système de projection doit être le même pour toutes les couches environnementales ainsi que pour les points de présence des individus. La projection qui a servi de référence est celle de la couche d'élévation : EPSG:3035 (ETRS89-LAEA Europe).

Concernant la résolution des couches environnementales, celle-ci a son importance. Outre le fait que toutes les cartes doivent être alignées sur la même résolution, cette dernière ne doit pas être trop élevée. Les relocalisations se situant sur une échelle de 0 à 50 m, il ne faut pas que la résolution soit trop basse car ces localisations ne seront pas visibles et cela biaiserait

l'interprétation. La résolution qui semble être la plus appropriée et qui a été choisie est celle de 10x10m afin de n'omettre aucune relocalisation.

a. Individus échantillonnés

Les données des individus *Lanius* utilisées avec le logiciel MaxEnt comprennent une colonne espèce et de deux colonnes qui correspondent à la localisation de l'individu, l'une avec la latitude et l'autre avec la longitude.

Afin de limiter un des biais d'échantillonnage, il a été décidé de ne prendre en compte que les individus restants sur l'île plus d'une journée car ceux qui ne restent qu'une journée essaient simplement de trouver un endroit sûr pour passer la journée sans qu'une sélection d'habitat soit réellement prise en compte. Six oiseaux sur les 41 équipés de transmetteurs n'ont pas été pris en compte dans les données introduites dans QGIS et MaxEnt.

Dans ce cas, les individus ne se sont pas différenciés individuellement sur les cartes par leur nombre de relocalisations. Cela a été fait délibérément, le travail ici ne s'intéresse pas aux variations dans le comportement individuel mais à la distribution générale de l'espèce.

Dans QGIS les localisations des individus sont projetées dans le système cible EPSG:3035 (ETRS89-LAEA).

b. Variables environnementales

Les variables environnementales choisies sont au nombre de quatre : les habitats, l'altitude, la pente et la distance à la côte. Elles ont été prises en compte et testées pour modéliser la distribution de *Lanius senator* sur l'île grecque, le but étant de déterminer laquelle contribue le plus au modèle de distribution et donc de sélection d'habitat de l'espèce dans ce milieu.

Habitats caractéristiques

Cette couche environnementale a été téléchargée à partir du portail d'information géospatiale du ministère de l'Environnement et de l'Énergie grec (<http://mapsportal.ypen.gr/>). Elle montre la répartition des 16 habitats reconnus sur l'île (Tableau 1), les habitats protégés sont définis par l'annexe I de la directive Habitat (<https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/listeHabitats>) tandis que les habitats non protégés ont un

code basé sur les schémas codes CORINE (C.Kassara, communication personnelle, le 15 Juillet 2021). Pour faciliter la lisibilité des résultats dans MaxEnt, il a été décidé de fusionner 7 habitats (1011 à 1041) en un seul code (2021) dit “Habitats artificiels” (Tableau 1).

Tableau 1 liste des codes d'habitats d'Anticythère et de leurs description (<https://inpn.mnhn.fr/site/natura2000/listeHabitats>) ; les habitats avec une astérisque (*) sont ceux repris dans le code 2021 “Habitats artificiels”

Codes des habitats	Description
1011	Villes et villages*
1012	Zone de services*
1013	Habitations secondaires*
1025	Routes*
1029	Ports *
1030	Sites d'extraction*
1032	Zone de construction*
1041	Zone de loisirs*
1050	Terres arables non irriguées
1062	Cultures abandonnées
1240	Falaises végétalisées des côtes méditerranéennes avec <i>Limonium spp.</i>
5210	Matorral arborescent <i>Juniperus drupacea</i>
5340	Garrigues orientales
5420	Phryganes <i>Sarcopoterium spinosum</i>
8250	Lit rocheux non végétalisé (écosystèmes terrestres)
9620	Lit de rivière non végétalisé

Pour faciliter la compréhension par le logiciel MaxEnt les codes par habitats ont été renommés avec des chiffres dans une nouvelle colonne “Habitats 3” (Tableau 2)

Tableau 2 Attribution de chiffres à chaque code d’habitat

Habitats 2	2021	1050	1062	1240	5210	5340	5420	8250	9620
Habitats 3	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Elévation

Un autre facteur pris en compte est l’élévation, mesurée en mètres. Cette couche a été définie à partir de la couche EU-DEM E50-N10 téléchargée sur le site Copernicus Land Monitoring Service (<https://land.copernicus.eu/>). Celle-ci couvrant initialement une surface de 1000 sur 1000 km, elle a été adaptée à la surface de l’île. L’élévation est à différencier de l’altitude. Le MNT (modèle numérique de terrain) correspond à l’élévation par rapport au terrain soit l’altitude. En revanche la MNA (modèle numérique d’altitude) peut aussi correspondre à l’élévation du relief et pas uniquement du terrain, tel que le sommet des arbres.

Pente

Cette couche a été définie à partir de la couche précédente d’élévation et se mesure en degrés. Elle a été générée sur QGIS à l’aide de la fonction r.slope.aspect (GRASS) à partir de la couche d’Elévation.

Distance à la côte

Cette couche environnementale n’était pas directement disponible et a été créée avec QGIS à partir de la couche Habitats et en utilisant la fonction de distance euclidienne par rapport à la limite du littoral insulaire. Elle montre si la distance (en mètres) de chaque habitat par rapport à la ligne de la côte influence la présence du *Lanius* à cet endroit.

Chacune des couches environnementales créée sur QGIS est enregistrée et exportée au format.ASC afin d’être exploitable sur MaxEnt. Des représentations de ces variables environnementales sous forme de cartes d’Anticythère ont aussi été créées. De plus les données de Pente, Distance à la côte, Élévation et Habitats selon chaque localisation ont aussi été obtenues via Q-GIS afin de réaliser les statistiques nécessaires.

2. *Analyse statistique*

Le lien entre les variables quantitatives et la variable qualitative Habitat a aussi été vérifié. L'objectif est de vérifier la normalité de la distribution des variables quantitatives via différents tests (histogrammes, test de Shapiro-Wilks et QQ plots) pour décider d'utiliser un test de corrélation paramétrique ou non-paramétrique. Celui-ci permet d'évaluer la présence de multicollinéarité entre ces variables. Le lien entre les variables quantitatives et la variable qualitative a également été analysé. Ces statistiques ont été réalisées via le logiciel R-studio (version 1.1.463).

3. *MaxEnt*

Lors de l'insertion des variables environnementales dans le logiciel MaxEnt, il est nécessaire de préciser si elles sont considérées comme des variables catégorielles, à l'instar de la couche habitats, ou continues comme les trois autres couches ; pente, distance à la côte et élévation.

Plusieurs formats de sortie sont possibles (ClogLog, brut, cumulatif, logistique). Dans notre étude, le format par défaut **ClogLog** a été choisi. Celui-ci est le plus approprié en donnant une valeur de probabilité de présence entre 0 et 1 (Philips, 2005).

Des résultats sont obtenus directement comme les Analyse des omissions/commissions qui permettent d'obtenir un graphique d'omission et une aire de distribution prévue pour l'espèce en question ainsi qu'un graphique présentant la sensibilité par rapport à la spécificité et qui montre l'ajustement du modèle dans la modélisation de la distribution de l'espèce. Un tableau de l'analyse de la contribution des variables avec le pourcentage de contribution de chaque variable au modèle a également pu être réalisé.

Afin de réaliser une comparaison, 25 % de l'échantillon est sélectionné aléatoirement par le logiciel afin de se servir de test tandis que le reste des valeurs est utilisé comme des données dites d'entraînement.

a. Courbes de réponses

Les courbes de réponses permettent de visualiser l'impact de chacune des variables environnementales sur l'estimation de présence de l'espèce en question. Deux types de courbe de réponse sont disponibles. La première concerne l'impact d'une variable dans le modèle général, incluant les autres variables définies selon leur valeur moyenne. Cela reflète la dépendance de l'adéquation prévue à la fois avec la variable sélectionnée et aux dépendances induites par les corrélations entre la variable choisie et les autres variables. La seconde représente un modèle unique d'estimation de présence incluant seulement la variable en question.

b. Image de prédiction

Une représentation du modèle de prédiction a été générée pour la distribution de l'espèce sur la zone cible à savoir l'île d'Anticythère. La probabilité de présence de *Lanius senator* est visualisée par une échelle logarithmique de couleurs.

c. Test Jackknife

L'analyse de la contribution des variables peut également se faire à l'aide d'un test Jackknife. Le résultat de ce test statistique est généré par MaxEnt et permet de visualiser la contribution de chaque variable environnementale au modèle de distribution de l'espèce et de confirmer les résultats précédents.

III. Résultats

A. Analyse exploratoire des données

Chaque année, le nombre de *Lanius senator* bagués est très variable, par exemple seulement 37 pies-grièches à tête rousse ont été bagués en 2018 contre 197 en 2019 (Annexe 1). Ils sont cependant une des espèces migratoires les plus fréquentes sur l'île à la période printanière (Barboutis, communication personnelle).

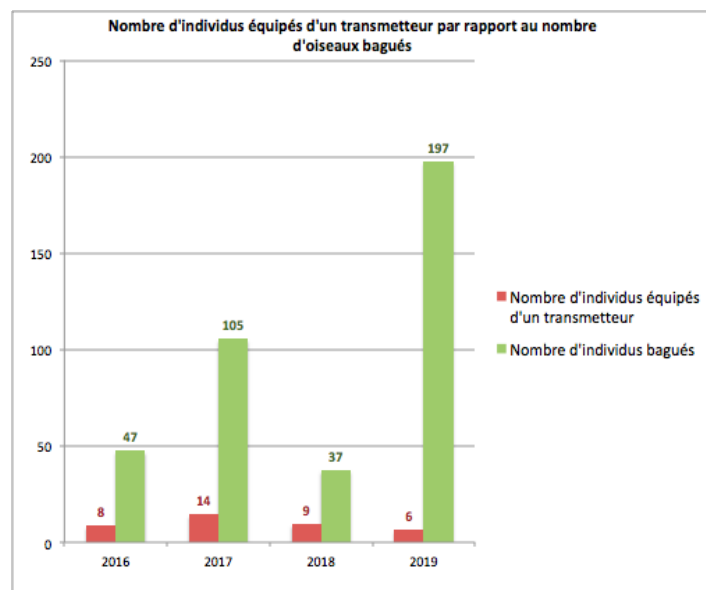


Figure 6 Nombre de *Lanius senator* équipés d'un transmetteur par rapport au nombre d'oiseaux bagués

Le nombre d'oiseaux équipés de transmetteurs varie selon les années de suivi, de 6 en 2019 à 14 en 2017 (Figure 6). Il y a eu plus de pies-grièches à tête rousse baguées en 2019 (197) qu'en 2017 (105); or il y a eu plus d'individus équipés de transmetteurs en 2017 (14) qu'en 2019 (6), le ratio d'individus équipés ne dépend pas du nombre d'individus bagués. Pour qu'ils soient équipés d'un transmetteur en plus des bagues plusieurs facteurs sont pris en compte. Cela va dépendre de leur poids et de leur état de forme, ainsi que du nombre de transmetteurs disponibles et des capacités humaines et matérielles disponibles pour réaliser ce suivi.

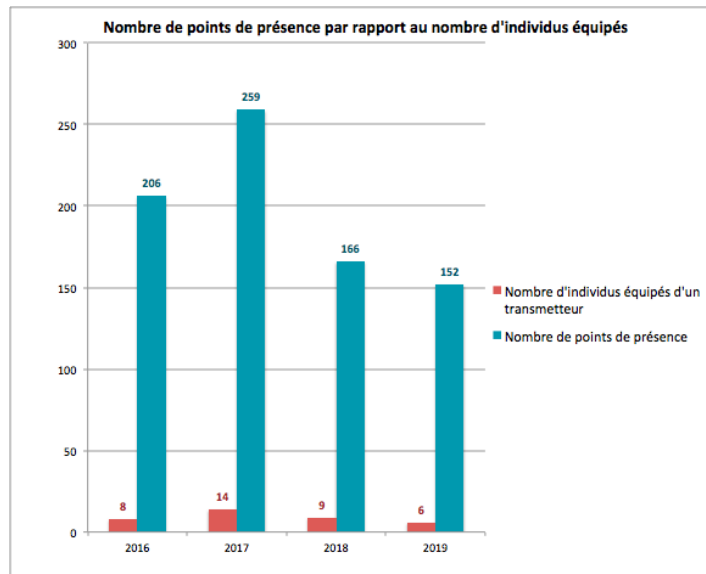


Figure 7 Nombre de points de présence recensés par rapport au nombre d'individus équipés d'un transmetteur

Un taux élevé de points de présence par rapport au nombre d'individus équipés est visible, et il augmente logiquement avec le nombre de transmetteurs mis en place. En 2017, 14 individus ont été équipés et 259 points de présence ont été recensés, en 2019 seulement 6 individus ont été équipés pour 152 points de présence.

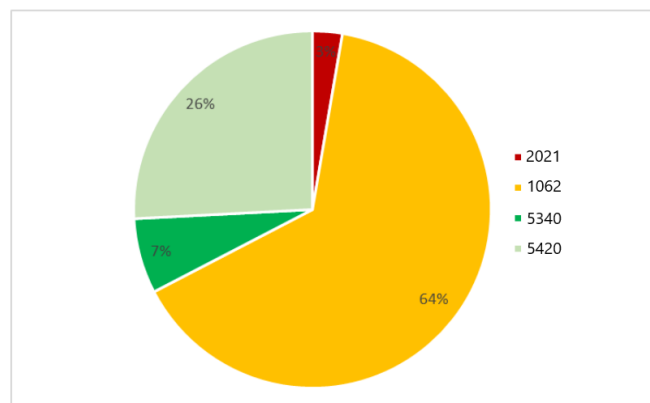


Figure 8 Répartition des points de présence de *Lanius senator* selon les habitats répertoriés sur Anticythère. 2021 correspondant aux zones artificielles, 1062 aux cultures abandonnées, 5340 aux garrigues orientales et 5420 aux phryganes

Les 705 points de présence se répartissent entre seulement 4 habitats, sur les 9 répertoriés de l'île : les cultures abandonnées, les habitats artificiels, la garrigues orientale et les phryganes. Plus de la moitié des points de localisations (456 points de présence) se trouvent dans les cultures abandonnées. Un quart d'entre elles (182 localisations) sont dans les phryganes. Les garrigues dites orientales (5340) contiennent 7% des données, soit 48 points. Enfin, seulement 3% des déplacements, soit 19 relevés, se retrouvent dans les habitats dits artificiels.

B. Carte des variables environnementales : résultats issus de QGIS

A partir des couches environnementales créées sur QGIS, des cartes ont été générées pour permettre de visualiser la répartition des points de localisation de *Lanius senator* selon les différentes variables environnementales.

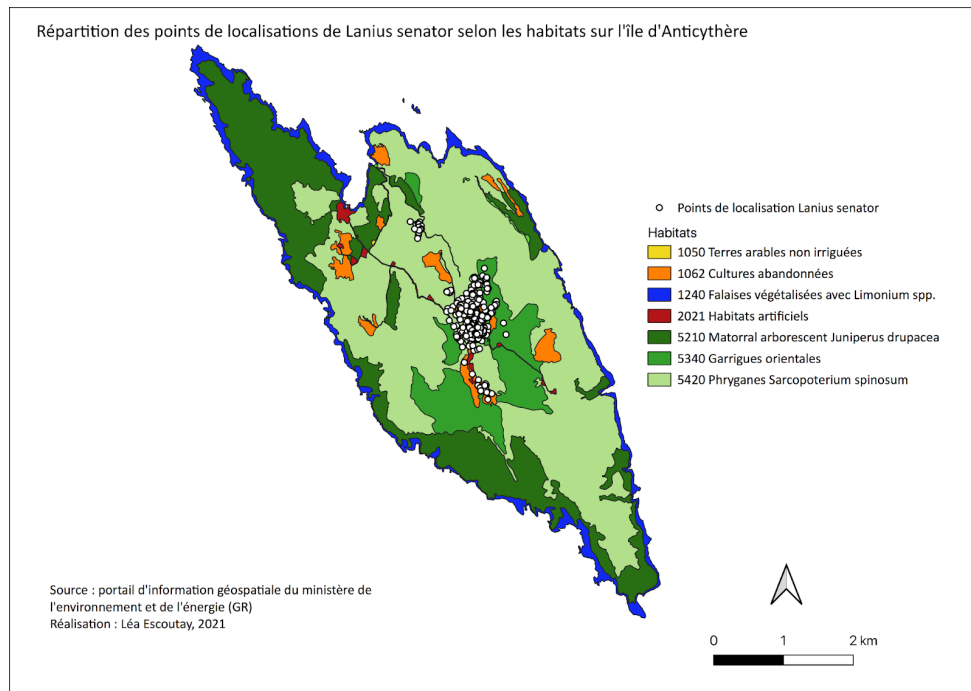


Figure 9 Carte de répartition des points de localisation de *Lanius senator* à Anticythère selon les habitats. Les points blancs représentent les localisations de *Lanius senator*. Les couleurs correspondent aux différents habitats.

La majorité des individus sont restés au centre de l'île, dans les cultures abandonnées, proche de l'endroit où ils ont été relâchés (Figure 9). Quelques relocalisations isolées sont visibles vers le Nord de l'île dans les phryganes, recouvrant une grande partie de l'île. Il y a également des localisations dans les garrigues, qui sont dans la partie centrale d'Anticythère. Les zones artificielles, comprenant, les routes, habitations *etc.* sont peu présentes et seulement quelques points de présence se retrouvent dans ces endroits. Aucune présence n'a été trouvée sur les falaises végétalisées qui bordent le littoral ainsi que dans le matorral arborescent.

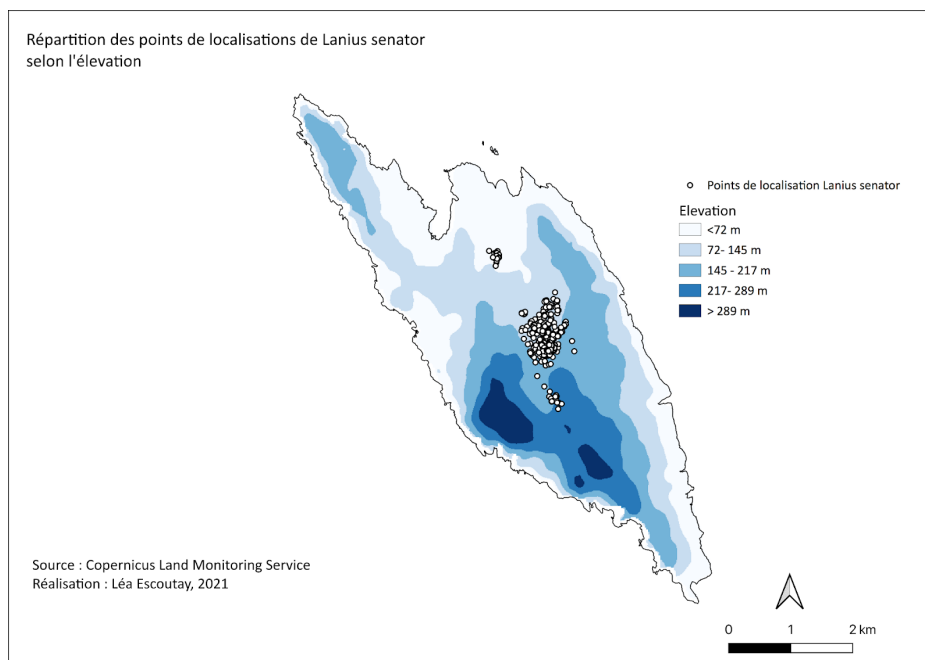


Figure 11 Carte de répartition de *Lanius senator* selon l'élévation du relief de l'île d'Anticythère. Les points blancs représentent les points de localisations de *Lanius senator*. Les différentes teintes de bleu représentent l'élévation.

La majorité des individus se trouvent sur une élévation entre 72 et 145 m ainsi qu'une partie à un niveau supérieur entre 145 m et 217 m. Un petit groupe de présence isolé est situé à moins de 72 m et il y a quelques individus localisés entre 217 et 289 m mais aucune présence n'a été détectée à plus de 289 m (Figure 11).

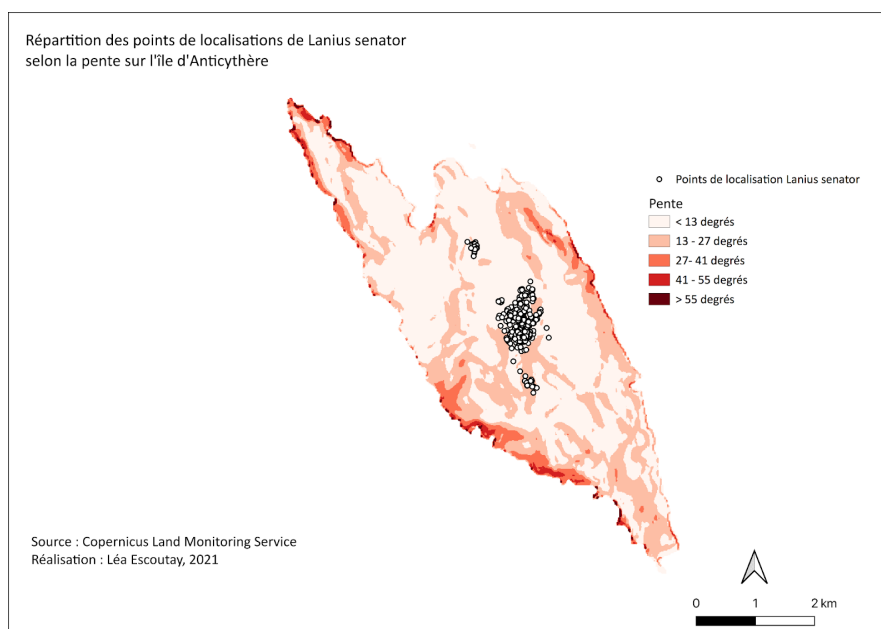


Figure 10 Carte de la répartition de *Lanius senator* selon la pente (en degrés) sur l'île d'Anticythère ; les tons de rouge représentent le niveau de pente, les points blancs représentent la localisation des *Lanius senator*.

La totalité des points de localisation se concentre sur une pente faible, inférieure à 13 degrés ou située entre 13 et 27 degrés (Figure 10). Aucun point de présence n'a été détecté sur des pentes supérieures à 27 degrés, qui sont présentes sur certaines parties du littoral : les

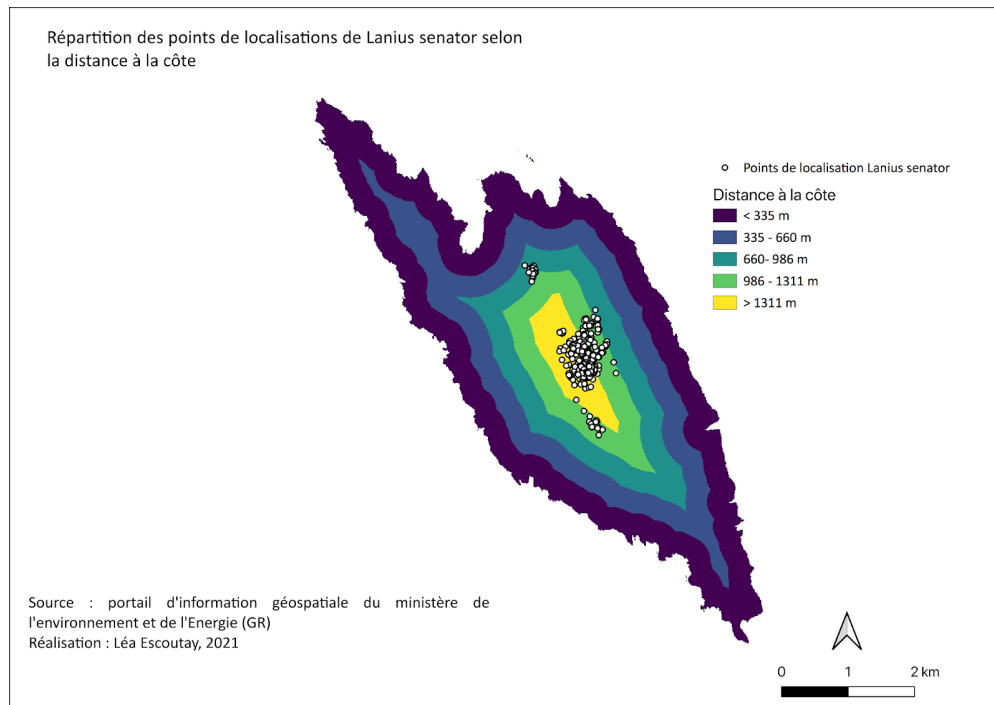


Figure 12 Carte de répartition de *Lanius senator* selon la distance à la côte (mètres) sur l'île d'Anticythère. Les couleurs représentent les niveaux de distances à la côte. Les points blancs représentent les localisations de *Lanius senator*.

falaises.

La majorité des individus sont restés au centre de l'île, à la distance la plus éloignée de la côte, à plus de 1311 m de la côte. Une partie se retrouve dans l'intervalle entre 986 et 1311 m. Les quelques localisations trouvées les plus proches de la côte se situent entre 660 et 986 m de celles-ci.

C. Analyses statistiques

Pour évaluer la normalité des variables quantitatives, trois tests ont été effectués : histogrammes, Q-Q plots et le test de Shapiro-Wilk. Concernant ce dernier, une sélection aléatoire de 5000 lignes a été faite, parmi les 194 872 données, étant la limite maximale autorisée pour ce test. Pour celui-ci, toutes les p-values sont inférieures à $2,2e-16$ soit inférieures à 0,05, ce qui rejette l'hypothèse de normalité. D'après les deux autres, aucune des variables ne suit une distribution normale. Les tests précédents ayant démontré que les

variables ne suivaient pas la loi normale, leur corrélation a été vérifiée à l'aide d'un test de Spearman qui est non paramétrique.

Tableau 3 Test de corrélation de Spearman entre les trois variables environnementales quantitatives, arrondis à deux décimales

Variabiles	Pente	Élévation	Distance à la côte
Pente	1	0,11	-0,31
Élévation	0,11	1	0,51
Distance à la côte	-0,31	0,51	1

Selon ce test (Tableau 3) il y a une corrélation positive (0,51) entre les variables Élévation et Distance à la côte. Pour les variables Élévation et Pente où la corrélation est très faiblement positive (0.11). Entre la Pente et la Distance à la côte la corrélation est faible et négative (-0.30). Ces corrélations restant inférieures à 0,6 (en nombre absolu), nous considérons qu'il y a un faible risque de multicollinéarité de nos analyses.

Le lien des variables quantitatives avec la variable qualitative Habitats a été analysé via un test non paramétrique de Kruskal-Wallis (Tableau 4).

Tableau 4 P valeurs issu du test de Kruskal-Wallis entre les variables quantitatives et la variable qualitative

Variabiles environnementales	p-valeurs
Pente	$<2,2e^{-16}$
Distance à la côte	$<2,2e^{-16}$
Élévation	$<2,2e^{-16}$

D'après ce dernier, comme les p-valeurs sont inférieures à 0,05 pour chaque variable donc que l'hypothèse nulle est rejetée, cela montre qu'il y a un lien entre chaque variable quantitative et la variable qualitative. Afin de préciser la valeur de ce lien, des tests de Mann-Whitney post-hoc, qui sont aussi des tests non paramétriques, ont été réalisés. Ils permettent de faire des comparaisons par paires entre chaque variable quantitative et chaque habitat (Annexe 3, 4, 5). Dans la quasi-totalité il y a des différences significatives (p-valeur < 0,05) donc que les variables quantitatives varient entre chaque habitat. Exception faite de la pente entre les habitat 6 et 7 (Annexe 3) et de la distance à la côte entre les habitats 1 et 3 (Annexe 4) dont les p-valeurs sont supérieure à 0,05 donc qu'il n'y a pas de différence entre elles.

D. Détermination des niches écologiques de *Lanius senator* : résultats du Niche

Modelling

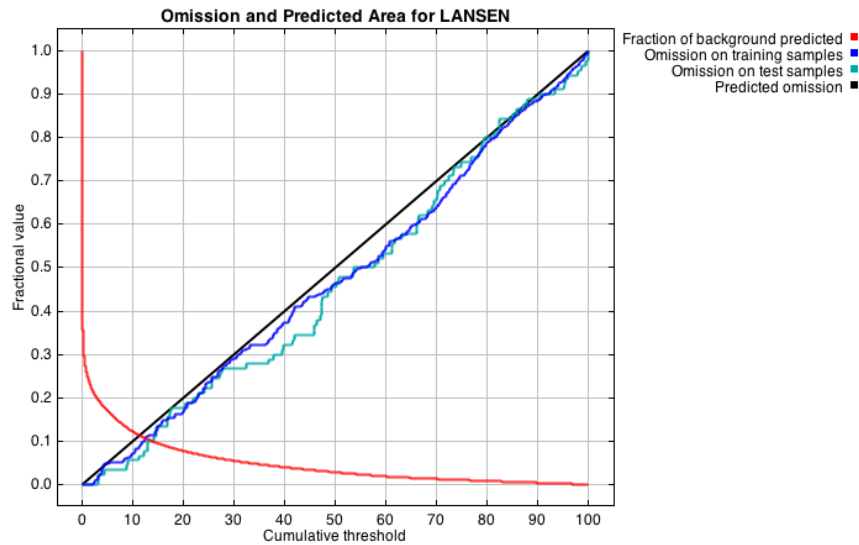


Figure 13 Graphique des taux d'omission et de la surface prévue en fonction du seuil cumulé. Ce graphique permet de visualiser l'adaptation du modèle aux données de présence. En bleu foncé, le taux d'omission des échantillons d'entraînements, en bleu turquoise le

Les trois taux d'omission, celui de l'échantillon total, celui de l'échantillon test (25% de l'échantillon total) ainsi que celui du modèle de prédiction montrent une forte correspondance.

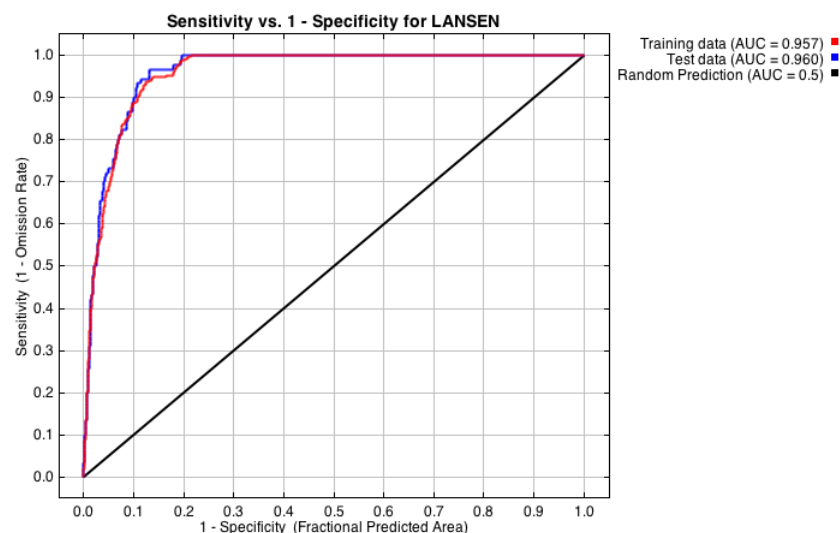


Figure 14 Graphique de la sensibilité et spécificité. La sensibilité correspond à la proportion de présences correctement prédites, tandis que la spécificité à la proportion d'absences correctement prédites. La ligne rouge, correspondant aux données d'entraînement

Les données d'entraînement et de test sont quasiment identiques avec le même AUC cela s'explique par le fait que les valeurs test sont issues de l'échantillon contenant l'ensemble des données. Les valeurs de cet AUC se rapprochent de la valeur maximale 1 (0,957) cela montre que ce modèle prédit correctement la distribution de *Lanius senator* par rapport à ses points de répartition connus.

1. Courbes de réponses

Les courbes de réponses permettent de visualiser la prédiction de présence de l'espèce selon chacune des variables environnementales. Deux types de graphiques sont générés. Le premier montre l'effet de la variation d'une variable pour le même modèle de prédiction et pour lequel les autres variables sont ramenées à une valeur moyenne. Le second représente chaque fois un modèle différent en utilisant séparément chaque variable sans que les autres soient prises en compte. Ils peuvent être plus faciles à interpréter s'il existe de fortes corrélations entre les variables, ce qui n'est pas le cas ici.

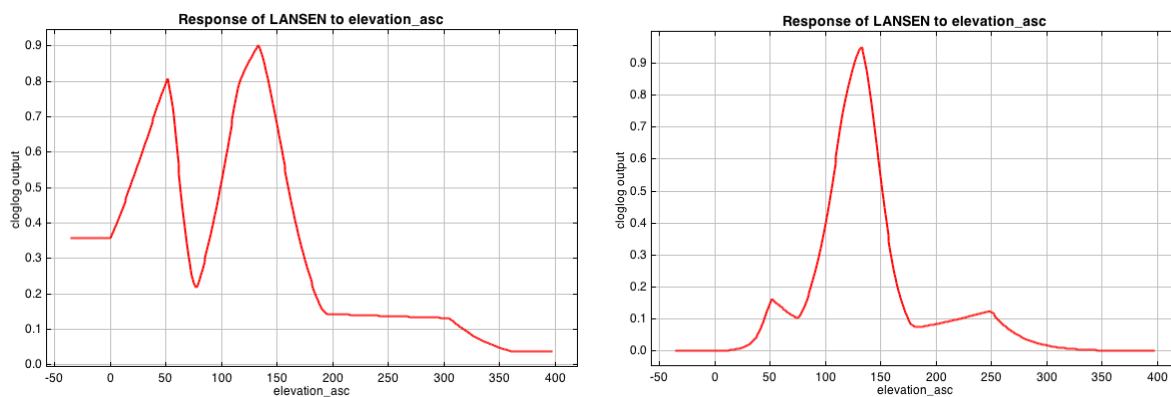


Figure 15 Probabilité de présence de *Lanius senator* selon l'élévation. Le premier graphique correspond à l'Élévation par rapport au modèle tandis que le second graphique représente un modèle avec seulement la variable Élévation prise en compte. En Y l'estimation entre 0 et 1 de la présence d'individus de l'espèce et en X les variations de l'élévation (en mètres)

Dans le premier graphique, il y a un premier pic à 0,8 pour 50 m et un second plus élevé (0,9) vers 135 m. Concernant le deuxième graphique, le plus grand pic (0,95) est aussi à 135 m tandis que le pic de 50 m n'est qu'à 0,15 d'estimation de présence. Les estimations les plus élevées des deux courbes se font à la même élévation pour une Élévation semblable. La différence d'allure entre les deux modèles est illustrée par l'estimation de présence plus élevée à 50 m pour le premier (0,8) que pour le second (0,15). Cela s'explique par le fait que toutes les variables sont prises en compte dans le premier et donc que la variable Élévation seule contribue moins à la présence de l'espèce à cette hauteur.

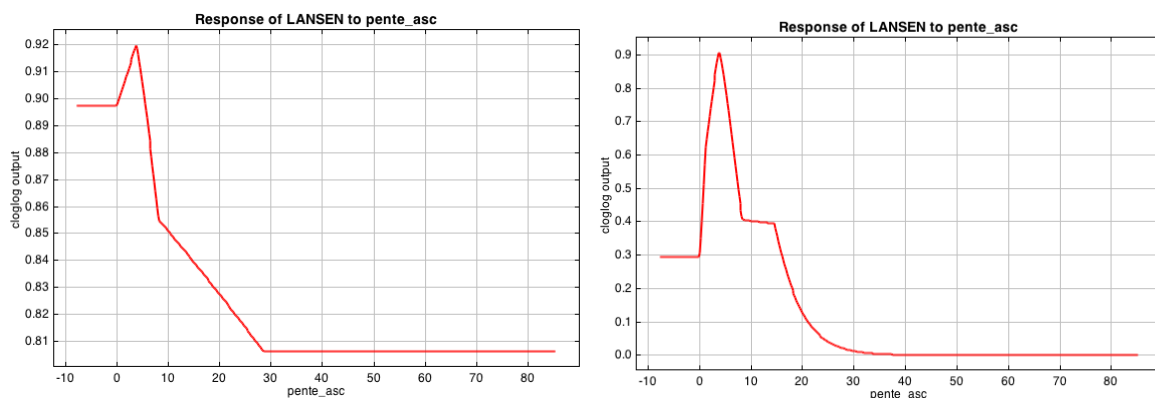


Figure 17 Probabilité de présence de *Lanius senator* selon la pente du relief d'Anticythère. Le premier graphique correspond à la pente par rapport au modèle tandis que le second graphique représente un modèle avec seulement la variable Élévation prise en compte. En Y l'estimation entre 0 et 1 de la présence d'individus de l'espèce et en X les variations de pente (en degrés).

Les deux graphiques de la pente présentent une allure assez semblable (Figure 17). En revanche l'allure de la courbe du premier s'interprète avec prudence du fait que l'intervalle de l'estimation de présence de l'axe se situe entre 0,81 et 0,92. Le pic maximal et unique du premier graphique est à 0,92 correspondant à une pente à 5 degrés avant de diminuer jusqu'à la valeur minimum pour une pente de 30 degrés. Pour le deuxième graphique qui semble plus représentatif de la réalité de terrain, par son échelle de l'axe des Y, son pic d'estimation maximum de présence (0,7) se situe entre 0 et 10 degrés. Cette différence d'allure pourrait s'expliquer par la faible contribution de la variable Pente au modèle général de prédiction de distribution de l'espèce.

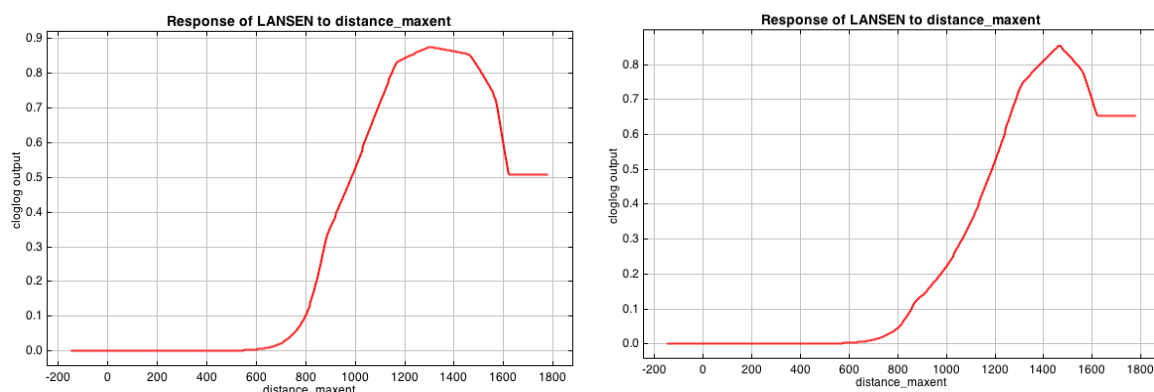


Figure 16 Probabilité de présence de *Lanius senator* selon la distance par rapport à la côte d'Anticythère. Le premier graphique correspond à la distance à la côte par rapport au modèle général tandis que le second graphique représente un modèle basé uniquement selon la variable Distance à la côte. En Y l'estimation entre 0 et 1 de la présence d'individus de l'espèce et en X les variations de distances à la côte (en mètres)

Contrairement aux deux variables décrites précédemment, la variable Distance à la côte a une allure assez semblable pour ces deux modèles avec un départ des deux courbes à 0 (Figure 16). Tous deux montrent un pic maximum à 1400 m. La probabilité de présence est néanmoins supérieure dans le deuxième modèle (0,85) par rapport au premier (0,75). Le pic est donc identique pour les courbes même si les estimations de présence varient. Le fait que ces deux courbes soient très ressemblantes indique l'importance de la variable Distance à la côte dont l'estimation de présence n'est que peu modifiée par la présence des deux autres variables dans le modèle général.

2. Image de prédiction de distribution de *Lanius senator*

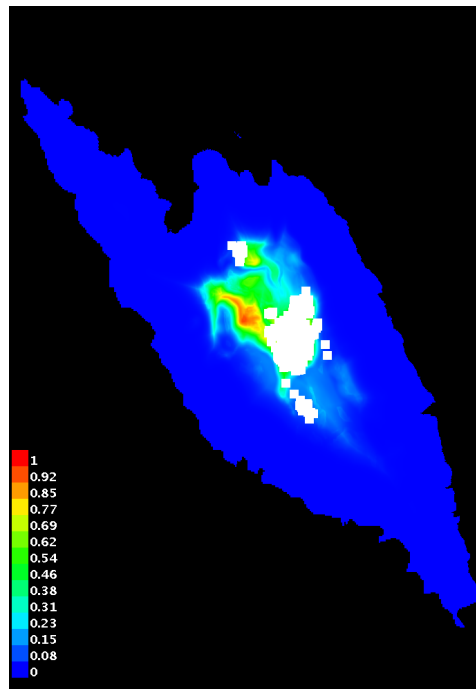


Figure 18 Image de prédiction de la distribution de *Lanius senator* représentative du modèle. Les pixels blancs représentent les points de présence des individus localisés tandis que l'échelle logarithmique de couleurs montre la probabilité de trouver des *Lanius senator*; plus les couleurs sont chaudes plus cette probabilité est élevée, en rouge la probabilité la plus élevée soit 100% de chances d'avoir des individus situés dans cette zone.

La zone centrale de l'île est l'endroit où il y a le plus de probabilité que des *Lanius senator* soient présents (Figure 18). La majorité de l'île est de couleur bleu foncé, avec une faible probabilité que des pies-grièches à tête rousse y soient présentes. La probabilité de présence augmente dans le centre de l'île avec une zone verte où il y a entre 38 à 62% de chance que les *Lanius* s'y installent. Une petite zone rouge et jaune est visible, soit celle avec les probabilités les plus élevées, le reste étant recouvert par les pixels blancs de localisations des *Lanius*. Cela montre que la prédiction de distribution des *Lanius senator* sur Anticythère est limitée au centre de l'île.

3. Analyse de la contribution des variables à la distribution de *Lanius senator*

Tableau 4 Estimation des contributions relatives des variables environnementales au modèle. La première estimation, dans la deuxième colonne, à chaque itération de l'algorithme d'apprentissage, l'augmentation du gain régularisé est ajoutée à la contribution de la variable correspondante, ou soustraite si l'évolution de la valeur absolue de lambda est négative. La troisième colonne contient la deuxième estimation, pour laquelle les valeurs de chaque variable, une par une, sont permutées de manière aléatoire. Le modèle est réévalué sur les données permutées, et la baisse résultante de l'AUC d'entraînement est indiquée dans le tableau en pourcentages.

Variables	Pourcentage de contribution	Importance de la permutation
Distance à la côte	80,7	86
Élévation	18,8	14
Pente	0,5	0,1

Selon la colonne de contribution (Tableau 4), la distance à la côte est la variable environnementale qui contribue le plus au modèle (80,7%) tandis que la pente est celle qui y contribue le moins (0,5%). La variable Élévation apporte une contribution de 18,8% au modèle. L'importance de la permutation de la Distance à la côte est aussi élevée ce qui confirme sa contribution majoritaire au modèle. La variable Élévation a une importance de permutation quasiment identique à sa contribution. Enfin la variable Pente a une importance de permutation encore plus faible que sa contribution au modèle c'est-à-dire quasiment nulle (0,1). La variable distance est donc celle qui a le plus d'intérêt pour ce modèle, avec à la fois une contribution élevée et une importance de permutation élevée.

4. Test Jackknife

Pour visualiser la contribution des variables environnementales, un test Jackknife a été effectué (Figure 19). Il permet de distinguer la contribution individuelle et collective des variables environnementales au modèle. Dans les modèles résultants, chaque variable est exclue une par une et un modèle est créé avec les variables restantes. Il y a également un modèle individuel avec chaque variable.

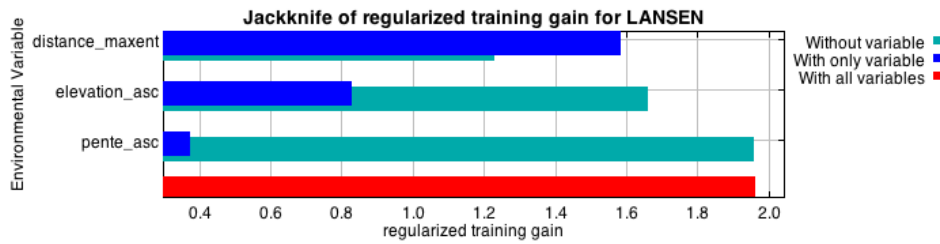


Figure 19 Test Jackknife généré selon les variables environnementales ; les barres bleues représentent le gain d'entraînement régularisé avec une seule variable tandis que les barres turquoise montrent le gain d'entraînement régularisé sans cette variable mais avec toutes les autres. Ce « gain » est en général une indication de la qualité de l'ajustement du modèle. Un gain élevé pour une variable particulière signifie donc que cette variable a une plus grande valeur prédictive.

La variable environnementale avec le gain le plus élevé est la distance à la côte. Ce serait donc cette variable qui aurait une plus grande valeur prédictive sur le modèle de la distribution de cette espèce. Lorsqu'elle est omise, c'est logiquement cette variable qui diminue le plus le gain. Cela confirme visuellement le tableau précédent de contribution des variables, où la distance à la côte est la variable la plus importante du modèle tandis que la pente a la plus faible contribution à celui-ci. La combinaison des résultats de l'analyse de contribution des variables, le pourcentage de contribution, la permutation ainsi que le test de Jackknife indiquent que la variable distance à la côte influence le plus le modèle de distribution de *Lanius senator* sur l'île d'Anticythère tandis que l'élévation contribue partiellement au modèle et la Pente semble non significative sur celui-ci.

5. Modèle de distribution basée sur la variable quantitative Habitat

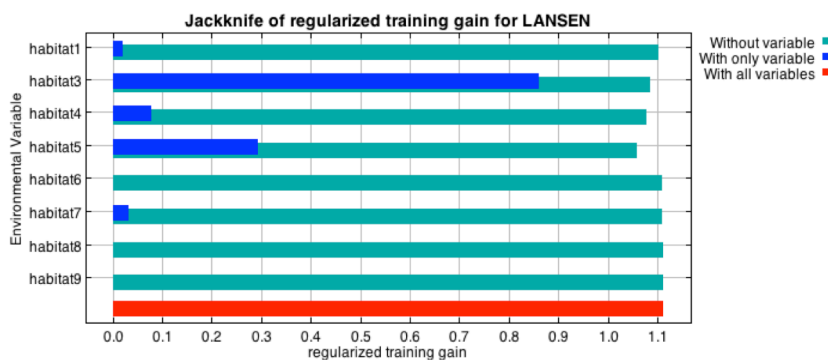


Figure 20 : Test Jackknife généré selon la variable Habitat ; les barres bleues représentent le gain d'entraînement régularisé avec une seule variable tandis que les barres turquoise montrent le gain d'entraînement régularisé sans cette variable mais avec toutes les autres. Ce « gain » est en général une indication de la qualité de l'ajustement du modèle. Un gain élevé pour une variable particulière signifie donc que cette variable a une plus grande valeur prédictive.

Le modèle réalisé uniquement avec la variable Habitats permet de comparer la contribution de chaque habitat au modèle de distribution de *Lanius senator*. D'après le test Jackknife (Figure 20) les habitats qui contribuent le plus à la distribution sont les cultures abandonnées (Habitat 3) et le matorral arborescent (Habitat 5). Le premier semble logique car correspondant à l'habitat où la majorité des points de présence ont été localisés. Au contraire, aucune localisation n'a été trouvée en dans le matorral arborescent mais il contribue au modèle du fait que dans les courbes de réponse, son absence (courbe 0) va augmenter l'estimation de présence des *Lanius senator* (Annexe 6). La même situation est visible pour l'habitat 4 (les falaises végétalisées), qui contribue légèrement au modèle alors *Lanius senator* n'y est pas. Les habitats 6, 8, 9 ne contribuent pas du tout au modèle. Pour les habitats 8 et 9, cela semble logique puisqu'aucun point de présence n'y a été recensé. En revanche, des individus ont été localisés dans l'habitat 6 mais l'absence de *Lanius senator* a autant d'importance que sa présence donc la contribution de cet habitat s'avère nulle (Annexe 6).

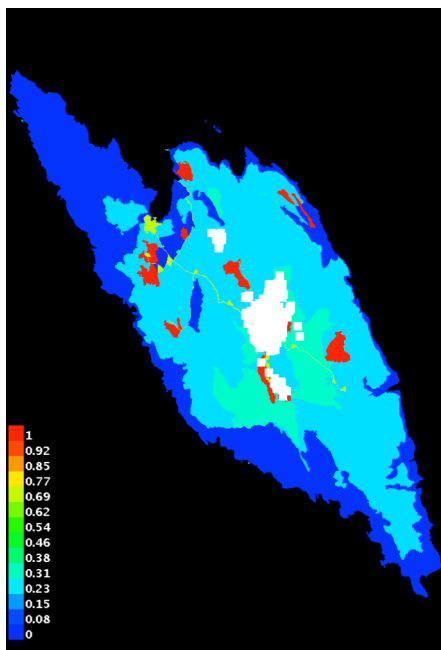


Figure 20 Image de prédiction de la distribution de *Lanius senator* représentative du modèle. Les pixels blancs représentent les points de présence des individus localisés tandis que l'échelle logarithmique de couleurs montre la probabilité de trouver des *Lanius senator*; plus les couleurs sont chaudes plus cette probabilité est élevée, en rouge la probabilité la plus élevée soit 100% de chances d'avoir des individus situés dans cette zone.

La carte de prédiction (figure 20) est également différente de celle obtenue avec le premier modèle. Les probabilités de distribution dépendent de la présence des habitats. L'habitat représentant les cultures abandonnées, celui qui contribue le plus au modèle, est donc celui où il y a le plus de probabilité que des *Lanius* y soient retrouvés dans le futur. Or il y a des cultures abandonnées à d'autres endroits sur l'île ce qui élargie les possibilités de distribution potentielle de l'espèce par rapport à la carte de prédiction du premier modèle (Figure 20).

IV. Discussion

Influence des variables environnementales sur la répartition des individus

Les variables environnementales prises en compte pour évaluer la distribution de l'espèce ont principalement liées au relief avec l'Élévation et la Pente ainsi que la distance à la côte, tandis que la dernière variable comptabilise l'ensemble des habitats répertoriés de l'île. La distance à la côte permet de voir que les points de présence se situent au centre des terres (Figure 12). Dans le cas de cette petite surface insulaire, le centre de l'île est situé à environ 1,3 km du littoral d'Anticythère. La carte de la répartition en fonction de la pente montre aussi que ce n'est pas une espèce liée à des milieux à pente raide ou escarpés (Figure 10). Concernant l'élévation, le *Lanius senator* était en général situé entre 72 et 217 m, aucun individu n'a été retrouvé à plus de 289m (Figure 11). Dans le Nord-Est de la Grèce, la majorité de la population de *Lanius senator* se situe dans des altitudes inférieures à 300 m (Moskat *et al.*, 2002). Le fait qu'ils se retrouvent spécifiquement au centre de l'île peut être lié à l'éloignement des côtes mais également aux habitats dans lesquels ils se trouvent. Selon ces derniers, la majorité des individus restent dans les cultures abandonnées (Figure 9). Ce type d'habitat correspond à un milieu semi-ouvert auquel les pies-grièches à tête rousse sont inféodées (Brambilla *et al.*, 2017). Ces cultures abandonnées sont des vestiges des exploitations en terrasses (Annexe 2) qui ont permis de créer ce milieu semi-naturel.

La présence d'un petit pourcentage d'individus dans les zones artificielles (Figure 8) peut s'expliquer par les perchoirs non végétaux comme des câbles électriques. (Papageorgiou *et al.*, 2016) Cette prise de hauteur, qui leur permet d'avoir une meilleure visibilité sur le déplacement potentiel de leurs proies au sol, ce qui concorde avec le "sit and wait", comportement spécifique à toutes les espèces de *Lanius*.

Ce comportement de chasse peut se faire aussi bien sur des structures naturelles que artificielles bien que certains sites de perchoirs soient favorisés par rapport à d'autres car considérés comme optimaux (Moskát et al 2000). Les tailles de ces derniers varient : dans l'est de la Roumanie les individus suivis s'installaient sur des perchoirs d'une taille entre 1,2 et 2,2 mètres (Sandor ,2004).

L'habitat des Phryganes, où une partie des localisations ont été retrouvées, est également un milieu classé dans la directive "Habitat" (Figure 8). Cette zone est composée en majorité de petits arbustes épineux, plus petits que l'habitat des garrigues orientales qui se compose quant à lui d'un maquis sclérophylle arbustif. Le choix de buissons ou arbustes épineux est soutenu par le fait qu'ils favorisent le comportement d'empalement spécifique aux Laniidae (Aghanajafizadeh *et al.*, 2014) ;. Enfin, aucun individu n'a été retrouvé sur les falaises végétalisées, ce qui s'explique par le fait que ce n'est pas un milieu exploité par cette espèce. En effet, les pies-grièches à tête rousse, bien que présentes dans les pays du pourtour de la Méditerranée, ne sont pas des oiseaux côtiers et ne sont donc pas attirés par le bord de mer. De plus, les falaises ne sont pas des endroits favorables à cette espèce, car elles sont fortement exposées au vent, très escarpées, sans aucun arbuste où percher.

En revanche, la non présence de l'espèce sur le matorral arborescent peut être questionnée (Figure 9). Ces habitats semblent pourtant favorables aux *Lanius senator* de par sa couche arbustive composée de buissons sclérophylles qui se situent autour de genévriers arborescents *Juniperus drupacea*, ces derniers pouvant servir de perchoir aux individus dans la recherche de nourriture "sit and wait". Aucune localisation d'individu n'a cependant été faite à cet endroit. Cela pourrait peut-être s'expliquer par le fait que la plupart des zones comprenant ces habitats étaient assez éloignées de l'endroit où ont été relâchés les individus. Or, la plupart d'entre eux sont restés proches de cette zone : la plus grande distance du lieu où les individus ont été relâchés étant d'environ de 1,4 km. L'hypothèse plausible serait que les individus n'ont pas eu besoin de s'éloigner car le milieu où ils se trouvent répondait suffisamment à leurs besoins sans qu'ils aient la nécessité d'aller chercher ailleurs, ou que leur état physiologique était tel qu'ils ne pouvaient se déplacer sur le moment.

Il est également à noter que le matorral arborescent peut être considéré comme un milieu plus fermé que les autres habitats de l'île où la présence des oiseaux a été recensée. Or, les *Lanius senator* vont favoriser les habitats semi-ouverts car leur technique de chasse nécessite une visibilité forte au niveau des perchoirs dans des milieux dégagés.

Une des limites des cartes réalisées sur SIG est la disponibilité des données numériques. Ces dernières s'avèrent parfois moins précises que des variables mesurées directement sur le terrain. La comparaison des mesures à différentes échelles permettrait de limiter ces imprécisions et un manque d'information important (Brambilla *et al.*, 2009). En effet ici la classification entre les habitats ne prend pas forcément en compte toutes les végétations présentes dans le milieu.

Les liens entre les habitats et les variables topographiques (Annexes 3,4,5) montrent que les points de présence des *Lanius senator* se trouvent à des pentes, élévations et distance à la côte assez différentes selon les habitats.

La distribution de l'espèce selon le niche modelling (MaxEnt)

1. Modèle de distribution

Le modèle de distribution de cette espèce permet de montrer quelles variables environnementales ont le plus influencé la distribution de l'espèce. La variable la plus importante est la distance à la côte (80,7) (Tableau 4, Figure 19). Celle-ci a le plus contribué à ce modèle de distribution de l'espèce *Lanius senator*. Ce résultat est lié au fait que les individus sont restés groupés en majorité au centre de l'île, soit à une distance de la côte presque identique pour chaque individu. Dans ce contexte, cela explique qu'elle soit la variable qui contribue le plus à la distribution de l'espèce. En dehors du cadre de l'île, cette distance à la côte n'aboutirait pas au même milieu ni au même habitat. Elle est insuffisante pour expliquer la distribution de l'espèce même si les *Lanius senator* ne semblent jamais se trouver en bord de mer.

La pente ne contribue quasiment pas (0,5) à la distribution de l'espèce selon le modèle (Tableau 4, Figure 19). Pourtant la plupart des individus restent sur une pente assez identique selon la carte de répartition (Figure 10). Cette pente faible ne semble pas avoir une contribution à l'écologie du *Lanius senator* car cette variable environnementale n'est pas spécifique à un milieu. En effet, si les *Lanius* ne se trouvent pas dans les milieux pentus, tels que les falaises comme illustrés dans le cas de l'île, plusieurs milieux avec une pente plus faible ne sont pour autant pas occupés par *Lanius senator*. Cela expliquerait l'insuffisance de cette variable seule pour la distribution de l'espèce.

La variable Élévation, à l'instar de la distance à la côte, contribue, bien que de manière moindre, au modèle (18,8) (Tableau 4, Figure 19). Cette variable comprend l'altitude au niveau du sol mais également le relief du milieu (arbre, rochers...). *Lanius senator* semble rester à une échelle d'altitude qui ne va pas au-delà de 300 m ce qui encore une fois s'inscrit dans son écologie puisque l'espèce n'est ni montagnarde ni côtière.

La distance à la côte est la variable qui contribue le plus au modèle (Tableau 4 et Figure 19) dans le cas où seulement trois variables ont été prises en compte ce qui est un nombre limité. Plus il y a de variables incluses, plus la contribution de chacune d'entre elles au modèle sera ajustée. D'autres variables pourraient autant y contribuer voire plus mais elles n'ont simplement pas été prises en compte; il serait pertinent de faire de nouvelles analyses incluant des variables environnementales autre que la topographie telles que la disponibilité des proies avec la présence d'insectes, la hauteur de la végétation ou encore des variables climatiques comme la température et les précipitations *etc.*

La variabilité individuelle a ainsi pu influencer la distribution, et bien que cela puisse engendrer un biais, elle n'a pu être prise en compte dans le modèle. De plus le sexe et l'âge des individus peuvent aussi influencer les comportements individuels. Ainsi, les jeunes de première année restent généralement plus longtemps sur l'île lors de escale printanière car ils n'ont pas l'expérience des adultes sur ce milieu (Rguibi-Idrissi *et al.*, 2003).

2. Modèle habitat

Le modèle comprenant uniquement les habitats permet de voir que l'habitat qui contribue le plus au modèle de distribution du *Lanius senator* est celui des cultures abandonnées (Figure 20, Annexe 7). Selon les cartes de répartition, c'est dans cet habitat qu'il y a le plus de points de présence localisés (Figure 9). Il paraît donc logique que ce soit lui qui contribue le plus au modèle. Cependant, il est intéressant de voir que le second habitat contribuant le plus au modèle est celui du matorral arborescent dans lequel aucun point de présence n'a été détecté (Figure 9). Par son absence totale d'individu, cet habitat contribue au modèle en se présentant comme défavorable à l'installation de l'espèce (Annexe 6).

Ce second modèle permet de mettre en perspective le premier modèle qui ne comprenait que les variables quantitatives. En effet la variable Distance à la côte, qui contribue le plus au modèle général, peut être reliée au fait que la majorité des individus se trouvaient à la distance équivalente mais surtout dans le même milieu. Ce dernier se trouvait lui même à cette distance de la côte d'Anticythère. D'après la carte de prédictions de distribution de l'espèce issue du premier modèle comprenant les trois variables quantitatives, les zones avec le plus de probabilité d'y retrouver des *Lanius senator* étaient déjà occupées par les individus localisés. En revanche, selon la carte de prédiction comprenant seulement la variable Habitats (Figure 20) il y avait une forte probabilité de retrouver des individus dans les habitats de cultures abandonnées. Or, certains de ces habitats se trouvent être assez éloignés de la zone où les individus ont été détectés (Figure 9). Ces zones présentent donc un intérêt certain pour *Lanius senator* mais ne sont actuellement pas occupé par l'espèce. Plusieurs raisons pourraient expliquer la non sélection de ce milieu. En effet, certaines de ces zones sont proches de la côte tandis que d'autres se trouvent à proximité des habitations (Figure 9). Cela peut également être dû à l'éloignement de ces zones, comme décrit précédemment, les individus ne se sont pas déplacés sur de longues distances sur l'île lors de leur escale, ou du moins pas après avoir été équipés. Pour confirmer ses différentes hypothèses, il serait intéressant de capturer et libérer des individus dans ces différentes zones et d'étudier leur déplacement afin de déterminer si elles n'ont pas été sélectionnées par choix ou du fait de leur éloignement.

Sélection d'habitat lors d'une escale migratoire

Les individus restant une seule journée sur l'île n'ont pas été pris en compte dans les résultats du modèle. En effet, ce temps limité sur l'île ne montrerait pas un réel comportement de sélection d'habitat et cela aurait pu être un biais lors de la création du modèle de distribution (Barboutis, communication personnelle). Ce constat est similaire chez le rouge-gorge *Erithacus rubecula* qui occupe une DSA (Defined Stopover Area) deux jours après son arrivée sur le lieu d'escale (Chernetsov & Mukhin, 2006). Le grand nombre de données récoltées (705 observations) réparties sur 4 années permet d'affirmer que celles-ci sont représentatives du comportement de *Lanius senator* lors de cette escale migratoire (Figure 6) . Cette répartition des points de présence montre que la sélection d'habitat est non aléatoire lors des escales migratoires. La sélection d'habitat peut être toutefois différente lors des escales de celle réalisée dans les aires de reproduction. Le nombre de points de présence par rapport aux

individus équipés montre qu'il y a un taux élevé de déplacement bien que restreint à une zone de faible superficie.

La sélection d'habitat comprend plusieurs étapes dont l'atterrissage, puis la recherche et l'installation voire la redistribution des individus avant l'exploitation du milieu (Chernetsov, 2006). L'utilisation de l'habitat résulte de la sélection de ce dernier.

Lors des escales migratoires, la priorité est au repos et à l'alimentation, ce qui n'est pas le cas dans les aires de reproduction où la nidification et l'élevage des jeunes sont des activités dominantes.

L'état physiologique joue un rôle important dans cette sélection. Selon les réserves d'énergie de chaque individu, la sélection d'habitat peut varier. Les comportements varient individuellement : un individu avec des réserves faibles peut rechercher un endroit adapté quitte à perdre encore le peu d'énergie qui lui reste ou se nourrir directement à l'endroit où il décidera de se poser (Chernetsov, 2006). Cela va aussi dépendre de la disponibilité des proies. La prédation présente également un rôle dans la sélection d'habitat pendant les escales migratoires. De fait, les perchoirs permettent à la fois d'être bien positionné pour repérer des proies potentielles mais également de se protéger des prédateurs comme les rapaces (Papageorgiou et al, 2016). Les Laniidae, en particulier *L.senator*, *L. collurio* et *L. minor*, représentent une des proies les plus importantes des faucons d'Eléonore (*Eleonora falcon*), composant 15 à 20% de ses prises chaque année (Yosef, 1994). Or, une population importante de ces faucons niche sur l'île d'Anticythère (Dimaki et al., 2006). Le risque de prédation est donc bien présent pour le *Lanius senator* lors de son escale sur Anticythère.

Même si une sélection a lieu, celle-ci sera la plupart du temps moins spécifique que sur le lieu de reproduction. De plus, les escales migratoires présentent souvent une gamme limitée d'habitats de par leur surface, par rapport aux aires de reproduction. L'île d'Anticythère contient des habitats qui correspondent à la niche écologique habituelle de *Lanius senator*, c'est-à-dire des milieux semi-ouverts. La pie-grièche à tête rousse (*Lanius senator*) et la pie-grièche écorcheur (*Lanius collurio*) occupent des habitats très ressemblants et ces deux espèces se retrouvent souvent sur des habitats communs (Moskat et al., 2002). La reproduction du *Lanius collurio* est quant à elle plus importante dans les zones de pâturages, où la disponibilité de nourriture et de sites de nidification est fortement présente (Moskat et al., 2002);

La sélection spécifique de l'habitat par *L. senator* lors de l'escale migratoire sur cette même île pour cette même espèce a déjà été étudiée à l'échelle du micro-habitat soit par rapport au type de végétation sur lequel des individus ont été retrouvés (Papageorgiou *et al.*, 2016). Cette échelle semble plus adaptée à l'étude de la sélection d'habitat du *Lanius senator* car elle a pu mettre en évidence la végétation utilisée et de la relier directement au comportement observé. Cela n'a pas été difficile à réaliser à l'échelle utilisée lors de ce mémoire car il n'est possible que de proposer des hypothèses sur la sélection de cet habitat sans pouvoir préciser l'utilisation de ce dernier.

La variabilité des saisons est à prendre en compte. Dans le cadre de ce travail, seule l'escale printanière a été étudiée mais il serait intéressant de se pencher sur la sélection d'habitat lors de l'escale automnale. Cela permettrait de voir si des d'autres habitats sont favorisés à cette période de l'année, et si les individus sont également dans un état physiologique différent, la durée d'escale étant souvent plus longue à cette période (Rguibi-Idrissi *et al.*, 2003)

Peu d'études scientifiques sont spécifiques aux oiseaux lors de l'escale migratoire (Papageorgiou *et al.*, 2016). Sachant l'état des populations de migrateurs, il est essentiel d'approfondir les connaissances sur ces espèces lors des escales migratoires qui doivent donc être pris en compte au même niveau que les lieux de reproduction et d'hivernage. De plus les lieux d'escales migratoires sont communs à de nombreuses espèces migratrices la protection engendrée par la présence d'une espèce pourra s'élargir aux autres oiseaux qui s'y trouvent à la même période. Le déclin de *Lanius senator* étant dû à la modification et à la dégradation de son habitat, le maintien de ce dernier est primordial pour la sauvegarde de cette espèce ainsi pour tous les autres oiseaux inféodés à ce milieu. La conservation des milieux semi-ouverts, habitat préférentiel de la pie grièche à tête rousse, passe par le maintien de paysages agricoles hétérogènes au détriment des monocultures (Brambilla *et al.*, 2017). Leur remplacement par une strate arborescente, qui conduira à la formation d'un milieu fermé, serait moins favorable au *Lanius senator*. Concernant le statut sur l'île d'Anticythère, la disparition progressive des cultures en terrasses pourrait avoir un impact potentiel sur la présence des *Lanius senator*. Ce milieu ouvert, même dans un écosystème xérique tel que celui-ci, évolue vers un milieu plus fermé par le remplacement progressif des strates végétales.

V. Conclusion

Ce mémoire a étudié la répartition de *Lanius senator* sur l'île d'Anticythère lors d'une escale migratoire pendant la migration printanière. L'objectif était d'évaluer la sélection d'habitat de cette espèce à partir de sa distribution et selon les variables qui ont contribué à générer ce modèle de distribution.

Pour évaluer cela, des pies-grièches à tête rousse ont été équipées de radio-transmetteurs lors de leur passage sur l'île pendant le printemps de 2016, 2017, 2018, 2019. Cela a permis d'établir leur répartition pendant l'escale d'après les points de présences récoltés. Quatre variables ont été prises en compte : la distance à la côte, l'élévation, la pente ainsi que les différents types d'habitats répertoriés sur l'île. Des cartes ont permis de visualiser la répartition des individus selon les variables. Les individus sont restés majoritairement groupés au centre de l'île.

Un modèle comprenant les trois premières variables a été généré. D'après celui-ci la variable Distance à la côte est celle qui contribue le plus à la distribution de l'espèce or elle ne peut expliquer à elle-seule la distribution de l'espèce. Un autre modèle comprenant uniquement la variable qualitative Habitat, a montré que parmi tous les habitats, celui qui contribue le plus à la distribution de l'espèce est celui des cultures abandonnées. Cet habitat, provenant des anciennes exploitations agricoles en terrasses, montre que le même genre de milieu est favorisé pendant cette escale migratoire que dans ses aires de reproduction.

Ces résultats ne sont toutefois pas suffisants pour déterminer la sélection d'habitat de *Lanius senator* sur l'île. La seule connaissance des variables topographiques et des habitats ne permet que de faire des hypothèses sur leur utilisation potentielle du milieu. Il serait intéressant de combiner cette étude à une étude de la sélection du micro-habitat, au niveau de la végétation, qui permet de déterminer plus précisément l'utilisation du milieu. De même concernant le modèle de distribution, un nombre de variables environnementales plus élevé et diversifié serait plus pertinent, et permettrait une meilleure évaluation de la distribution de l'espèce et des variables qui y contribuent. Ceci dans l'objectif de protéger au mieux cette espèce migratrice quelque soit son lieu d'escale.

VI. Bibliographie

- ❖ Aghanajafizadeh, S., Eslami, K., Abbasian, H., & Heydari, F. (2014). Nest-site selection by the Woodchat Shrike (*Lanius senator*) in Boroyeh Wildlife Sanctuary, Inner Iran. *Zoology in the Middle East*, 60(1), 20-23 <https://doi.org/10.1080/09397140.2014.892324>
- ❖ Aidoud, A. (1997). Fonctionnement des écosystèmes méditerranéens. *Académie de Toulouse*.
- ❖ Aispuro, A. A., Machowetz, C., Illa, M., Gargallo, G., & Maggini, I. (2019). Woodchat Shrike *Lanius senator* Predation on Migrating Songbirds during a Trans-Saharan Stopover. *Ardeola*, 67(1), 93-99. <https://doi.org/10.13157/arla.67.1.2020.sc4>
- ❖ Alerstam T. (2009) Flight by night or day? Optimal daily timing of bird migration. *Journal of Theoretical Biology*, Elsevier, 258 (4), 530-536. <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2009.01.020>
- ❖ Angelidis, Ch., Georgiadis, N., Kordopatis, P., Portolou, D., & Tsiopelas, N. (2016) Enregistrement et évaluation de l'environnement naturel de Cythère et Anticythère. Athènes: Institut méditerranéen de la nature et de l'Homme -p154 Société Ornithologique Hellénique.
- ❖ Bairlein, F. (2016). Migratory birds under threat. *Science*, 354(6312), 547-548. DOI: 10.1126/science.aah6647
- ❖ Berthold, P. (2001). *Bird migration: a general survey*. Oxford University Press on Demand.
- ❖ Bevan, A., Conolly, J., Colledge, S., Frederick, C., Palmer, C., Siddall, R., & Stelatou, A. (2013). The long-term ecology of agricultural terraces and enclosed fields from Antikythera, Greece. *Human Ecology*, 41(2), 255-272. DOI 10.1007/s10745-012-9552-x
- ❖ Bevan, A., Conolly, J (2014) *The Antikythera Survey Project* [data-set]. York: Archaeology Data Service [distributeur]
- ❖ BirdLife (2004) *Birds in Europe : population estimates ,trends and conservation status* Cambridge UK BirdLife international (Birds Life Conservation) Series No 12°)
- ❖ BirdLife International (2021) Species factsheet: *Lanius senator*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 12/05/2021.

- ❖ Brambilla, M., Casale, F., Bergero, V., Crovetto, G. M., Falco, R., Negri, I., Siccardi P., & Bogliani, G. (2009). GIS-models work well, but are not enough: Habitat preferences of *Lanius collurio* at multiple levels and conservation implications. *Biological Conservation*, 142(10), 2033-2042. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.03.033>
- ❖ Brambilla, M., Gustin, M., Fulco, E., Sorace, A., & Celada, C. (2017). Coarse landscape features predict occurrence, but habitat selection is driven by specific habitat traits: implications for the conservation of the threatened Woodchat Shrike *Lanius senator*. *Bird Conservation International*, 27(1), 58. doi:10.1017/S0959270916000034
- ❖ Brahimia, Z., Dziri, H., Benyacoub, S., Chabi, Y., & Banbura, J. (2003). Breeding ecology of Algerian woodchat shrikes *Lanius senator*: low breeding success. *Folia Zoologica*, 52(3), 309-316. doi:10.1017/S0959270916000034
- ❖ Brink, A. B., & Eva, H. D. (2009). Monitoring 25 years of land cover change dynamics in Africa: A sample based remote sensing approach. *Applied geography*, 29(4), 501-512. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.004>
- ❖ Brochet, A.-L., Van Den Bossche, W., Jones, V.R., Arnardottir, H., Damoc, D., Demko, M., Driessens, G., Flensted, K., Gerber, M., Ghasabyan, M., Gradinarov, D., Hansen, J., Horváth, M., Karlonas, M., Krogulec, J., Kuzmenko, T., Lachman, L., Lehtiniemi, T., Lorgé, P., Lötberg, U., Lusby, J., Ottens, G., Paquet, J.-Y., Rukhaia, A., Schmidt, M., Shimmings, P., Stipnieks, A., Sultanov, E., Vermouzek, Z., Vintchevski, A., Volke, V., Willi, G., Butchart, S.H.M., 2019. Illegal killing and taking of birds in Europe outside the Mediterranean: assessing the scope and scale of a complex issue. *Bird Conservation International* 29, 10–40. doi:10.1017/S0959270917000533
- ❖ Ceresa, F., Bogliani, G., Pedrini, P., & Brambilla, M. (2012). The importance of key marginal habitat features for birds in farmland: an assessment of habitat preferences of Red-backed Shrikes *Lanius collurio* in the Italian Alps. *Bird Study*, 59(3), 327-334. <https://doi.org/10.1080/00063657.2012.676623>
- ❖ Chatzimanolis, S., Engel, M. S., & Trichas, A. (2002). Taxonomic changes for Aegean species of the Mediterranean darkling beetle genus *Dendarus* (Coleoptera: Tenebrionidae). *Journal of the Kansas Entomological Society*, 259-267.
- ❖ Chernetsov, N. (2012). *Passerine migration: stopovers and flight*. Springer Science & Business Media
- ❖ Chernetsov, N., & Mukhin, A. (2006). Spatial behavior of European Robins during migratory stopovers: a telemetry study. *The Wilson Journal of Ornithology*, 118(3), 364-373. <https://doi.org/10.1676/04-134.1>
- ❖ Chiatante, G. P., Brambilla, M. and Bogliani, G. (2014) Spatially explicit conservation issues for threatened bird species in Mediterranean farmland landscapes. *J. Nat. Conserv.* 22: 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2013.09.006>

- ❖ *Convention sur la conservation des espèces migratrices appartenant à la faune sauvage CMS) OJ L 210, 19.7.1982, p. 11–22 consulté le 10/05/21 <https://www.cms.int/fr/page/texte-de-la-convention>*
- ❖ Demongin L. (2016) Identification Guide to Birds in the Hand. Beauregard-Vendon.
- ❖ Dimaki M., Papazoglou C., Akriotis T. (2006). Bird ringing in Antikythira island (S Greece). *Ring* 28, 1: 85-94.
- ❖ Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and distributions*, 17(1), 43-57. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- ❖ Garcia, O. (2011). Woodchat Shrike (*Lanius senator*). *Monografies del Museu de Ciències Naturals*, 262-269.
- ❖ Günther, A., Einwich, A., Sjulstok, E., Feederle, R., Bolte, P., Koch, K. W., ... & Mouritsen, H. (2018). Double-cone localization and seasonal expression pattern suggest a role in magnetoreception for European robin cryptochrome 4. *Current Biology*, 28(2), 211-223. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.12.003>
- ❖ Kenward, R.E., (2000). *A manual for wildlife radio tagging*. Academic press.
- ❖ Hall, L. S., Krausman, P. R. and Morrison, M. L. (1997) The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildl. Soc. Bull.* 25: 173–182.
- ❖ IUCN Red List of Threatened Species (2017): Downloaded on 21 April 2021 <https://www.iucnredlist.org>>
- ❖ Jones, J. (2001). Habitat selection studies in avian ecology: a critical review. *The auk*, 118(2), 557-562.
- ❖ Kočí, J., & Krištín, A. (2020). On the occurrence and diet of a migrating Woodchat Shrike (*Lanius senator*) in Slovakia. *Tichodroma* 32: 47–50 doi: 10.31577/tichodroma.2020.32.3
- ❖ Lucia, G., Agostini, N., Panuccio, M., Mellone, U., Chiatante, G., Tarini, D., & Evangelidis, A. (2011). Raptor migration at Antikythira, in southern Greece. *British Birds*, 104(5), 266.
- ❖ Loss, S. R., Will, T., & Marra, P. P. (2013). The impact of free-ranging domestic cats on wildlife of the United States. *Nature communications*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.1038/ncomms2380>
- ❖ Maggini, I., Trez, M., Cardinale, M., & Fusani, L. (2020). Stopover dynamics of 12 passerine migrant species in a small Mediterranean island during spring migration. *Journal of Ornithology*, 161(3), 793-802. <https://doi.org/10.1007/s10336-020-01768-7>

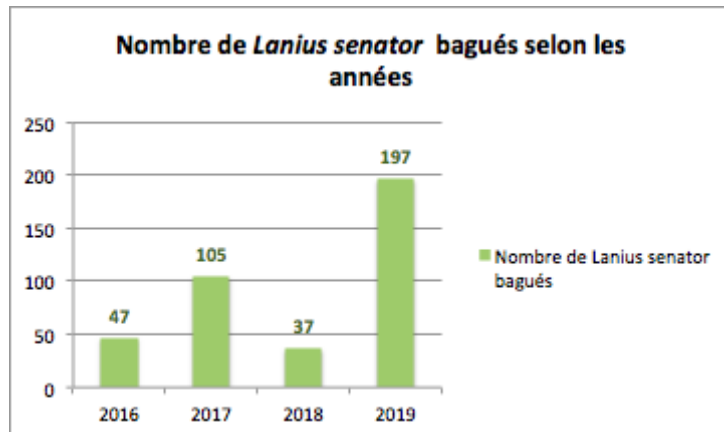
- ❖ Medina, F. M., Bonnaud, E., Vidal, E., Tershy, B. R., Zavaleta, E. S., Josh Donlan, C., & Nogales, M. (2011). A global review of the impacts of invasive cats on island endangered vertebrates. *Global Change Biology*, 17(11), 3503-3510. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02464.x>
- ❖ Monti, F., Grémillet, D., Sforzi, A., Dominici, J. M., Bagur, R. T., Navarro, A. M., & Duriez, O. (2018). Migration distance affects stopover use but not travel speed: contrasting patterns between long-and short-distance migrating ospreys. *Journal of Avian Biology*, 49 (10), e01839. <https://doi.org/10.1111/jav.01839>
- ❖ Moreau, R. E. (1972) The Palaearctic-African bird migration systems . London, UK: Academic Press.
- ❖ Moskat, C., & Fuisz, T. I. (2002). Habitat segregation among the woodchat shrike, *Lanius senator*, the red-backed shrike, *Lanius collurio*, and the masked shrike, *Lanius nubicus*, in NE Greece. *Folia Zoologica*, 51(2), 103-112.
- ❖ Moskát, C., Fujimaki, Y., & Yamagishi, S. (2000). Perch site preference of the Bull-headed Shrike (*Lanius bucephalus*) during the breeding season in Japan. *Ring*, 22(1), 51-57.
- ❖ Naef-Daenzer B, 2007. An allometric function to fit leg-loop harnesses to terrestrial birds. *J Avian Biol* 38:404–407.
- ❖ Papageorgiou, D., Barboutis C., Kassara,C., & Giokas S. (2016) Habitat Selection of Woodchat Shrikes *Lanius Senator* during Spring Stopover Is Related to Foraging Strategy . *Current Zoology*, 63(2), 139-149. <https://doi.org/10.1093/cz/zow079>
- ❖ Phillips, S. J. (2005). A brief tutorial on Maxent. *AT&T Research*, 190(4), 231-259. Available from url: http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/.
- ❖ Rappole JH, Tipton AR, 1991. New harness design for attachment of radio transmitters to small passerines (Nuevo Diseno de Arne's para Atar Transmisores a Passeriformes Pequenos). *J Fie Ornithol* 62:335–337.
- ❖ Rguibi-Idrissi, H., Julliard, R., & Bairlein, F. (2003). Variation in the stopover duration of Reed Warblers *Acrocephalus scirpaceus* in Morocco: effects of season, age and site. *Ibis*, 145(4), 650-656. <https://doi.org/10.1046/j.1474-919X.2003.00208.x>
- ❖ Rosenberg, K.V., Dokter, A.M., Blancher, P.J., Sauer, J.R., Smith, A.C., Smith, P.A., Stanton, J.C., Panjabi, A., Helft, L., Parr, M.,& Marra, P.P. (2019). Decline of the North American avifauna. *Science*, 366(6461), 120–124. DOI: 10.1126/science.aaw1313
- ❖ Runge, C. A., Watson, J. E., Butchart, S. H., Hanson, J. O., Possingham, H. P., & Fuller, R. A. (2015). Protected areas and global conservation of migratory birds. *Science*, 350(6265), 1255-1258. DOI: 10.1126/science.aac9180

- ❖ Saino, N., Ambrosini, R., Rubolini, D., Von Hardenberg, J., Provenzale, A., Hüppop, K., Hüppop, O., Lehikoinen, A., Lehikoinen, E., Rainio, K., Romano, M., & Sokolov, L. (2011). Climate warming, ecological mismatch at arrival and population decline in migratory birds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 278, 835–842. <https://doi.org/10.1098/rspb.2010.1778>
- ❖ Sandor, A. D., Maths, I., & Sima, I., (2004). Hunting behaviour and diet of migratory Woodchat Shrikes (*Lanius senator*) in Eastern Romania. *Biol Lett*, 41(2), 167-173. Available online at <http://www.biollett.amu.edu.pl>
- ❖ Silva, L. D., Costa, H., de Azevedo, E. B., Medeiros, V., Alves, M., Elias, R. B., & Silva, L. (2014). Modelling native and invasive woody species: a comparison of ENFA and MaxEnt applied to the Azorean forest. In *International Conference on Dynamics, Games and Science* 415-444. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-319-55236-1_20
- ❖ Senner, N. R., Conklin, J. R., & Piersma, T. (2015). An ontogenetic perspective on individual differences. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1814), 20151050
- ❖ Stephens, P. A., Mason, L. R., Green, R. E., Gregory, R. D., Sauer, J. R., Alison, J., ... & Willis, S. G. (2016). Consistent response of bird populations to climate change on two continents. *Science*, 352(6281), 84-87. DOI: 10.1126/science.aac4858
- ❖ Svensson L, 1992. Identification Guide to European Passerines. Norfolk: British Trust for Ornithology.
- ❖ Taïbi, A. N. (2017). Désertification de part et d'autre du plus grand désert du monde. Le Sahara et ses marges nord et sud; un contexte favorable à la désertification?. In *L'Afrique, du Sahel et du Sahara, à la méditerranée*. Éditions Ellipses.
- ❖ Thorup, K., & Rabøl, J. (2001). The orientation system and migration pattern of long-distance migrants: conflict between model predictions and observed patterns. *Journal of Avian Biology*, 32(2), 111-119. <https://doi.org/10.1034/j.1600-048X.2001.320203.x>
- ❖ Van Doren, B. M., Horton, K. G., Dokter, A. M., Klinck, H., Elbin, S. B., & Farnsworth, A. (2017). High-intensity urban light installation dramatically alters nocturnal bird migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(42), 11175-11180. <https://doi.org/10.1073/pnas.1708574114>
- ❖ Wang, G., Wang, C., Guo, Z., Dai, L., Wu, Y., Liu, H., ... & Xue, F. (2020). Integrating Maxent model and landscape ecology theory for studying spatiotemporal dynamics of habitat: Suggestions for conservation of endangered Red-crowned crane. *Ecological Indicators*, 116, 106472. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106472>
- ❖ Yosef, R. (1994). Conservation commentary: evaluation of the global decline in the True Shrikes (Family Laniidae). *The Auk*, 111(1), 228-233.

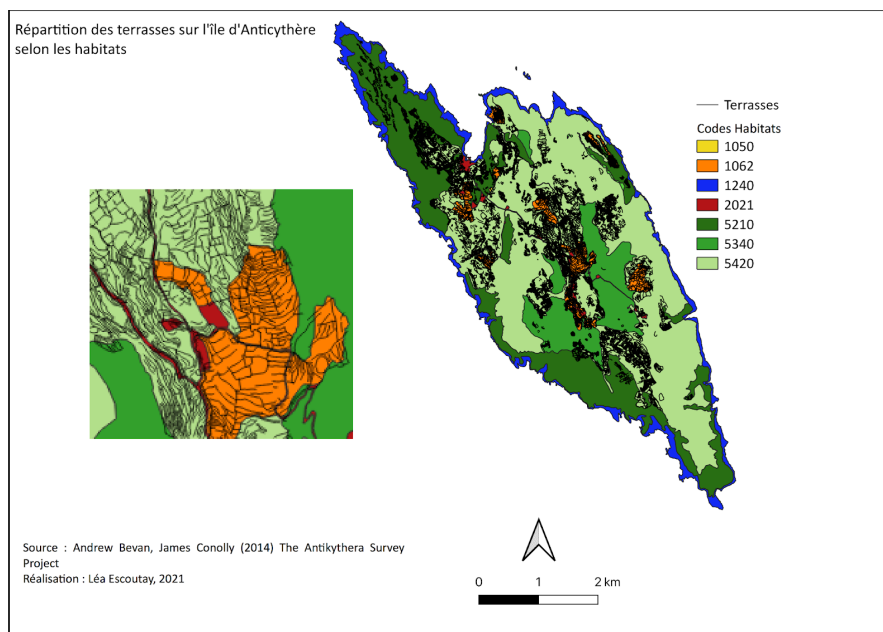
- ❖ Yosef, R., Zduniak, P., & Tryjanowski, P. (2012). Unmasking Zorro: functional importance of the facial mask in the Masked Shrike (*Lanius nubicus*). *Behavioral Ecology*, 23(3), 615-618.
- ❖ <https://doi.org/10.1093/beheco/ars005>
- ❖ Yosef, R., & Pinshow, B. (2005). Impaling in true shrikes (Laniidae): A behavioral and ontogenetic perspective. *Behavioural processes*, 69(3), 363-367. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2005.02.023>
- ❖ Zalakevicius, M., Bartkeviciene, G., Raudonikis, L., & Janulaitis, J. (2006). Spring arrival response to climate change in birds: a case study from eastern Europe. *Journal of Ornithology*, 147(2), 326-343. <https://doi.org/10.1007/s10336-005-0016-6>

VII. Annexes

*Annexe 1 graphique représentant le nombre de *Lanius senator* capturés et bagués selon les années (les individus recapturés n'ont pas été pris en compte).*



Annexe 2 carte de répartition des terrasses sur l'île d'Anticythère par rapport aux habitats



L'image de droite est une carte de répartition des terrasses par rapport aux habitats de l'île d'Anticythère. L'image de gauche est un zoom sur le centre de l'île qui permet de visualiser la forme des terrasses dont les contours sont représentés par les lignes noires.

Annexe 3 : p-valeurs issu du test de Mann-Whitney de comparaison par paire pour la variable Pente par rapport à chaque habitat où il y a eu des points de présence de Lanius senator

	Pente Habitat 1	Pente Habitat 3	Pente Habitat 6	Pente Habitat 7
Pente Habitat 1	1	$<2,2 e^{-16}$	$<2,2 e^{-16}$	$<2,2 e^{-16}$
Pente Habitat 3	$<2,2e^{-16}$	1	$<2,2e^{-16}$	$<2,2 e^{-16}$
Pente Habitat 6	$<2,2e^{-16}$	$<2,2e^{-16}$	1	0,9626
Pente Habitat 7	$<2,2e^{-16}$	$<2,2e^{-16}$	0,9626	1

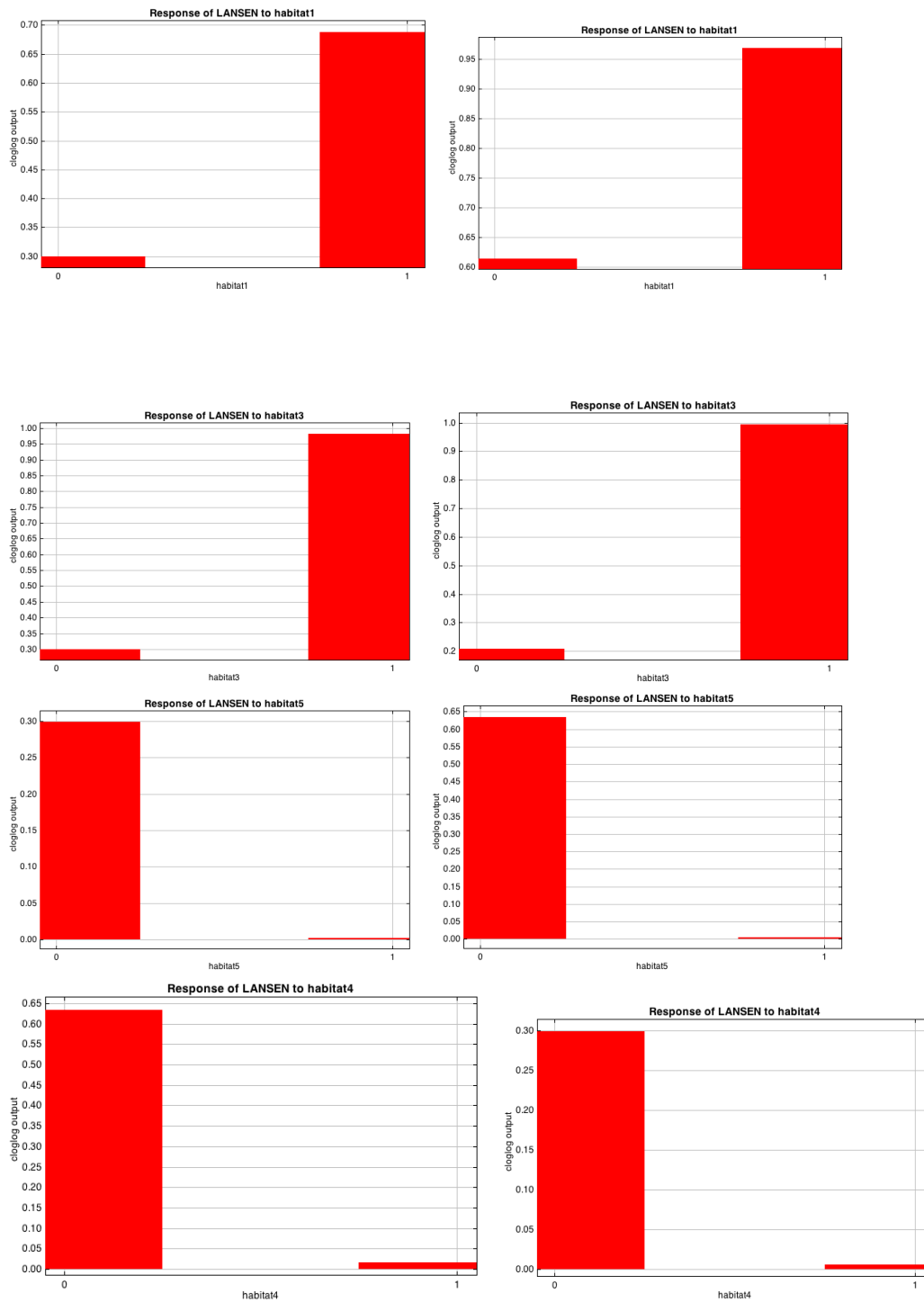
Annexe 4 : p-valeurs issu du test de Mann-Whitney de comparaison par paire pour la variable Elévation par rapport à chaque habitat où il y a eu des points de présence de Lanius senator

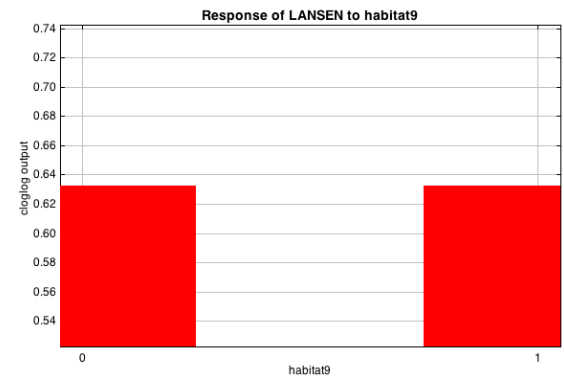
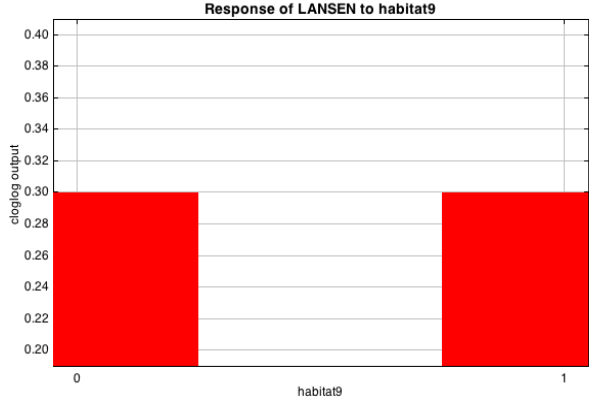
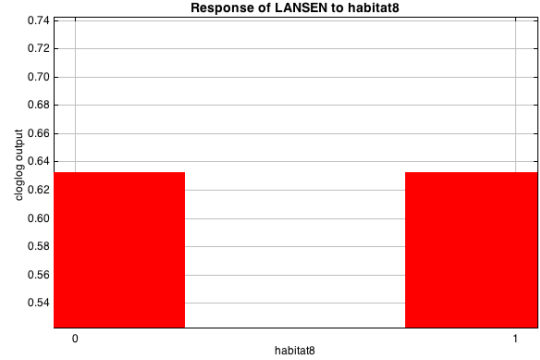
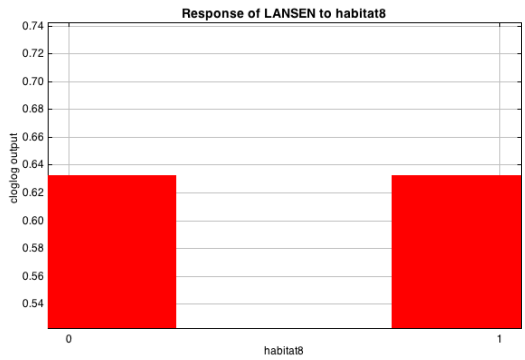
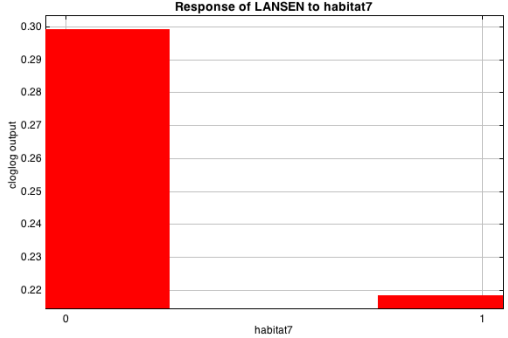
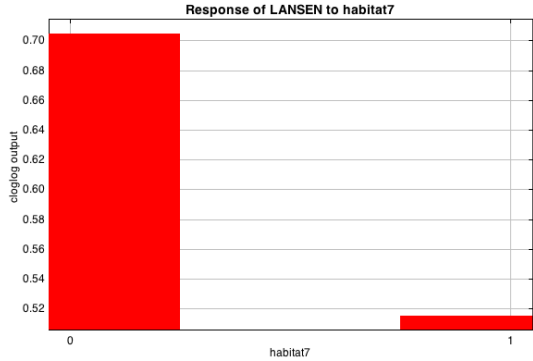
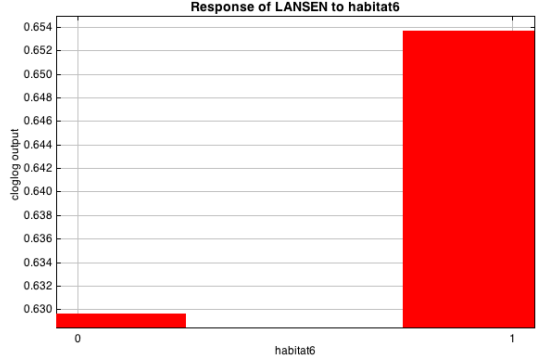
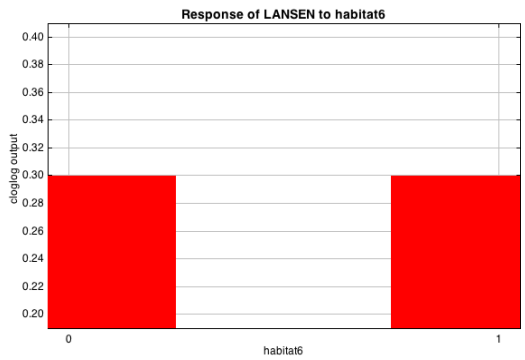
	Elévation Habitat 1	Elévation Habitat 3	Elévation Habitat 6	Elévation Habitat 7
Elévation Habitat 1	1	$2,88e^{-12}$	$<2,2e^{-16}$	$<2,2e^{-16}$
Elévation Habitat 3	$2,88e^{-12}$	1	$<2,2e^{-16}$	0,003
Elévation Habitat 6	$<2,2e^{-16}$	$<2,2e^{-16}$	1	$<2,2e^{-16}$
Elévation Habitat 7	$<2,2e^{-16}$	0,003	$<2,2e^{-16}$	1

Annexe 5 : p-valeurs issu du test de Mann-Whitney de comparaison par paire pour la variable Distance à la côte par rapport à chaque habitat où il y a eu des points de présence de Lanius senator

	Distance Habitat 1	Distance Habitat 3	Distance Habitat 6	Distance Habitat 7
Distance Habitat 1	1	0,3887	$2,59e^{-0,8}$	$<2,2e^{-16}$
Distance Habitat 3	0,3887	1	$<2,2e^{-16}$	$<2,2e^{-16}$
Distance Habitat 6	$2,59 e^{-0,8}$	$<2,2e^{-16}$	1	$<2,2e^{-16}$
Distance Habitat 7	$<2,2e^{-16}$	$<2,2e^{-16}$	$<2,2e^{-16}$	1

Annexe 6 : Courbes de réponses selon chaque habitat, pour chacun en colonne 0 qui représente l'absence de cet habitat et en colonne 1 la présence de cet habitat sur l'estimation de présence des Lanius senator





Annexe 7 : contribution des variables Habitats au modèle de distribution de lanius senator avec les pourcentages de contributions et l'importance de permutation

Variable	Percent contribution	Permutation importance
habitat3	70.2	12.8
habitat5	20.2	61.9
habitat4	6.2	22.5
habitat1	1.9	0.8
habitat7	1.4	2
habitat9	0	0
habitat8	0	0
habitat6	0	0