

THÈSE

En vue d'obtention du : **Doctorat**

Centre de recherche : Geophy. Natural Patrimony Green Chemistry Research Center (GEOPAC)
Structure de recherche : Geo-Biodiversité et patrimoine naturel (GEOBIO)
Discipline : Écologie
Spécialité : Ornithologie

Présentée et soutenue le 25/12/2021 par :

Mr Ali IRIZI

Contribution à l'étude des Grands Rapaces de l'Anti-Atlas occidental : écologie de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* (Vieillot 1822), et identification des principales menaces

Devant le jury

Mohamed FEKHAOU	PES, Université Mohamed V, Institut Scientifique, Rabat	Président
Rhimou ELHAMOUMI	PES, Université Hassan II, Faculté des Sciences, Casablanca	Rapporteuse/Examinatrice
Mohamed Aziz EL AGBANI	PES, Université Mohamed V, Institut Scientifique, Rabat	Rapporteur/Examinateur
Abdelaziz BENHOUSSE	PES, Université Mohamed V, Faculté des Sciences, Rabat	Rapporteur/Examinateur
Oumnia HIMMI	PES, Université Mohamed V, Institut Scientifique, Rabat	Examinatrice
Mohamed RADI	PES, École Normale Supérieure, Département de Biologie, Marrakech	Examinateur
Mohamed DAKKI	PES, Université Mohamed V, Institut Scientifique, Rabat	Membre invité
Mohamed AOURIR	PH, Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences, Agadir	Co-encadrant
Abdeljebbar QNINBA	PES, Université Mohamed V, Institut Scientifique, Rabat	Directeur de thèse

Année universitaire : 2020/2021



« On protège mieux si l'on connaît mieux »

Aigle de Bonelli, (Dessin Ali irizi).

DEDICACE

À la mémoire de mon père

À ma chère mère

À ma chère épouse

À mes chers enfants : Mariam, Marwa et Mohamed

REMERCIEMENTS

Au laboratoire Geo-Biodiversité et patrimoine naturel (GEOBIO) sous la direction de Monsieur Aabdelfatah Tahiri (PES) de la Faculté des sciences de Rabat, qui m'a fait honneur en m'acceptant comme doctorat et de m'avoir ouvert toutes les portes au sein du laboratoire pour réussir cette thèse.

À M. Abdeljebbar Qninba, PES, Directeur de thèse, pour la confiance qu'il m'a témoignée en acceptant de diriger cette thèse. Merci pour m'avoir proposé un sujet qui aussi passionnant, tout en me laissant la liberté de le réorienter au cours de son déroulement. Votre disponibilité, vos conseils et votre soutien moral étaient particulièrement précieux. Merci pour tout cela.

À M. Mohamed Aourir, PH, pour avoir co-encadré cette thèse et pour m'avoir accompagné dans son accomplissement. Les nombreuses discussions que nous avons pu avoir m'ont permis de clarifier ma pensée, parfois embrouillée, et sont pour beaucoup dans le résultat final de ce travail.

À M. Mohamed Fekhaoui, PES, pour m'avoir fait honneur d'accepter de présider le jury de ma thèse.

À Mme. Rhimou ELhamoumi, PES, pour avoir accepté d'être rapportrice de mon mémoire de thèse. Qu'elle veuille bien trouver ici l'expression de ma vive gratitude et de notre profond respect.

À M. Mohamed Aziz El Agbani, PES, pour avoir accepté d'être rapporteur de mon mémoire de thèse, et pour le temps précieux qu'il m'a accordé.

À M. Abdelaziz Benhoussa, PES, de s'être rendu disponible pour ma soutenance, et d'avoir accepté la fonction de rapporteur. Je tiens à l'assurer de ma profonde reconnaissance pour l'intérêt qu'il porte à ce travail.

À Mme. Oumnia Himmi, PES, pour avoir accepté d'être membre de mon jury de thèse et de l'intérêt qu'elle a manifesté à l'égard de cette recherche.

À M. Mohamed Radi, PES, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de participer au jury de mon mémoire de thèse. Qu'il veuille bien accepter ici le témoignage de mon profond respect.

À M. Mohamed Dakki, PES, pour avoir accepté d'être membre invité de mon jury de thèse. Ses connaissances, son dynamisme m'ont beaucoup inspiré.

Je tiens aussi à remercier l'ensemble des partenaires qui ont participé d'une façon ou d'une autre à la réalisation de ce projet :

J'adresse tous mes remerciements à Monsieur Mohcen Warhou, Chef du secteur forestier de Guelmim, d'avoir mis à ma disposition les moyens nécessaires pour mener à bien lors de mes prospections sur le terrain.

Cette aventure n'aurait pas eu lieu sans toutes les personnes (Bergers, guides, ... Etc) qui m'ont énormément aidé sur le terrain. Sans eux, il m'a été impossible de localiser et d'accéder à plusieurs sites de nidifications. Je tiens ici à leur témoigner toute ma reconnaissance.

Je remercie enfin celles et ceux qui me sont chers et que j'ai quelque peu délaissés lors de mes longues absences. Leurs attentions et encouragements m'ont accompagné tout au long de ces années.

RESUME

La connaissance des paramètres démographiques clefs des populations constitue une étape préliminaire essentielle à la mise en place d'actions de gestion appropriées pour une protection efficace des oiseaux de proie. C'est dans ce contexte, que nous avons mis en place un programme d'étude la taille de la population nicheuse de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata*, dans l'Anti-Atlas occidental, son abondance, la répartition géographique de ses sites nidification et certaines caractéristiques abiotiques liées à la sélection de ces sites de nidification.

Par ailleurs, les principaux facteurs de menace d'origine anthropique ont été inventoriés et l'impact de l'électrocution a été évalué. Durant la période 2016–2018, les territoires de nidification accueillant les nids utilisés par l'espèce, et la densité et la distance moyenne entre nids voisins ont été évalués, sur une aire d'environ 29 715 km², dans les montagnes de l'Anti-Atlas occidental au sud-ouest du Maroc. Le taux d'électrocution moyen de l'Aigle de Bonelli et d'autres rapaces, les caractéristiques de pylônes et leur armement ont documentés dans la région de Guelmim.

Ces résultats montrent l'importance de l'Anti-Atlas occidental en tant que l'un des plus importants bastions de l'espèce au Maroc. Cependant, d'études démographiques à long terme et des analyses systématiques des différents facteurs affectant la répartition de l'espèce restent nécessaires pour orienter de façon appropriée la stratégie de conservation de cette population de rapaces.

Mots clés : Rapaces, Aigle de Bonelli, *Aquila fasciata*, nids, abondance, électrocutions, Anti-Atlas occidental.

ABSTRACT

The knowledge of key demographic parameters of populations is an essential preliminary step to the implementation of appropriate management actions for an effective protection of birds of prey. Therefore, we have implemented a study program in order to acquire information on the breeding population of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata*, in the Western Anti-Atlas, its abundance, the geographical distribution of its nesting sites and some abiotic characteristics related to the selection of these nesting sites.

In addition, the main anthropogenic threat factors were inventoried and the impact of electrocution was assessed. During the period 2016-2018, nesting territories hosting nests used by the species, and the density and average distance between neighboring nests were assessed, over an area of approximately 29,715 km², in the Western Anti-Atlas Mountains in southwestern Morocco. The average electrocution rate of Bonelli's Eagle and other raptors, the characteristics of pylons and their armament were documented in the Guelmim region.

These results show the importance of the Western Anti-Atlas as one of the most important bastions of the species in Morocco. However, long-term demographic studies and systematic analyses of the different factors affecting the distribution of the species are still needed to adequately guide the conservation strategy of this raptor population.

Keywords: Raptors, Bonelli's eagle, *Aquila fasciata*, nests, abundance, electrocutions, Western Anti-Atlas.

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Biométrie (mm) et masse corporelle (g) de l'Aigle de Bonelli en Espagne, Portugal et France (García et al. 2013).....	8
Tableau 2 : Spectre des proies dans le régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli dans différentes régions d'Espagne (taille de l'échantillon) (D'après : Ontiveros, 2016).....	20
Tableau 3 : Quelques statuts régionaux de la classification de l'Aigle de Bonelli (www.nationalredlist.org).....	37
Tableau 4 : Caractéristiques climatiques et bioclimat de quelques stations de l'Anti-Atlas occidental marocain selon Le Houérou (1995). (M = moyenne des maxima quotidiens du mois le plus chaud ; m = moyenne des minima quotidiens du mois le plus froid).....	50
Tableau 5 : Variables physiques utilisées pour caractériser les falaises de nidification de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental.....	74
Tableau 6 : Degrés d'abri des nids par un surplomb : présence (1; angle du mur arrière >90°) ou absence(0; angle du mur arrière, <90°) d'un surplomb au-dessus du nid.....	80
Tableau 7 : Valeurs moyennes $\pm$ sd des variables altimétriques utilisées dans la description des sites de nidification de L'Aigle de Bonelli dans les montagnes de l'Anti-Atlas occidental.....	80
Tableau 8 : Orientation des nids et principales directions d'expositions des falaises de nidification de l'aigle de Bonelli (Selon le gradient numérique nord-sud suivant : (0 [N], 0,25 [NE, NW], 0,5 [E, W], 0,75 [SE, SW], 1 [S]).....	81
Tableau 9 : Accessibilité humaine aux nids et le succès de la reproduction de l'aigle de Bonelli.....	83
Tableau 10 : Matrice de corrélation entre les variables sur l'ensemble des falaises de nidification.....	84
Tableau 11 : Variance totale expliquée.....	84
Tableau 12 : Contributions des variables (%).....	85

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Photo de l'Aigle de Bonelli en vol	7
Figure 2 : Arbre phylogénétique basée sur 13PCGs (protein-coding genes) chez 16 espèces d'Accipitriformes, avec deux oiseaux Strigiformes comme « extra-groupe ».....	7
Figure 3 : Photo d'un couple d'Aigle de Bonelli la femelle à droite est plus grande et trapue...	9
Figure 4 : Photos de différents juvéniles d'Aigle de Bonelli en vol.....	10
Figure 5 : Photos de différents adultes d'Aigle de Bonelli en vol	11
Figure 6 : Photo de la tache blanche dorsale caractéristique de l'adulte	11
Figure 7 : Représentation schématique d'une aile de l'aigle de Bonelli. Les flèches indiquent les différents foyers et le sens de la mue	12
Figure 8 : Aire de reproduction de l'Aigle de Bonelli <i>Aquila fasciata</i>	13
Figure 9 : Aire de répartition de l'Aigle de Bonelli au Maroc.....	16
Figure 10 : Photos des habitats de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental.....	17
Figure 11 : Formes de différents domaines vitaux des couples	18
Figure 12 : Photos de quelques proies de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental	21
Figure 13 : Photo d'un Grand-duc ascalaphe (<i>Bubo ascalaphus</i>) dans la région de Guelmim. 23	
Figure 14 : Photo d'un Aigle de Bonelli adulte emportant un pigeon (Tighmi , 2017).....	25
Figure 15 : Photo d'un aigle de Bonelli juvénile emportant un rat des sables	26
Figure 16 : Photo d'un nid dans une falaise (Massif de Lkest) à proximité d'une vallée dégagée (Ammelen) pour la chasse.....	27
Figure 17 : Photo de l'emplacement d'un nid d'Aigle de Bonelli à proximité d'habitations...28	
Figure 18 : Photos des exemples de nids de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental...29	
Figure 19 : Photo d'un nid d'Aigle de Bonelli sur un eucalyptus dans l'embouchure d'Oued Souss.....	29
Figure 20 : Emplacements du nid (a) et de deux perchoirs utilisés par un couple (b et c).....	30
Figure 21 : Photos de quelques types de perchoirs d'Aigle de Bonelli.....	31
Figure 22 : Photos d'un couple d'Aigle de Bonelli en parade fin décembre 2019 à Tarssouate, Anti-Atlas occidental.....	32
Figure 23 : Photos des : A : poussins dans le nid (12.03.2016, Tragamaite), éclosion estimée à mi-février. B : des Aiglons d'environ 50 jours dans une aire (26.03.2016, Labiar), éclosion estimée à la première semaine de février.....	33
Figure 24 : Photo de deux aiglons présentent déjà le plumage roux sur leur ventre (le 21.04.2018, Tighmi).....	34
Figure 25 : Phot d'un aigle adulte (perche sur l'arbre) et un jeune de l'année (07.06.2019, Anzi).....	35
Figure 26 : Cycle annuel de l'aigle de Bonelli.....	35
Figure 27 : Photo d'un Aigle de Bonelli adulte électrocuté en pleine période de reproduction, à proximité de son site de nidification (06.01.2017, Labiar).....	38
Figure 28 : Une des configurations d'électrocution d'un rapace : le bout d'un de ses ailes touche le fil électrique tandis que l'autre touche une partie du poteau métallique.....	38
Figure 29 : Différentes configuration de l'électrocution d'un oiseau.....	39
Figure 30 : Les distances critiques illustrées sur différents pylônes.....	40
Figure 31 : Les distances réelles relevées de quelques pylônes utilisés par l'ONEE. Ces mesures sont calculées à partir de photos, vu l'impossibilité d'avoir les plans de ces armements auprès de l'ONEE.....	41

Figure 32 : Photo d'un Aigle de Bonelli juvénile perché dans un endroit de l'armement particulièrement dangereux.....	41
Figure 33 : Photo d'exemple d'un poteau se trouvant dans un point culminant.....	42
Figure 34 : Photo d'un rat des sable <i>Psammomys obesus</i> , constitue une des principales proies des rapaces.....	43
Figure 35 : Localisation de la zone d'étude.....	46
Figure 36 : Carte topographie de la zone d'étude.....	47
Figure 37 : Carte géologique simplifiée de l'Anti-Atlas, avec en rouge la limite de la zone d'étude.....	48
Figures 38 : Carte bioclimatique de l'Anti-Atlas occidental.....	52
Figure 39 : Photos de quelques mammifères de l'Anti-Atlas occidental.....	54
Figure 40 : Photo de la prospection d'une falaise à l'aide des jumelles et de la longue-vue pour détecter d'éventuelles nidifications.....	55
Figure 41 : Photo de la dissection d'une pelote de réjection de l'Aigle de Bonelli.....	56
Figure 42 : Photo de trois fouet-queues déviscérés dans un nid de l'Aigle de Bonelli dans la zone d'Amtoudi (l'Anti-Atlas occidental, Maroc).....	57
Figure 43 : Photo de la prospection à pied le long d'une ligne électrique (2016).....	58
Figure 44 : Photo illustrant la forme particulière d'un oiseau électrocuté. Il s'agit, ici, d'un Aigle de Bonelli juvénile 2016.....	59
Figure 45 : Illustration du principe de mesures sur le terrain des différentes variables.....	74
Figure 46 : Principe de détermination de l'angle d'exposition de la falaise abritant le nid.....	75
Figure 47 : Photo illustrant le relevé des différentes mesures sur le terrain.....	76
Figure 48 : Histogramme des valeurs propres.....	77
Figure 49 : Carte de distribution des 25 falaises mesurées dans l'Anti-Atlas occidental.....	77
Figure 50 : Typologie des nids.....	78
Figure 51 : Photos des différentes typologies des nids.....	79
Figure 52 : Principales directions d'expositions des falaises.....	81
Figure 53 : Principales directions d'expositions des nids.....	82
Figure 54 : Pourcentage d'inertie (information) expliqué par chaque axe.....	83
Figure 55 : Projection des variables sur le premier plan factoriel (F1 & F2).....	85
Figure 56 : Projection des individus sur le premier plan factoriel.....	86
Figure 57 : Photo d'un nid placé sur un rocher avec surplomb au-dessus au sommet de la falaise.....	89
Figure 58 : Variables physiques des falaises de nidification pouvant affectant différentes composantes de la reproduction de l'Aigle de Bonelli, dans l'Anti-Atlas occidental. (Les flèches pointillées représentent des interactions positives, négatives ou indéterminées.).....	91
Figure 59 : Photo d'un aigle de Bonelli adulte blessé par tir et exhibé dans l'Anti-Atlas Occidental (photo postée sur les réseaux sociaux).....	123
Figure 60 : Photo d'un aigle royal tué par tir dans l'Anti-Atlas Occidental (photo postée sur les réseaux sociaux).....	124
Figure 61 : Photo d'une aire d'un couple d'Aigle de Bonelli incendié (2016, Targamaite) ...	125
Figure 62 : Réaction d'un couple d'Aigle à une destruction du nid : le couple d'Aigle a abandonné leur ancien nid détruit (en rouge) pour un autre en 2019 (en bleu) avant de revenir, à nouveau, à côté de village en 2020. (en jaune).....	126

Figure 63 : Photos de deux types de pièges artisanaux (El Mendaf) encore utilisés pour le piégeage de certaines espèces de la faune.....	127
Figure 64 : Illustration d'une technique de piégeage de l'aigle royal.....	128
Figure 65 : Photo d'un aigle royal trouvé dans un état d'intoxication lors d'une battue (2017, Guelmim).....	129
Figure 66 : Photo d'un nid d'Aigle de Bonelli à proximité d'un enclos de mouton (Touflaiz 2017).....	131
Figure 67 : A gauche, l'ancienne route (2016) et à droite la nouvelle route (2021) avec un tracé plus haut que l'ancien.....	132
Figure 68 : A gauche, le premier site et à droite la deuxième, avec en rouge la route et en vert les falaises de nidification (2021).....	133
Figure 69 : Superposition d'une carte de repérage de pistes d'escalades dans le massif de Lkest et Taskra, issue d'un site spécialisé, avec la localisation de deux nids d'Aigle de Bonelli (en jaune) et celui d'un Aigle Royal (en vert).....	135
Figure 70 : Photo d'une partie de la zone couverte par la mine de Tizert.....	137

ANNEXES

Annexe 1 : La fiche de prospection.....	161
Annexe 2 : Rapport technique « Identification de la mortalité des rapaces par électrocution dans le sud-ouest du Maroc.....	163
Annexe 3 : Tableau des distances critiques des pylônes électriques.....	240
Annexe 3 : Photos de quelques guides.....	241

SOMMAIRE

LISTE DES TABLEAUX ET ANNEXES

LISTE DES FIGURES

ANNEXES

INTRODUCTION GÉNÉRALE1

PREMIÈRE PARTIE : Généralités sur l'Aigle de Bonelli.....5

1. Systématique et relations phylogénétiques.....	6
2. Description générale de l'espèce.....	8
2.1. Biométrie et dimorphisme sexuel.....	8
2.2. Plumage, mues et classes d'âge.....	9
3. Aire de répartition, effectifs et tendances des populations.....	12
3.1. Répartition mondiale.....	12
3.2. Répartition au Maroc.....	15
4. Écologie et adaptation au milieu.....	16
4.1 Habitat et domaine vital.....	16
4.2. Erratisme et dispersion.....	18
5. Écologie trophique.....	19
5.1. Régime alimentaire.....	19
5.2. La super-prédation.....	21
5.3. Comportement charognard.....	22
5.4. Compétition alimentaire.....	22
5.5. Techniques de la chasse.....	24
5.6. Sélection de proies/proie préférentielle.....	25
5.7. Le régime alimentaire des jeunes en dispersion.....	26
6. Reproduction et développement.....	27
6.1. Nidification, abondance et densité de couples nicheurs.....	27
6.2. Accouplement, ponte, incubation et élevage.....	31
6.3. Succès de la reproduction.....	36
7. Statut de conservation et menaces.....	36
7.1. Statut de conservation.....	36
7.2. L'électrocution : la principale menace.....	37
7.2.1. Différentes formes de l'électrocution des oiseaux.....	38
7.2.2. Facteurs déterminants lors de l'électrocution.....	39

DEUXIÈME PARTIE : Matériel et Méthodes.....45

I. Présentation de la zone d'étude.....46

1. Localisation et délimitation de la zone d'étude.....	46
2. Le milieu physique.....	47
2.1. Éléments de géologie et de géomorphologie.....	47
2.2. Situation climatique.....	49
2.2.1. Précipitations.....	49
2.2.2. Température.....	50
2.2.3. Évaporation.....	51
2.2.4. Vent.....	51

3. Étages bioclimatiques et Biodiversité.....	51
3.1. Végétation.....	51
3.2. Faune.....	53
II. Méthodologie.....	54
1. Identification des territoires de nidification et abondance de l'espèce	54
2. Les Caractéristiques physiques des falaises de nidification.....	55
3. Étude préliminaire du régime alimentaire.....	56
4. Étude des facteurs de menace.....	57
4.1. L'électrocution.....	57
4.2. Les autres facteurs de menaces.....	59
TROISIÈME PARTIE : Résultats et discussion....	60
I- Territoires de nidification et abondance de l'espèce.....	61
Chapitre 1 : Distribution spatiale et territoires de reproduction de l'Aigle de Bonelli dans les montagnes de l'Anti-Atlas occidental.....	62
1- Résumé.....	62
2- Spatial distribution & breeding territories of Bonelli's Eagle <i>Aquila fasciata</i> , in the western Anti-Atlas Mountains, Morocco.....	63
2.1. Abstract.....	64
2.2. Introduction.....	64
2.3. Methods.....	65
2.4. Results.....	66
2.5. Discussion.....	67
Chapitre 2. Habitat de reproduction, sélection des sites de nidification et typologie des nids de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental.....	70
1- Résumé.....	70
2- Introduction.....	71
3- Matériel et Méthodes.....	72
4- Résultats.....	77
5- Discussion.....	87
II- Nouvelles données sur le régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli.....	92
Chapitre 3 : Prédation de l'Aigle de Bonelli sur le Fouette-queue du Maroc.....	93
III- Principales menaces sur les grands rapaces dans l'Anti-Atlas occidental.....	98
Chapitre 4 : Spanish Imperial Eagles and other eagles found electrocuted in Morocco and proposition of correction measures.....	99
1- Résumé.....	101
2- Introduction.....	102
3- Résultats.....	103
4- Discussion and recommendations.....	105
Chapitre 5 : Corrélats de l'électrocution persistante et la mortalité des rapaces dans la province de Guelmim-Oued Noun, Maroc.....	109

1- Résumé.....	110
2- Abstract.....	112
3- Introduction	112
4- Materials and Methods.....	113
5- Results	114
6- Discussion	116
Chapitre 6. Les autres menaces.....	121
1- Menaces directes.....	122
1.1.Les tirs sur les rapaces.....	122
1.2.La destruction directe du nid.....	125
1.3.Le piégeage.....	127
1.4.L'empoisonnement.....	128
2- Menaces indirectes.....	130
2.1. Dérangement près de l'aire de nidification.....	130
2.2. Activité des bergers et transhumance.....	131
2.3. Construction des nouvelles routes.....	132
2.4. Les activités sportives et récréatives.....	134
2.4.1. L'escalade.....	134
2.4.2. La chasse.....	136
2.5. L'exploitation minière.....	136
CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES	139
1- Conclusions générales.....	140
2- Limites et difficultés.....	143
3- Perspectives de recherches.....	144
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	147
ANNEXES.....	160

INTRODUCTION GÉNÉRALE

I. Introduction

L'écologie spatiale est la recherche combinée de l'écologie du paysage et de la dynamique des populations. Elle se concentre sur la manière dont la configuration du paysage peut influencer la dynamique des populations et les répartitions spatiale et temporelles des communautés (Tilman et Kareiva 1997) et constitue l'un des outils utiles pour concevoir des stratégies de conservation des espèces et leurs habitats (Collinge 2001). Le domaine vital est l'expression spatio-temporelle des interactions entre les caractéristiques individuelles d'une espèce, les états individuels et les paramètres biotiques et abiotiques de l'écosystème. Ces interactions ont des conséquences fondamentales dans de nombreux processus écologiques tels que la distribution des organismes, la sélection de l'habitat de reproduction, la dynamique prédateur-proie ou la régulation des populations à différents niveaux (Wang et Grimm 2007 ; Börger et al. 2008).

En écologie spatiale, les aspects relatifs aux territoires de reproduction ou les sites de nidification des rapaces (prédateurs supérieurs) sont primordiaux, dans la mesure où ces informations sont indispensables pour comprendre leur écologie, mais aussi, pour élaborer des stratégies de gestion de conservation de ce taxon ayant des exigences écologiques spécifiques à une grande échelle et des besoins très précis à une échelle fine (Börger et al. 2008 ; Dray et al. 2012 ; Mc Garigal et al. 2016).

Dans ce cadre théorique, des nombreux suivis de populations de rapaces ont été réalisés sur de grandes zones géographiques, principalement en Europe et en Amérique du Nord, et durant une longue période afin de comprendre les facteurs déterminant leurs distributions, abondance et les tendances des populations. Ce suivi à larges échelles permet, également, de statuer quantitativement sur l'état des populations et de mettre en place des plans de gestion appropriés en accord avec les échelles biologiques (Mañosa et al. 1998 ; Ferguson-Lees & Christie 2001).

Un tel intérêt pour les rapaces se justifie, d'un point de vue écologique, par leur importance comme d'excellentes espèces indicatrices de la santé des écosystèmes (Donazar et al., 2016). Située au sommet de la chaîne alimentaire, la présence de ces prédateurs reflète l'état général du milieu environnemental dans lequel ils vivent. De plus, leur importante longévité les rend plus sensibles aux menaces d'origine anthropique et encore plus vulnérables à l'extinction que les autres espèces d'oiseaux (Bennett & Owens, 1997 ; Owens & Bennett, 2000; Sergio et al., 2008).

Parmi le cortège d'espèces qui subissent de manière récurrente des modifications de leur habitat, les oiseaux de proie constituent un groupe d'oiseaux dont les problèmes de conservation sont majeurs. En effet, les populations de rapaces en Europe et en Amérique du Nord ont atteint leur niveau le plus bas au cours des années 1960 et certaines espèces ont disparu de régions

entières où elles étaient auparavant abondantes, en quelques années seulement (Newton in Thiollay & Bretagnolle, 2004).

De par sa situation géographique privilégiée et la grande diversité de ses habitats, le Maroc abrite une riche diversité spécifique de rapaces, tant pour les espèces sédentaires que pour les migratrices pour lesquelles le pays représente une importante voie de passage intercontinentale (Thévenot et al., 2003 ; Bergier et al. 2017). Parmi les 40 espèces de rapaces rupicoles diurnes, nicheuses ou migratrices, sur le territoire marocain, un total de 11 espèces sont des rapaces rupicoles diurnes présentent un caractère particulièrement intéressant en termes de suivi et de conservation. Il s'agit de l'Aigle royal *Aquila chrysaetos*, Buse féroce *Buteo rufinus*, Faucon lanier *Falco biarmicus*, Faucon pèlerin *Falco peregrinus* / Faucon de Barbarie *Falco peregrinus pelegrinoides*, Faucon crécerellette *Falco naumanni*, Gypaète barbu *Gypaetus barbatus*, Vautour fauve *Gyps fulvus*, Vautour de Rüppell *Gyps rueppelli*, Vautour percnoptère *Neophron percnopterus*, Balbuzard pêcheur *Pandion haliaetus*, et de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* (Thévenot et al., 2003).

Ces oiseaux de proie constituent en général un groupe d'intérêt, car, en raison de leur position écologique, l'état de leurs populations constitue une bonne référence de l'état de santé des écosystèmes dans lesquels ils vivent, et des principales menaces et problématiques qu'ils subissent. De plus, ce groupe comprend des espèces rares, certaines en mauvais état de conservation et à tendance négative sur l'ensemble du continent africain, tel le Gypaète barbu, le Vautour percnoptère, le Vautour fauve et le Vautour de Rüppell et plusieurs de ces espèces sont en commun avec la rive nord de la Méditerranée, avec des flux d'individus entre les deux continents, de sorte que l'intérêt pour la conservation de leurs populations est partagé par d'autres pays en plus du Maroc. En effet, ces oiseaux subissent les effets néfastes de divers types de menaces telles que la fragmentation et la destruction de leurs habitats, la persécution directe, l'impact des infrastructures électriques et l'utilisation incontrôlée de poisons, pesticides ou d'autres polluants, bien que le manque de nourriture, l'empoisonnement, le changement d'affectation des terres et l'abattage en vue d'utiliser les parties du corps sont cités comme étant d'importants facteurs en Afrique (Thiollay 2006 ; Thiollay 2007 ; Virani et al. 2011 ; Allan 1989 ; Mondajem et al. 2012 ; Phipps et al. 2013a).

À cet égard, l'Aigle de Bonelli est un rapace emblématique de la région méditerranéenne et l'une des espèces d'oiseaux de proie rupestre nichant au Maroc. C'est également une espèce patrimoniale dotée d'une certaine plasticité, en termes d'adaptation aux changements de son habitat de reproduction et également généraliste en termes de son régime alimentaire. Toutefois, l'écologie de l'Aigle de Bonelli n'est pas étudiée au Maroc et plus généralement au Maghreb, où nous ne disposons que de données d'observation sporadiques et fragmentaires. De plus, les

travaux préliminaires sur l'incidence des facteurs de menace pour les oiseaux de proie ont révélé l'existence d'importantes sources de mortalité dues aux électrocutions dans les lignes électriques dangereuses. Les connaissances de base sur la taille de la population, les schémas de distribution spatiale et les préférences d'habitat sont cruciaux pour mettre en œuvre des actions de conservation pour les rapaces menacés (Real et Mañosa, 1997, Carrete et al., 2005).

Aussi, le principal objectif de ce travail est d'acquérir des connaissances de base approfondies sur certains aspects de l'écologie de l'Aigle de Bonelli et les principales menaces auxquelles cette espèce est sujette, dans l'Anti-Atlas occidental.

Pour atteindre ces objectifs, nous avons évalué la taille de la population nicheuse dans l'Anti-Atlas occidental, son abondance, la répartition géographique de ses sites nidification, de plus nous avons quantifié certaines caractéristiques abiotiques liées à la sélection de ces sites de nidification. Par ailleurs, les principaux facteurs de menace d'origine anthropique ont été inventoriés et l'impact de l'électrocution a été évalué.

La présente thèse est structurée en trois grandes parties interdépendantes et complémentaires, chacune subdivisant en chapitres spécifiques. Elle s'achève par une conclusion générale mettant l'accent d'une part, sur les résultats obtenus sur la biologie de l'espèce et d'autre part, sur les implications des différentes recherches effectuées en vue d'une meilleure conservation de l'espèce. De même, une réflexion sur les limites et les contraintes inhérentes à la réalisation de cette recherche a été faite.

La première partie consiste en une revue de synthèse bibliographique traitant des divers aspects de la systématique, de la biologie et de l'écologie de l'Aigle de Bonelli, objet du premier volet du présent travail. La seconde partie donne une présentation générale de l'Anti-Atlas occidental, site d'étude, ainsi qu'une description sommaire de la méthodologie utilisée.

La troisième partie qui se décline en six chapitres est consacrée à la fois aux différents aspects biologiques qui font l'objet de la présente étude ainsi que les principales menaces qui pèsent sur les grands rapaces. Le premier chapitre traite de l'abondance et la répartition des territoires de reproduction de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental. Le second porte sur certains critères abiotiques qui caractérisent la sélection des sites de nidification de l'espèce, objet de cette étude. Le troisième chapitre est consacré à des nouvelles données du régime alimentaire de l'espèce dans la zone méridionale de l'aire d'étude et enfin, les trois derniers chapitres sont consacrés aux facteurs de menace qui pèsent sur les grands rapaces incluant principalement l'impact de l'électrocution. La thèse s'achève par une présentation de conclusions générales et les perspectives.

PREMIÈRE PARTIE :
Généralités sur l'Aigle de Bonelli

1. Systématique et relations phylogénétiques

L'Aigle de Bonelli ne fut décrit qu'en 1822 ((Fig.1), environ 75 ans après Linnaeus (1758), par Louis Jean-Pierre Vieillot, ornithologue français. Il le baptisa du nom de son découvreur en 1815, Franco &rea Bonelli (1784-1830), célèbre ornithologue italien, professeur de zoologie à l'université de Turin, conservateur du Muséum de zoologie de cette même ville, et propriétaire d'une des plus grandes collections d'oiseaux d'Europe (Morvan 2010). Durant cette même période, au moins trois descriptions de l'aigle de Bonelli ont été faites, sous les nomenclatures binomiales suivantes : *Aquila fasciata* (Vieillot, 1822), *Falco bonelli* par Temminck (1924) et *Aquila intermedia* par Boitard (1925) (Aimassi 2015) et en fin, *Hieraaetus fasciatus*. Plus récemment, le nom scientifique de l'Aigle de Bonelli a subi un dernier changement, devient alors *Aquila fasciata* (del Hoyo & Collar 2014). En effet, les analyses mitophylogénétiques (ADN mitochondriale et de certains loci nucléaires) ont indiqué que la sous-famille *Aquilinae* et tous les genres actuellement polytypiques de cette sous-famille sont monophylétiques (Jiang et al 2015). Ce même travail a également montré que l'Aigle de Bonelli est fortement appareillé avec l'Aigle royal *Aquila crysaetos*, avec lequel il forme une groupe frère ayant le même ancêtre commun (Fig.2) et correspond davantage au genre *Aquila* qu'au genre *Hieraaetus* d'un point de vue phylogénétique et le transfert de l'aigle de Bonelli vers le genre *Aquila* apparaît évident (Jiguet 2007). En 2014, l'Aigle de Bonelli change de position et *Hieraaetus fasciatus* devient alors *Aquila fasciata* (del Hoyo & Collar 2014).

On reconnaît à l'heure actuelle deux sous-espèces du genre *Aquila* :

- *Aquila fasciata fasciata* (Vieillot 1822) qui occupe le bassin méditerranéen, le Moyen-Orient, le sous-continent indien et la Chine méridionale,
- *Aquila fasciata renschi* (Stresemann 1932) se concentre en Indonésie, sur les petites îles de la Sonde (Sumbawa, Timor, Flores, Wetar, Luang).

Par ailleurs, l'espèce présente une multitude de noms vernaculaires locaux ; on cite à titre d'exemples : El Baz (Arabe marocain) ; Amda/Tamda (Amazigh) ; « عقاب » Oukkab (Arabe), Bonelli's Eagle (Anglais); El águila de Bonelli (Espagnol), Aquila coabarrada (Catalan) et Agla coabarrat (Occitan), ces deux derniers noms vernaculaires signifient « aigle à queue barrée ».

La position taxinomique de l'Aigle de Bonelli est :

Règne : Animalia

Sous règne : Metazoa

Super embranchement : Cordata

Embranchement : Vertebrata

Sous embranchement : Gnatostomata

Super classe : Tetrapoda

Classe : Aves (Linnaeus, 1758)

Sous-Classe : Neornithes (Gadow, 1893)

Super-Ordre : Accipitriformae

Ordre : Accipitriformes

Famille : Accipitridae (Vigors, 1824)

Genre : *Aquila* (Brisson, 1760)

Espèce : *Aquila fasciata* (Vieillot, 1822)



Figure 1 : L'Aigle de Bonelli en vol. (A. Irizi ©)

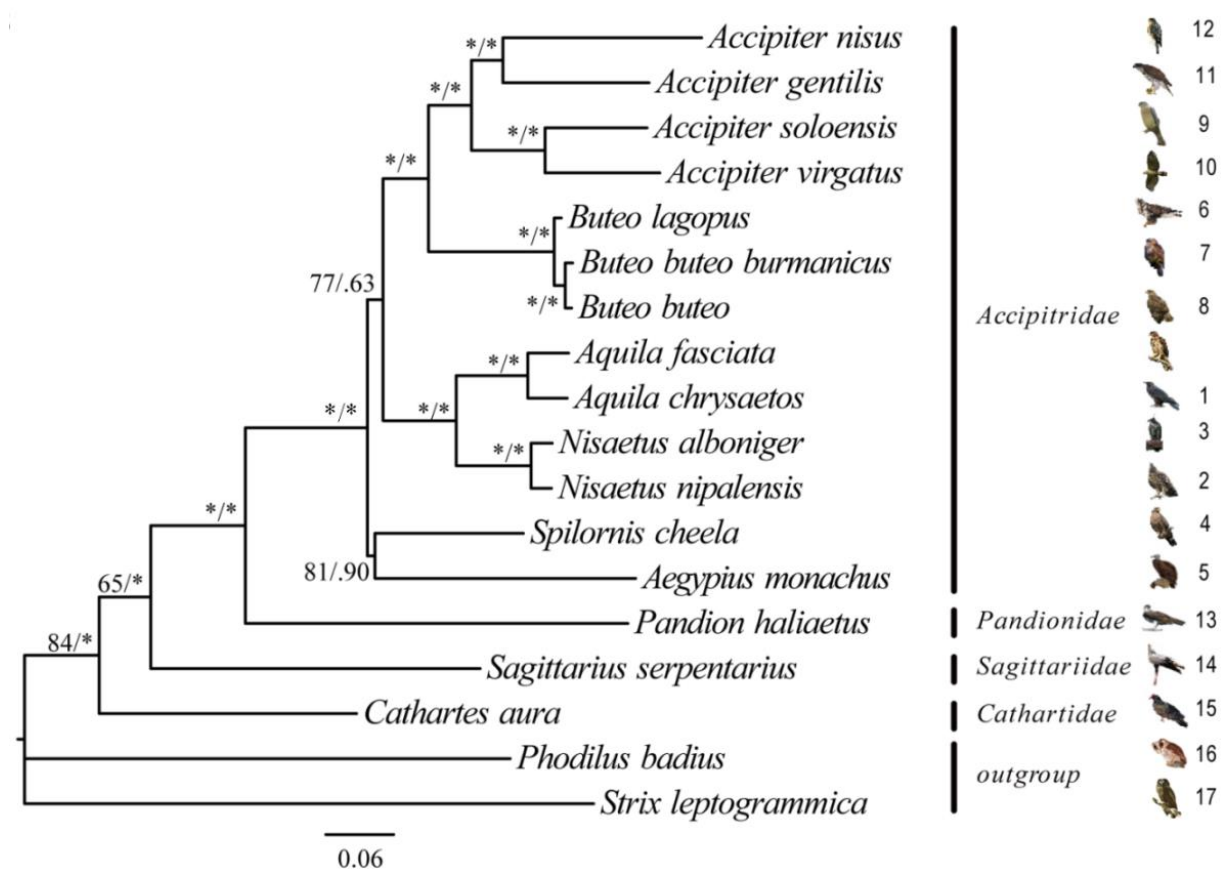


Figure 2 : Arbre phylogénétique basée sur 13PCGs (protein-coding genes) chez 16 espèces d'Accipitriformes, avec deux oiseaux Strigiformes comme « extra-groupe ». (Jiang et al 2015)

2. Description générale de l'espèce

2.1. Biométrie et dimorphisme sexuel

D'une taille moyenne qui peut être située, entre une Buse féroce et un Aigle royal, l'Aigle de Bonelli a une envergure de 150 à 180 cm, une longueur de 60 à 70 cm et un poids de 1,5 à 2,5 kg (Morvan 2010) (Tab.1). L'espèce présente un dimorphisme sexuel modéré, caractéristique des grands rapaces, la femelle est plus corpulente que le mâle (Fig.3), et au plumage plus foncé. Le bec est gris bleu, la cire et les pattes sont jaunes. Selon les individus, l'iris varie du jaune vif au brun sombre. La femelle a généralement un iris plus brun que celui du mâle, qui est jaune doré (Morvan & Cheylan *in* Thiollay & Bretagnolle, 2004).

Tableau 1 : Biométrie (mm) et masse corporelle (g) de l'Aigle de Bonelli en Espagne, Portugal et France (García et al. 2013).

	Moyenne	Mâles	n	Moyenne	Femelles	n
Masse Corporelle (g)	1941	1400-2240	91	2618	2100-3025	83
Longueur d'aile (cm)	480	308-530	71	481	280-580	70
Longueur de la queue (cm)	268	245-287	84	288	264-319	79
Longueur du bec (cm)	43,3	40,4-45 ,3	33	46,6	41,3-51,8	31
Ongle postérieur (cm)	37,2	37,1-39,4	32	43,1	40,3-46,7	32

À l'instar des grands rapaces, l'Aigle de Bonelli a une stratégie démographique de type « K » ; caractérisée par une faible productivité, est compensée par une grande longévité (25-30 ans) (PNAAB, 2013).

En vol, la silhouette de l'Aigle de Bonelli est caractérisée par une forme arrondie des ailes qui présentent un rétrécissement à leur départ ainsi qu'une longue queue (Morvan 2010).



Figure 3 : Couple d'Aigle de Bonelli la femelle à droite est plus grande et trapue. (A. Irizi ©)

2.2. Plumage, mues et classes d'âge

Chez l'Aigle de Bonelli, le plumage évolue selon l'âge. La mue est typique des grands accipitridés, dite mue séquentielle. Après le stade du duvet, le plumage juvénile subit des mues multiples avant l'acquisition du plumage adulte à l'âge de 4 à 5 ans. Après l'acquisition du premier plumage d'adulte, l'apparence change encore pendant plusieurs années avant que le plumage adulte final ne soit acquis (Vincent-Martin & Ponchon, 2013, Forsman 2016).

Le plumage juvénile (plumage de la première année) est caractérisé par un plumage roux plus ou moins foncé selon les individus, sur le ventre et les couvertures sous-alaires et certains individus peuvent avoir des stries marquées sur la poitrine (Vincent-Martin & Ponchon, 2013) (Fig.4). Les rémiges secondaires et tertiaires sont plus sombres que les primaires et les rémiges se terminent à leurs extrémités par 6 doigts sombres. La queue est claire sans la bande noire terminale. Ce plumage est conservé jusqu'à la fin du printemps de la seconde année civile (Vincent-Martin & Ponchon, 2013).

Chez les oiseaux de la deuxième année, la première mue débute au milieu du printemps de la seconde année. Elle se remarque sur le ventre avec l'apparition de flammèches noires d'épaisseur très variable, sur fond marron-roux et sur les couvertures sous-alaires dont la coloration est un « patchwork » de plumes rousses juvéniles et de nouvelles plumes. Les rémiges commencent aussi leur mue à cette période là. Celle-ci commence par P1 et continue vers l'extérieur de l'aile, puis celle des secondaires débute par trois foyers différents qui sont, dans l'ordre chronologique, S13, S1 puis S5. Les nouvelles rémiges sont alors plus sombres avec des

barres noires plus larges et surtout une tache terminale sombre. La queue présente des plumes neuves au bout noir plus ou moins marqué, et des plumes juvéniles (Vincent-Martin & Ponchon, 2013).

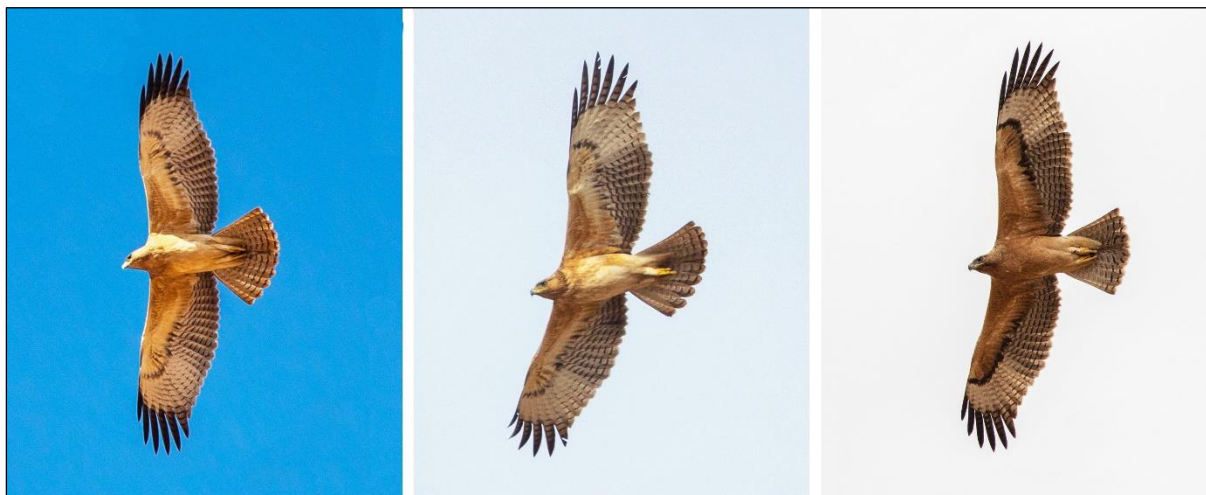


Figure 4 : Différents juvéniles d'Aigle de Bonelli en vol. (A. Irizi ©)

Les oiseaux de la troisième année civile présentent des rémiges appartenant à deux générations de plumes, car la mue est suspendue à l'automne. Sur les primaires, il faut noter que toutes les plumes présentent une barre terminale sombre, gris diffus à noire généralement bien nette et large. Sur les secondaires, on retrouve le même pattern qu'à l'automne avec des plumes neuves à bout noir ou gris foncé en S1-2, S5-6 et S internes, contrastant avec les plumes non muées juvéniles de couleur de fond entièrement gris-clair. La tache blanche du dos est peu présente en début d'année, et sera plus ou moins marquée en fin d'année (Vincent-Martin & Ponchon, 2013).

Au cours de la quatrième année civile, les couvertures sous-alaires et tectrices du ventre paraissent encore « sales ». Les petites couvertures sont striées de noir sur un fond chamois. Les plumes du ventre présentent en leur centre des formes de gouttes, flammèches ou stries noires aux limites diffuses, de couleur marron-fauve sur fond blanc délavé. Une barre noire continue est bien marquée sur le bord de fuite des rémiges et l'intérieur des plumes reste finement barré de noir sur fond gris clair. Les rémiges secondaires S1 et S5 peuvent paraître plus courtes avec une barre terminale plus claire (Vincent-Martin & Ponchon, 2013).

Chez les oiseaux de la cinquième année civile, le dimorphisme sexuel est discret. Les mâles sont très proches des oiseaux de quatre ans avec des barres transversales sur les rémiges bien marquées contrastant avec la couleur de fond grise. Un examen attentif permet de voir que S1-2 et S5-6, voire S7, sont neuves, donc plus sombres que celles qui les entourent. Chez les femelles, la couleur générale des plumes paraît plus sombre. Les barres transversales semblent plus larges et contrastent moins avec la couleur de fond des plumes. Les couvertures sous-alaires

présentent encore un fond de couleur chamois à blanc crème chez certains mâles alors qu'elles sont blanches chez d'autres ainsi que chez les femelles. La couleur des tectrices du ventre est nettement dominée par le blanc. Il faut un examen précis de ces plumes pour détecter encore des traces de marron-roux sur certaines d'entre elles (Vincent-Martin & Ponchon, 2013) (Fig.5).

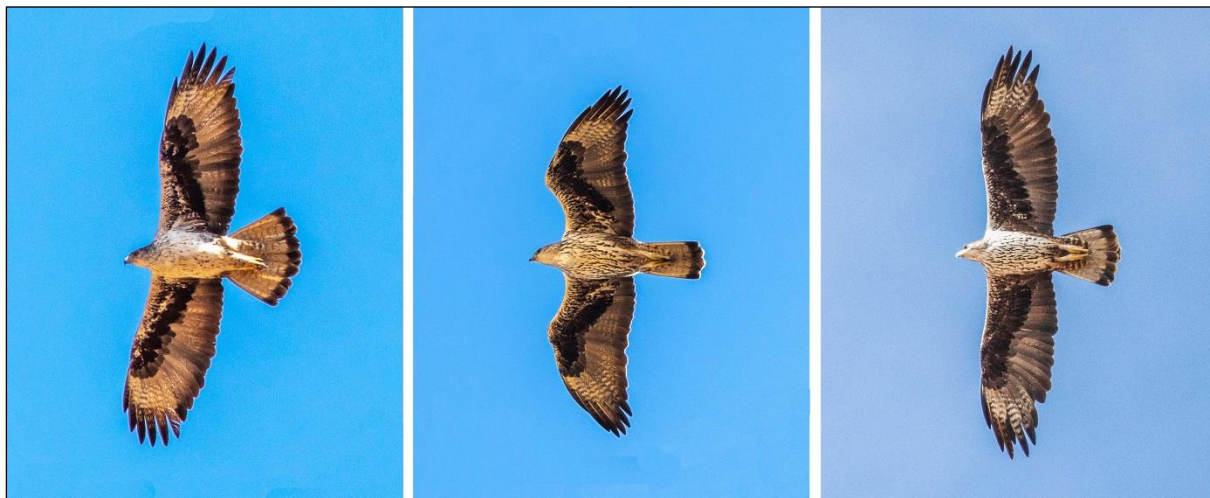


Figure 5 : Différents adultes d'Aigle de Bonelli en vol. (A. Irizi ©)

Identifier l'âge des oiseaux au-delà de cinq ans devient quasiment impossible par observation directe. Le plumage au niveau du ventre continue d'évoluer, avec l'âge, pour se rapprocher d'un blanc pur chez les individus âgés de plus de 10 ans (Vincent-Martin & Ponchon, 2013 ; Cotton 2002). Le dessus du corps brun sombre de l'adulte est orné, entre les épaules, d'une tache blanche qui s'agrandit avec l'âge. Cette tache dorsale singulière, qui s'agrandit avec l'âge, permet de distinguer l'Aigle de Bonelli (Forsman, 2016) (Fig. 6).



Figure 6 : La tache blanche dorsale caractéristique de l'adulte (A. Irizi ©)

La mue des rémiges débute au milieu de la seconde année civile par les primaires (P) P1, puis par trois autres foyers sur les secondaires (S), S13, S1 et S5 (Fig. 7). Le nombre de plumes changées avant l'interruption de la mue à l'automne est généralement de quatre à cinq primaires et de six à sept secondaires. Au printemps suivant (troisième année civile), la mue recommence là où elle s'était arrêtée, puis un nouveau cycle de mue débute pour les primaires en P1 alors que le premier cycle de mue des primaires n'est pas terminé. A cette période, un Aigle de Bonelli a donc trois générations de rémiges primaires (RP). En fin de troisième et début de quatrième année civile, l'oiseau a changé au moins une fois toutes ou quasiment toutes les plumes de vol. Au printemps de la quatrième année, la mue des rémiges recommence avec la même stratégie, mais à cause des variations individuelles, il devient difficile de donner un âge aux oiseaux au-delà de quatre ans (Vincent-Martin & Ponchon, 2013).

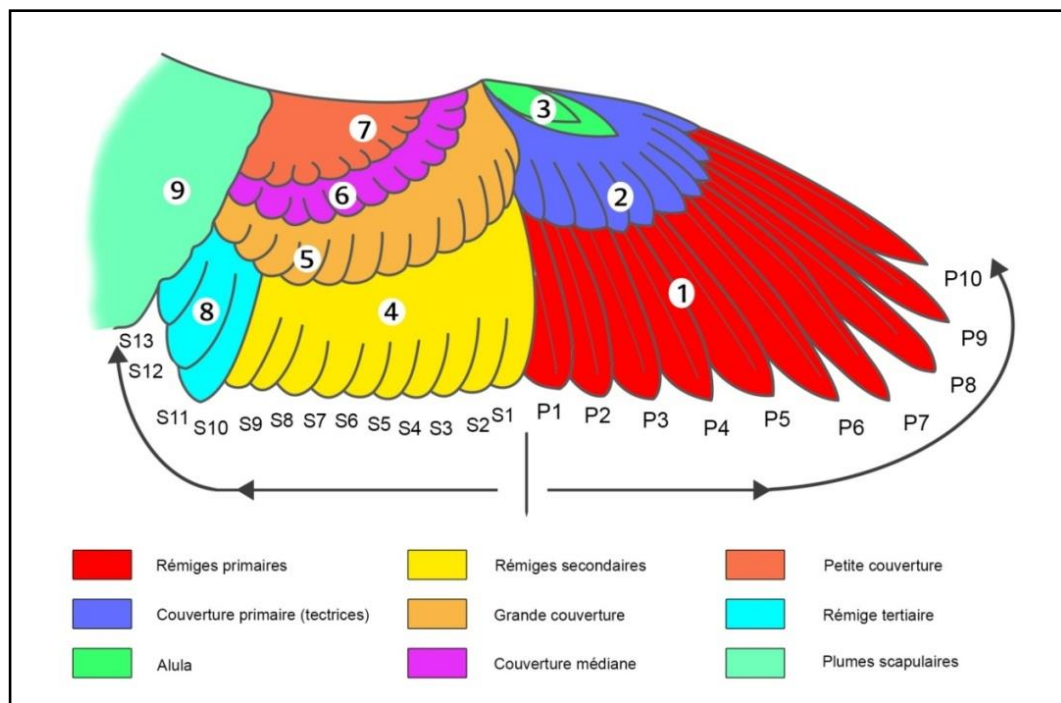


Figure 7 : Représentation schématique d'une aile de l'Aigle de Bonelli. Les flèches indiquent les différents foyers et le sens de la mue (Vincent-Martin & Ponchon, 2013).

3. Aire de répartition, effectifs et tendances des populations

3.1. Répartition mondiale

L'Aigle de Bonelli jouit d'une large répartition, en effet, l'aire de répartition de l'Aigle de Bonelli s'étend du pourtour du bassin de la méditerranée jusqu'au Sud-ouest de l'Asie (Fig. 8).

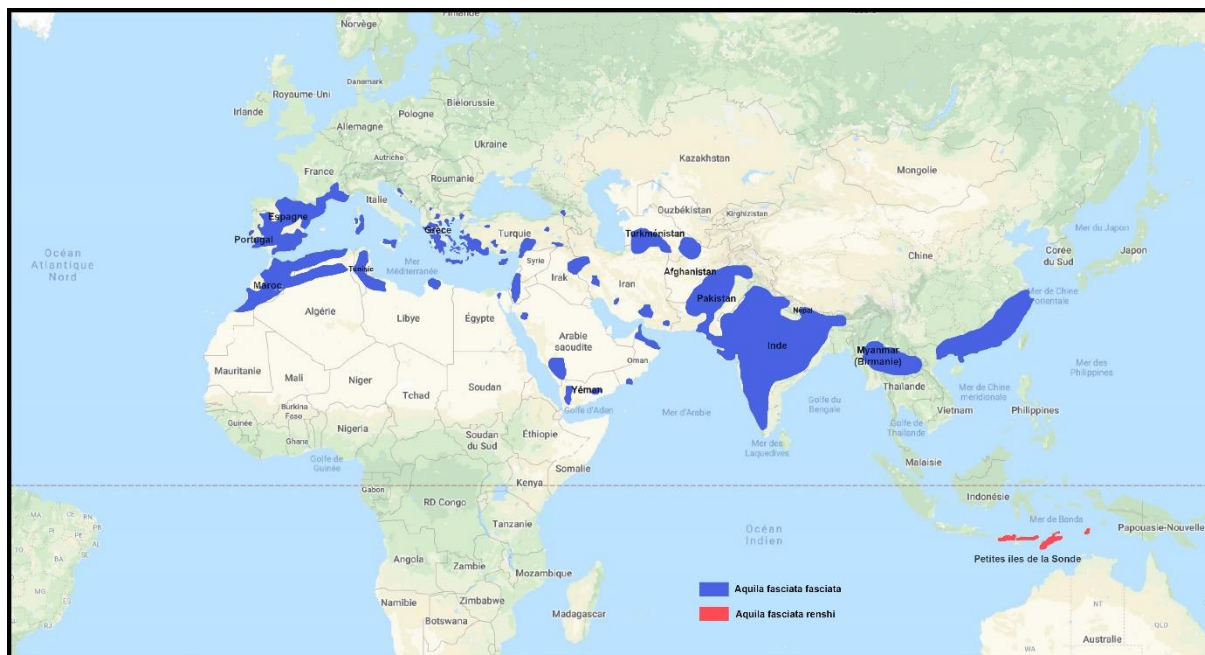


Figure 8 : Aire de reproduction de l’Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* (Birdlife 2021).

Une estimation très préliminaire de la taille de la population mondiale est de 21 000 à 24 000 individus matures ce qui équivaut à 10 500 à 12 000 couples, bien qu'une validation supplémentaire de cette estimation soit nécessaire (BirdLife, 2015).

En Afrique du Nord, l’Aigle de Bonelli est l’un des rapaces les plus abondants mais avec une distribution fragmentée. L’espèce est très bien représentée sur l’ensemble du Maroc. L’espèce se reproduit au nord de l’Algérie, de la côte au nord du Sahara (Heim de Balsac et Mayaud 1962), avec des enregistrements de la Grande Kabylie, de l’Aurès, d’El Kala, de l’Atlas saharien, et du nord du Sahara et de l’ouest dans les montagnes Warsenis (Isenmann et Maoli 2000 ; Benmammar, 2020 *comm. pers.*).

En Tunisie, où la population est concentrée dans le nord-ouest des monts Dorsale de Jebel Boukornine à Jebel Trozza (Isenmann et al. 2005), et seuls quelques sites isolés sont connus dans le Nord, le Haut-Tell et le Sud-Ouest des monts Dorsale et en s’étendant vers le sud (Azafzaf et al. 2015) jusqu’à se connecter à l’aire de répartition libyenne (IUCN 2020) où elle se rencontre également au Jebel Akhadr dans le nord-est (IUCN, 2020). En Égypte, quelques couples se reproduisent dans les montagnes de la mer Rouge orientale (Clark et Davies 2018 ; Riad, 2020 *comm. pers.*), où une reproduction a été enregistrée dans plusieurs localités, notamment le parc national de Wadi el-Gamal et le triangle de Halaib (IUCN 2020); il est également un reproducteur

rare dans le sud du Sinaï, notamment à Wadi Water et dans la région de Charm el-Cheikh (IUCN 2020.).

La population d'Afrique du nord-est estimée à 950-1 600 couples nicheurs ou 1 900 à 3 200 individus matures (IUCN 2020). Au Maroc, Thévenot et al. 2003 estimait à plus de 500 couples nicheurs au début des années 1980 et Cuzin estimait en fait le même nombre (Cuzin 2019). La population reproductrice dans les autres pays d'Afrique du Nord a été estimée à 400-600 couples reproducteurs en Algérie (H. Benmammar 2020 *comm. Pers.*), 40-50 couples en Tunisie (R. Ouni 2020 *pes. Comm.*) Où elle est en expansion (Azafzaf et al. 2015), 4-20 couples en Libye (S. Buirzayqah 2020 *pers. comm*) et 10-20 couples en Egypte (Riad 2020 *pers comm*), similaire à la population enregistrée dans les années 80 (Mullié & Meininger 1985).

En Europe, la population d'Aigle de Bonelli est estimée entre 1100 et 1200 couples (BirdLife, 2015). L'Espagne représente le cœur de la population européenne avec un peu moins de 800 couples (66%) recensés (Orta *et al.* 2013). Le reste se trouve dispersé sous forme de petits et d'importants noyaux dans les pays de l'Union européenne : au Portugal (128-150 couples), en Turquie (20-35 couples), en Grèce (100-140 couples), en Italie (34-28 couples en Sicile) et en France (30 couples) (BirdLife . 2015).

Bien que certaines de ces populations soient restées stables dans les années 1990 (Grèce, Portugal ou Chypre), la population de l'Aigle de Bonelli a continué à baisser en Espagne, son principal bastion, il en est de même également pour ses populations en France, en Italie et en Turquie. Les raisons de la tendance à la baisse sont supposées être liées à différents facteurs comme la persécution directe, l'électrocution sur des lignes électriques, le dérangement dans les sites de nidification ainsi que la disparition et la détérioration des zones de pâtures sèches et autres habitats de dispersion des juvéniles.

La faible augmentation des effectifs reste de toute façon insuffisante pour la survie de l'espèce (Ponchon 2011) qui est considérée comme « En danger » (IUCN, 2015).

C'est en Asie qu'on trouve la population la plus importante de l'Aigle de Bonelli, notamment dans le Sud-ouest de l'Asie, l'Arabie, l'Afghanistan, le Pakistan, l'Inde, et à travers le nord de l'Indochine jusqu'au sud de la Chine, où l'essentiel de la population est localisé (del Hoyo et al, 1994). Dans les îles de la Sonde, en Indonésie, c'est une sous-espèce *Aquila fasciata renshi*, qui est présente. Peu d'informations fiables sont disponibles dans les pays du Caucase et d'Asie centrale.

Globalement, et à l'échelle mondiale l'espèce n'est pas considérée comme menacée bien que sa population semble diminuer ces dernières années, cette baisse n'étant pas considérée comme suffisamment rapide.

3.2. Répartition au Maroc

Au Maroc, l'Aigle de Bonelli est une espèce commune, il est rependu de la Méditerranée au nord jusqu'au aux confins du Sahara Atlantique marocain au sud (Bergier 1987, Thévenot *et al.* 2003, Bergier *et al.* 2017, Clark & Davies 2018 pour revue) (Fig. 9).

Dans le Maroc Oriental, où l'espèce est représentée, l'Aigle de Bonelli se rencontre du niveau de la mer jusqu'à la limite des Hauts Plateaux à 1600 m (Brosset, 1961). L'espèce est présentée à Bou Arfa et Tandrara (Bannerman, 1953), Figuig (Smith, 1965) ainsi qu'aux Monts de Beni Snassen (Diego Jerez *et al.*, 2016). L'espèce n'est pas notée dans les grandes plaines : Chaouia, Doukkala et Haouz. Assez présent dans le massif du Haut Atlas notamment au niveau des piedmont nord et sud (Bergier, 1987). L'espèce est présente dans la quasi-totalité des Parcs Nationaux de montagne (Parc Nationaux du Talassemtane, d'Al Hoceima, d'Ifrane, du Tazekka, du Haut Atlas Oriental, du Toubkal) et de nombreux sites d'intérêt biologique et écologique SIBE de terrain accidenté (Cuzin, 2019).

Il est présent sur l'ensemble de l'Anti-Atlas du côté atlantique au massif de Saghro. Ce dernier abrite une population significative de l'Aigle de Bonelli (Qninba *et al.*, 2013). Il a été noté à Taliouine, Aoulouz, Aouzioua et Oued Berhil notamment au niveau des plans d'eau des barrages d'aoulouz, Mokhtar Soussi et Imi n'khengue (Tamraoui 2020 comm. Pers.). Dans l'Anti-Atlas occidental il est bien représenté à Igherm, Issafen, Agouliz. Une bonne présence au niveau de Tafraout, Anzi et Tighmi. La reproduction de l'espèce est confirmée au niveau de Jbel Ouarkiz. La donnée la plus au sud de présence de l'Aigle de Bonelli au Maroc est enregistrée, à l'intérieur des terres, au niveau de la latitude 28° (IUCN 2020). En revanche, nous ne disposons pas de données fiables sur la taille de la population de l'Aigle de Bonelli à l'échelle nationale. Thévenot *et al.* (2003) l'ont estimée à 500 couples reproducteurs, aux débuts des années 1980. Plus récemment, Ponchon (2011) a revu la taille de la population marocaine à la hausse et considère qu'elle est probablement proche de 1000 couples. Mais cette population pourrait être estimée entre 500 et 900 couples reproducteurs (IUCN, 2020).

Le fait de ne pas disposer d'une information historique suffisante et d'une base de données sur le suivi de la population au Maroc, ne permet pas d'établir une tendance générale, rigoureuse de la dynamique de la population à l'échelle nationale. Un début de collecte d'informations sur cette espèce, comme pour d'autres rapaces, a débuté avec le premier recensement des rapaces rupicoles en 2019. Un total de 171 territoires d'Aigle de Bonelli a été identifié dont 153 occupés en 2019. Bien que des grands territoires n'aient pas été prospectés lors de cette campagne de recensement, ces résultats donnent un indice de présence de ce rapace au Maroc.

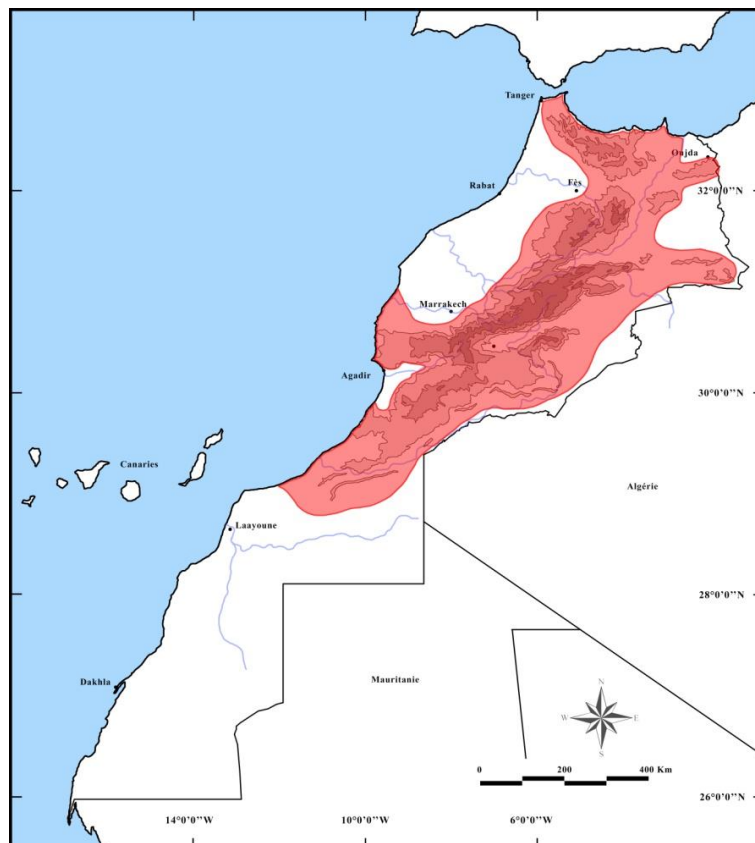


Figure 9 : Aire de répartition de l’Aigle de Bonelli au Maroc (d’après Bergier 1987, modifiée).

Au cours des années 1950, les populations de l’Aigle de Bonelli ont connu un important déclin dans l’ensemble de leurs aires de répartition, y compris dans les pays du Maghreb (Bergier 1987, Thévenot et al. 2003). Au Maroc, nous ne disposons pas de données fiables sur la taille de la population de l’Aigle de Bonelli. Thévenot et al. (2003) l’a estimée à 500 couples reproducteurs, aux débuts des années 1980. Toutefois, Ponchon (2011) a revu la taille de la population marocaine à la hausse et considère qu’elle est probablement proche de 1000 couples. D’autres estimations la situent dans l’intervalle de 500 à 900 couples (G. Monchaux 2020 comm. pers.).

4. Écologie et adaptation au milieu

4.1. Habitat et domaine vital

L’Aigle de Bonelli est une espèce rupestre et thermophile. Elle est inféodée aux milieux semi-arides (milieux rocaillieux, garrigues et steppes) des régions ensoleillées de type méditerranéen, du niveau de la mer à 1500 m (Tucker & Heath 1994). Les adultes fréquentent essentiellement les régions accidentées de basse et moyenne altitude, du niveau de la mer à 2500 m d’altitude. La présence de falaises leur est indispensable pour qu’ils puissent y nicher, bien que l’espèce puisse utiliser des arbres pour nicher en Afrique du Nord et surtout au Portugal et

quelquefois en Espagne (Tucker & Heath 1994 ; Ferguson-Lees & Christie 2001 ; Ontiveros et al., 2008). En revanche, l'habitat des jeunes n'est pas lié à la présence de falaises. Ces derniers affectionnent, aussi bien les zones accidentées et vallonnées que les plaines, les zones de culture et les zones proches de gros plans d'eau, pourvu qu'elles soient riches en proies (Mañosa et al. 1998 ; Ferguson-Lees & Christie 2001 ; Carrascal & Seoane, 2009).

Au Maroc, l'espèce se rencontre dans les milieux ouverts, les forêts claires, les steppes arborées et les zones accidentées couvertes de broussailles (Fig. 10). Les oiseaux immatures se dispersent vers certaines zones du Sahara nord-atlantique, à forte densité de proies (Bergier et al. 2017, Iglesias et al. 2018), dans les réserves de chasse marocaines (Iglesias et al. 2018, Karim Rousselon, 2019 comm. pers.).

L'Aigle de Bonelli étant une espèce territoriale sédentaire, le territoire ou domaine vital d'un couple est la zone qui est effectivement exploitée et nécessaire à l'accomplissement du cycle biologique annuel. Il englobe les sites de nidification et les aires de chasse. Les programmes récents de suivi des individus par télémétrie a permis une meilleure précision du domaine vital de l'aigle de Bonelli. La taille du domaine vital global varie selon la saison, la densité de population, la période du cycle de reproduction et en fonction de la disponibilité alimentaire entre 70 et 140 Km². (Tucker & Heath 1994 ; Ferguson-Lees & Christie 2001 ; Mure, 2002). D'autres études ont montré que les couples fréquentent de manière différenciée la superficie totale du même domaine vital, au cours du temps (Mure 2003 ; Pérez-García et al. 2013).

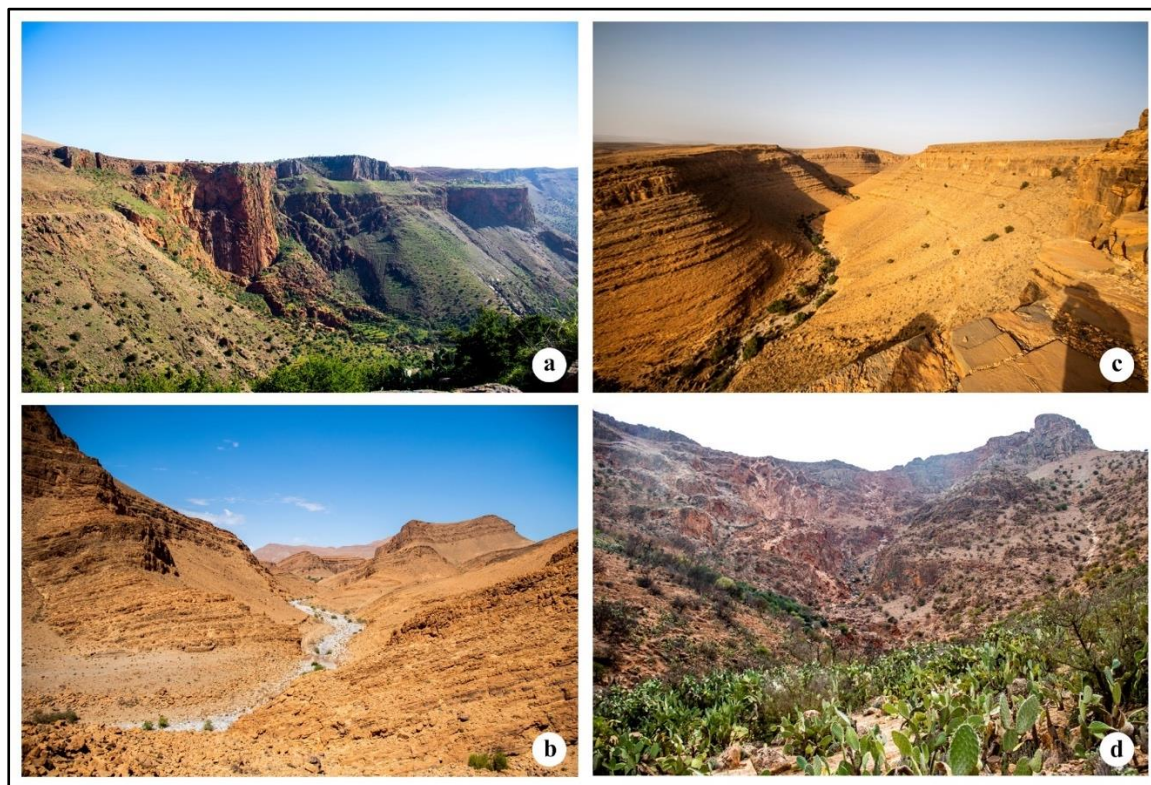


Figure 10 : Habitats de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental : a : Tighmi ; b : Tata ; c : Amtoudi ; d : Imjjad. (A. Irizi ©)

Par ailleurs, Bosch et al. (2010) ont mis en évidence un phénomène d'excentricité de la zone de nidification par rapport à l'ensemble du domaine vital de l'espèce, ce qui indique un second niveau de sélection différentielle entre la zone de nidification et les zones d'alimentation (Fig. 11). Cette utilisation différentielle de l'espace pourrait être une conséquence de l'hétérogénéité structurale des habitats et de la répartition irrégulière des ressources alimentaires en leur sein (Sanz et al. 2005, Carrete et al. 2006).

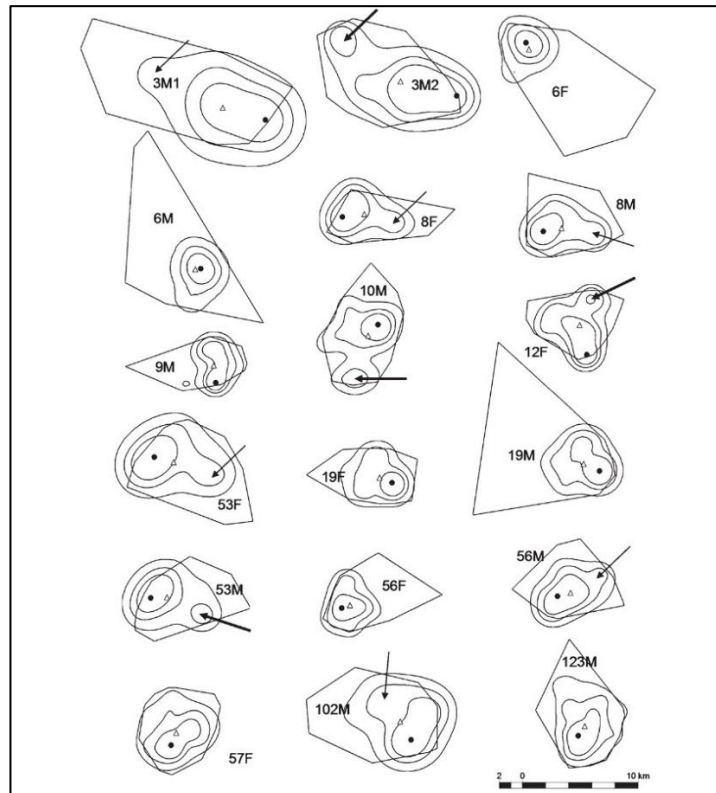


Figure 11 : Formes de différents domaines vitaux des couples (● : centre de la zone de reproduction. △ : Centre arithmétique des emplacements. → : Zones intensément utilisées. →→ : Principales zones d'allongement) (D'après : Bosch et al. 2010).

4.2. Erratisme et dispersion

Au Maroc, des juvéniles ou sub-adultes, probablement erratiques, sont parfois notés en des lieux dépourvus de tout biotope favorable, par exemple la steppe plate du Haouz de Marrakech, ou très haut en altitude (Tizi N'ouaddi, 3000 m). D'autre sont notés sporadiquement dans des zones marécageuses qui servent de biotopes de chasse, Mrja Zerga, embouchures des oueds Moulouya, Massa et Sous, Barrage de Mechra Homadi (Bergier, 1987).

5. Écologie trophique de l'Aigle de Bonelli

5.1. Régime alimentaire :

L'Aigle de Bonelli est une espèce peu spécialisée et relativement opportuniste, capable d'adapter son alimentation à la période du cycle de reproduction, ainsi qu'à la diversité et la disponibilité des ressources locales (Cramp et Simmons, 1980 ; Ferguson-Lees & Christie 2001). L'espèce semble capable de se spécialiser sur les espèces les plus abondantes et les plus faciles à capturer, à une période donnée (Ferguson-Lees & Christie 2001). Autour du bassin méditerranéen, le régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli dans le secteur nord-ouest de son aire de répartition (péninsule ibérique et Midi de la France) est particulièrement bien connu. En revanche, l'écologie trophique de l'espèce dans la rive sud de la méditerranée n'est pas étudiée.

En France, l'analyse du régime alimentaire de l'espèce indique une prépondérance des oiseaux : 66 % à 76 %, selon les régions. La Perdrix rouge *Alectoris rufa* représente 13 à 18% en régions Provence-Alpes-Côte-d'azur et Languedoc-Roussillon, en Ardèche, ce sont les corvidés qui atteignent 20%. Les pigeons, les lapins, les écureuils et les lézards sont des proies fréquentes, mais aussi, pour certains couples, le Héron cendré *Ardea cinerea*, la Buse variable *Buteo buteo* ou la Sarcelle d'hiver *Anas crecca* (Frier, 1976 ; Real, 1983 ; Cugnasse, 1984 ; Rollier, 1993 ; Mure, 2002 ; Moleón et al., 2009). Pendant la saison de reproduction, 19 nids ont été contrôlés et échantillonnés dans le Midi de la France. Sur 195 proies qui ont été identifiées : 69,7 % d'oiseaux, 21,6 % de mammifères et 8,7 % de reptiles. Les principales proies consommées étaient le Lapin de garenne *Oryctolagus cuniculus* (11,3 %), suivi de la Perdrix rouge *Alectoris rufa* (9,7 %). Les pigeons ramier *Columba palumbus* et domestique *C. livia* ont contribué pour 16,0 %, les corvidés pour 10,2 % et le Goéland leucophaée *Larus michahellis* pour 7,7 %. Le lézard ocellé *Timon lepidus* était la principale proie reptilienne, avec un minimum de 3,1 % (Resano et al. 2012).

Dans la péninsule ibérique, lagomorphes, perdrix, pigeons et lézards sont également à la base du régime alimentaire (Tab.2). Ses proies pèsent de 300 g à 1,5 kg, les plus caractéristiques sont la perdrix rouge et le lapin de garenne qu'ils sont abondants, mais aussi les corvidés et colombidés, voire localement le lézard ocellé, les hérons et les goélands. (Gil-Sánchez et al., 2000 ; Inácio, 1999 ; Ontiveros & Pleguezuelos, 2000).

Toujours dans la péninsule Ibérique, le renard roux *Vulpes vulpes*, (Martínez et al., 1994), des rapaces comme le Faucon Crécerelle *Falco tinnunculus*, l'Épervier *Accipiter nisus*, le Faucon Pèlerin *Falco peregrinus* et Autour des palombes *Accipiter gentilis* sont apparus plusieurs fois

dans l'alimentation de l'Aigle de Bonelli (Real, 1987; Siméon et Wilhelm, 1988, Martínez et al., 1994 ; Ontiveros et Pleguezuelos, 2000). D'autres espèces (du moins en Europe) viennent compléter cette variété de proies comme les lièvres, écureuils, rats, pigeons, choucas, goélands, petits oiseaux, lézards et les serpents (Gil-Sánchez et al., 1994; Martínez et al., 1994; Ontiveros et Pleguezuelos, 2000).

Tableau 2 : Spectre des proies dans le régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli dans différentes régions d'Espagne (taille de l'échantillon) (D'après : Ontiveros, 2016)

	Sierra Morena (70)	Aragon (?)	Catalogne (192)	Granada (1339)	Murcia (688)
Lapin	41,1	22,2	30,8	39,9	39,9
Lièvre	4,3	0	0		0,9
Perdrix rouge	10	11,4	4,6	26,8	19,9
Pigeons	11,4	26,7	24,1	13,4	20,9
Lézard ocellé	5,7	0	5,3	6,3	7,9
Autres mammifères	2,8	0	12,7	9,7	2,9
Autres oiseaux	22,9	40	22,5	8,2	7,3
Autres reptiles	1,4	0	0	0	0,4

Au Maroc et au sud de la méditerranée, en général, l'écologie trophique de l'Aigle de Bonelli n'est pas encore étudiée. Les données disponibles sont très fragmentaires et consistent plus généralement à des observations directes, *in-situ*, d'individus avec des proies. Selon Heim de Balsac (1954), le régime alimentaire du Bonelli est constitué de la perdrix *Alectoris barbara* et des rongeurs *Meriones shawi* et *Psammomys sp*, dans le bas Drâa (Fig.12). Quelque peu plus au nord, dans une aire près de Guelmim, Naurois (*comm.pers*) a trouvé les restes du saurien *Agama bibroni* et de l'Ecureuil *Atlantoxerus getulus*, ce rongeur a aussi été noté dans plusieurs aires, près de Bou Izakaren, de Massa et dans les gorges de Moulay Brahim près de Marrakech. Des attaques sur la Sarcelle d'hiver à l'embochure de l'oued Massa, et de Pigeon biset près de Sefrou ont été rapportées (Bergier, 1987). Haas (1969) et Smith (1965) (*in* Bergier, 1987) ont rapporté, respectivement, la présence d'un immature dans une héronnière à Sidi Allal Tazi et la chasse quasi-quotidienne d'un couple sur un oued de Défilia.



Figure 12 : Quelques proies de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental. De gauche à droite : le lièvre *Lepus capensis* ; écureuil de Barbarie *Atlantoxerus getulus* ; le Rat des sable *Psammomys obesus* ; perdrix *gambra Alectoris barbara* ; fouette-queues *Uromastix nigriventris*. (A. Irizi ©)

5.2. La super-prédation :

La super-prédation, définie comme une interaction dans laquelle un prédateur tue et mange un autre prédateur, a été largement étudiée précédemment (Lourenço et al. 2011b, 2014 in López-López et al. 2016). Bien que parfois négligée dans les analyses du régime alimentaire, la superprédateur peut être un mécanisme important de régulation de la dynamique des populations qui conduit à des réponses comportementales chez différents membres de la communauté (Lourenço et al. 2014 in López-López et al. 2016).

Le Grand-duc (*Bubo bubo*), qui pourtant cohabite avec l'Aigle de Bonelli, constitue une des victimes lors des superprédateurs de ce dernier. Un des cas de ce type de prédation qui a été documenté a eu lieu dans le parc naturel de la Serra d'Espadà, province de Castellón, en Espagne (López-López et al. 2016).

Si ce comportement peut être expliqué, principalement, par un stress alimentaire dans des situations de pénurie alimentaire, d'autres hypothèses ne peuvent pas être exclues. La suppression d'un concurrent, d'une menace ou simplement d'un régime alimentaire opportuniste (López-López et al. 2016) restent des hypothèses crédibles.

L'Aigle de Bonelli n'hésite pas à s'attaquer à des oiseaux de grande taille telles les Cigognes noires (*Ciconia nigra*) comme observé au niveau de Gibraltar. Une prédation sur un Flamand rose (*Phoenicopterus roseus*) notée à Saquiat Al Hamra (Bergier et al 2017).

Cette étude Analyse du régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli pendant la saison de reproduction France a confirmé le rôle de superprédateur qu'exerce l'Aigle de Bonelli dans les biocénoses méditerranéennes, déjà mis en évidence par Lourenço et al. (2011). Il est en effet possible de noter, dans cet échantillon, une prédation relativement importante sur les rapaces de taille moyenne (tels que Buse variable *Buteo buteo*, Milan noir *Milvus migrans*, Busards *Circus* spp., Faucon crécerelle *Falco tinnunculus* ou encore Chouette hulotte *Strix aluco*), ainsi que sur les ardéidés (Héron cendré *Ardea cinerea* et Aigrette garzette *Egretta garzetta*). La capture des hérons est le fait des couples d'aigles qui nichent près de deux rivières, l'Ardèche et le Gardon, le long desquelles s'alimentent ces oiseaux. (Resano et al. 2012).

5.3. Comportement charognard :

Il s'est avéré aussi que L'Aigle de Bonelli peut se nourrir occasionnellement de charognes (Avella, 1977). Même si le comportement charognard de l'Aigle de Bonelli n'est pas souvent observé, il est connu de l'espèce. Des observations de ce comportement ont été signalées en France (PNAAB). D'ailleurs une des techniques de capture des Aigles de Bonelli en Espagne et au Portugal se fassent par des appâts carnés. Les affuts photos utilisent aussi cette technique pour attirer les oiseaux, dont l'Aigle de Bonelli, dans le champ de la photo.

Ce comportement charognard est à mettre en parallèle avec l'opportunisme qui caractérise l'Aigle de Bonelli.

5.4. Compétition alimentaire :

Les deux espèces qui sont souvent en compétition alimentaire avec l'Aigle de Bonelli sont : l'Aigle Royal et le Grand-Duc. Ces deux espèces, avec l'Aigle de Bonelli, consomment une forte proportion de proies dont le poids est compris entre 0,2 et 1,8 kg

Concernant l'Aigle Royal, il est en général admis que sa présence affecte négativement l'Aigle de Bonelli. Si ce constat est vrai dans certaines conditions, la coexistence des deux espèces reste possible notamment en présence d'une grande diversité de proies.

Cette coexistence est d'autant possible car les deux espèces diffèrent par la fréquence dans lequel elles consomment leur proie commune (notamment le lapin), et le chevauchement de leurs régime alimentaire se trouve loin d'être total (Jordano 1981, Gil-Sánchez et al. 1994 in Moreno-Rueda et al., 2009).

Autre différence, l'Aigle Bonelli se nourrit relativement plus des oiseaux que l'Aigle Royal, qui s'attaque davantage à des mammifères (Jordano 1981, Parellada et al. 1984, Gil-Sánchez et al. 1994 in Moreno-Rueda et al., 2009). Par conséquent, une plus grande diversité de proies devrait favoriser une séparation trophique entre les deux aigles, réduire la concurrence interspécifique et donc encourager leur coexistence. Les efforts de conservation doivent être concentrés sur des zones de coexistence pour qu'elles soient utiles pour une conservation simultanée des deux espèces.

L'Aigle Royal montre, toutefois, une diversité de son régime alimentaire moins élevée que celle de l'Aigle de Bonelli, mais compensée par un spectre de prédation en classes de poids plus vaste. Ce spectre de prédation très élargi en biomasse, avec parfois des proies très grosses, donc sans doute rentables, le rend moins dépendant des classes de proies moyennes où se servent également les deux autres espèces (Cotton 2002).

Quant à la cohabitation de l'Aigle de Bonelli et du Grand-duc (Fig.13), elle est notée dans plusieurs sites dans notre zone d'étude, parfois sur la même falaise (Tarsouat). Si leurs rythmes de vie les empêchent théoriquement d'être en situation d'interaction, ces deux espèces occupent les mêmes milieux, chassent des proies communes (lièvre, perdrix...) et nidifient à la même période.

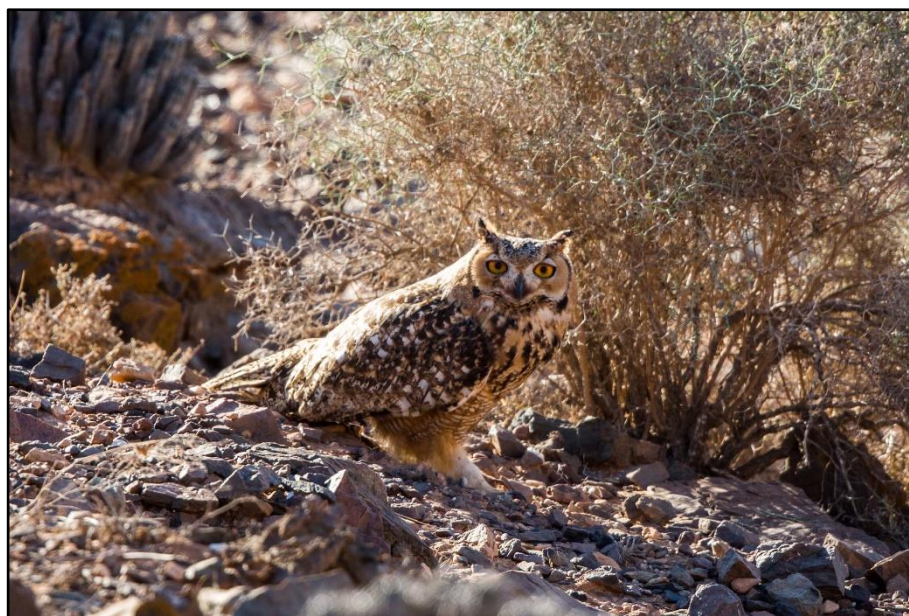


Figure 13 : Grand-duc ascalaphe (*Bubo ascalaphus*) dans la région de Guelmim. (A. Irizi ©)

Le Hibou grand-duc, au spectre de prédation maximal en diversité, exploite massivement la classe susdite et peut se retourner à l'occasion sur des proies de substitution qu'il est

apparemment le seul à pouvoir se procurer avec un certain profit (Rat surmulot et Hérisson en particulier...) ce qui est à mettre en relation avec son mode de vie nocturne (Cotton 2002).

Il en résulte que l'Aigle de Bonelli, dans ce trio est l'espèce la plus fragile car la plus dépendante d'une catégorie de proies qui est en fait exploitée en commun par les trois espèces. Il n'a de plus, au contraire des autres espèces, aucun recours payant. La disparition du lapin et celle progressive de la perdrix place donc cet Aigle en compétition potentielle négative avec les deux autres espèces qui partagent ou jouxtent ses territoires (Seriot 1986).

5.5. Techniques de la chasse :

Comme tous les rapaces, l'Aigle de Bonelli est taillé pour la chasse. Doté d'une vue perçante et d'une morphologie lui assurant d'une grande agilité, une rapidité lors des poursuites aérienne de sa proie.

L'Aigle de Bonelli recours aussi à la chasse en duo, les taches sont réparties pendant que l'un des aigles harcèle la proie à proximité, l'autre en vol attend la réaction de la proie pour fondre sur elle.

Une étude, du succès des attaques de l'Aigle de Bonelli, effectuée dans le sud-est Espagne suggère que le succès global des attaques était de 28,2%, sur la base de 110 observations d'attaques enregistrées entre 1985 et 2008 dans (Martínez et al. 2014). La probabilité de succès de l'attaque diminuait avec l'augmentation de la taille du groupe de proies en raison de la vigilance et de la confusion (Martínez et al. 2014).

L'attaque par surprise est le mode d'attaque principal et aussi le plus susceptible de réussir, principalement sur les proies butinant sur le sol. Les zones à couverture végétale de petite taille offrent à l'Aigle de Bonelli des conditions favorables pour des attaques plus susceptibles de réussir. De même, dans ce même domaine, il a été vérifié que la fréquence de capture du lapin dépend davantage de son accessibilité sur le territoire (mesurée en pourcentage de couverture végétale) que de son abondance absolue, puisque dans des territoires très clairs sa capture est facilitée pour les Aigles (Ontiveros et al., 2005).

Ce constat suggère l'importance de ce type d'habitats ouverts qui offrent des possibilités de recherche de nourriture aux Aigles. Mesures de gestion pour augmenter les habitats ouverts dans les territoires peuvent créer un habitat plus favorable à la détection des proies par les Aigles de Bonelli.(Martínez et al. 2014).

5.6. Sélection de proies/Proies préférentielles :

Malgré la grande diversité des proies potentielles et leurs disponibilités dans la durée et dans l'espace, l'analyse d'une éventuelle sélection de proies par l'Aigle de Bonelli n'a pas montré un schéma de sélection clair pour aucune d'entre elles (Gil-Sánchez, 1998). Dans diverses études, l'indice de diversité trophique de l'aigle de Bonelli a été déterminé (Fig.14). Ce dernier confirme, certes, un large spectre trophique de l'Aigle de Bonelli mais sans aucune dépendance d'espèces de proies spécifiques pour se nourrir (Ontiveros et Pleguezuelos, 2000).

Depuis l'apparition de la fièvre hémorragique chez le lapin depuis 1988, sa consommation par l'Aigle de Bonelli a diminué d'un tiers. Avant 1988, le régime alimentaire présentait des variations géographiques dues à des variations spatio-temporelles de l'abondance des lapins et dans une moindre mesure des facteurs environnementaux locaux (Moleón et al., 2009).



Figure 14 : Aigle de Bonelli adulte emportant un pigeon (Tighmi , 2017).(A. Irizi ©)

Le fait de ne pas dépendre d'une proie particulière constitue un avantage pour l'Aigle de Bonelli. A l'inverse d'autres espèces des rapaces plus dépendants de l'abondance des populations de proies stables comme le lapin, hors ces dernières peuvent osciller d'années à d'autres en raison de différentes maladies (Myxomatose, pneumonie hémorragique virale). La diminution de l'abondance des lapins due à la fièvre hémorragique a provoqué chez l'Aigle de Bonelli un élargissement dans son régime alimentaire (Moleón et al., 2012).

Pour un Aigle de Bonelli la capture d'un goéland ou d'un lapin, c'est-à-dire une proie de 1kg environ, demandera la même dépense d'énergie que celle d'un écureuil de 400 g. En règle

générale les proies de l'Aigle de Bonelli sont de taille moyenne ou grande, les petites proies sont anecdotiques (Patrick Bayle cité dans Morvan 2007).

5.7. Le régime alimentaire des jeunes en dispersion :

Si plusieurs études ont examiné le régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli, en général, peu de données sont disponibles sur la diète des juvéniles en dispersions. L'analyse du régime alimentaire des individus en dispersion en Andalousie, a révélé qu'il est principalement composé de lapins sauvages européens *Oryctolagus cuniculus* (67,5 %), suivi des pigeons (14,1 %), de la perdrix rouge (13,3 %), du lièvre (1,5 %), des passereaux non identifié (1,5 %) (Caro et al. 2011). Dans les zones de dispersions, le nombre des aigles erratiques est proportionnellement lié aux proies disponibles et la consommation de lapins est plus élevée que dans les aires de reproduction (Moleón et al., 2009) (Fig.15).



Figure 15 : Un aigle de Bonelli juvénile emportant un rat des sables (2016) (A. Irizi ©)

En Espagne, Le régime alimentaire des individus dispersés en Andalousie, selon 135 proies trouvées en pellets, s'agit principalement de lapin (67,5%), suivi des pigeons (14,1%), de la perdrix rouge (13,3%), du lièvre (1,5%), des passereaux non identifié (1,5%), Catalogne.

Des différences ont été trouvées entre le régime des erratiques et celui des adultes des populations les plus proche. La diversité alimentaire était plutôt faible pour les juvéniles, le Lapin Sauvage européen (*Oryctolagus cuniculus*) étant la principale proie et la seule proie sélectionnée positivement. De plus, le nombre de juvéniles observés dans la dispersion était réciproquement associée à l'abondance des lapins (Caro et al. 2011). Dans les zones de dispersions des juvéniles la consommation de lapins est plus élevée que dans les aires de reproduction (Moleón et al., 2009).

Au Maroc, La découverte d'un point noir d'électrocution des aigles à l'ouest de Guelmim a révélé une zone importante de dispersion des Aigles. Cette zone offre en effet un territoire dégagé et des proies pour les Aigles erratiques. Les principales proies d'Aigles dans cette zone sont le rat de sable (*Psammomys obesus*) et L'*Écureuil de Barbarie* (*Atlantoxerus getulus*).

6. Reproduction et développement

6.1. Nidification, abondance et densité de couples nicheurs

En Espagne, l'Aigle de Bonelli niche dans les gorges et les escarpements rocheux. Les nids sont, le plus souvent, situés sur des rebords de falaise élevés ou dans une anfractuosité plus ou moins profonde de falaises et plus rarement dans les gros arbres (Ferguson-Lees et Christie 2001).

Au Maroc, l'aire de reproduction de l'Aigle de Bonelli est soit rupestre (90 % des cas observés) ; il suffit parfois d'une zone rocheuse de très peu d'étendue pour fixer un couple (Brosset, 1961 ; Bergier & Naurois, 1985). Plus rarement, un couple s'établit sur un arbre (Ex. Cèdre, eucalyptus ou chêne liège), dans des habitats boisés, généralement du niveau de la mer (Gorges du Kiss) aux régions les plus élevées (1600 m) (Brosset, 1961 ; Cuzin 2019). Dans le cas des habitats rupestres, l'espèce préfère nidifier sur les falaises dans les gorges et sur des parois des escarpements rocheux plus ou moins élevés, au voisinage de milieux ouverts, sur les plateaux, les collines de garrigues ouvertes, certaines zones cultivées riches en proies et qui servent de terrain de chasse (Fig.16). Ce type de configuration est commun pour la majorité des nids répertoriés dans l'Anti-Atlas occidental, dans le Massif de Lkest, Anzi, Targamaite et les falaises des montagnes donnant sur la plaine du village d'Illigh.

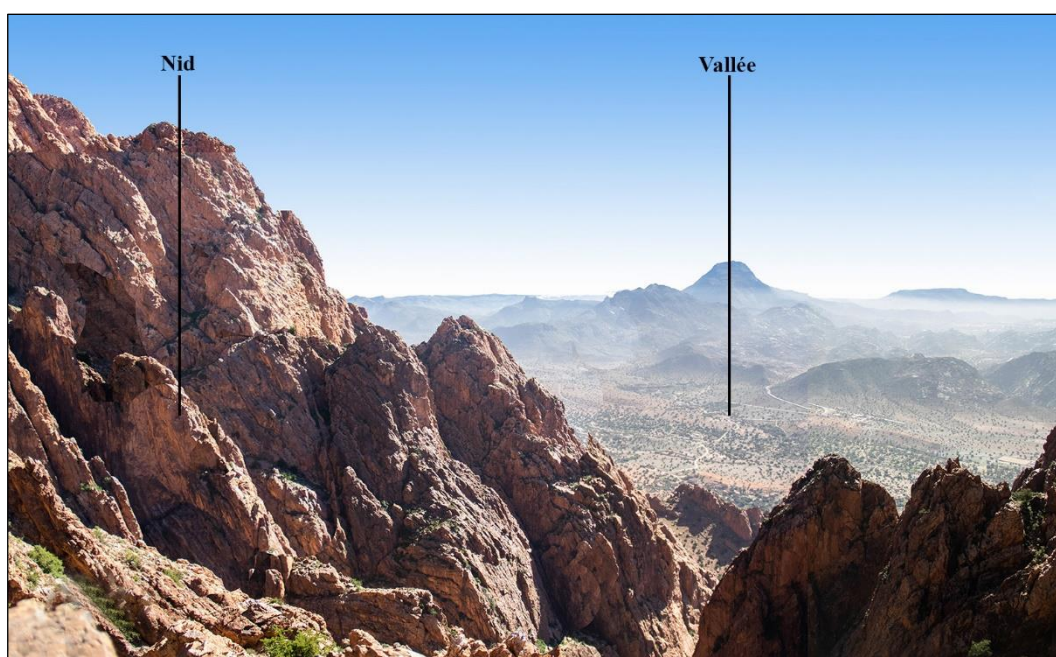


Figure 16 : Nid dans une falaise (Massif de Lkest) à proximité d'une vallée dégagée (Ammelen) pour la chasse (A. Irizi ©).

Comme d'autres rapaces, l'Aigle de Bonelli peut utiliser le même nid au cours des années de façon successive ou en alternant avec d'autres nids. L'explication de ce changement de nid chez l'Aigle de Bonelli a fait objet de plusieurs hypothèses. L'explication la plus répandue est la réduction de la charge des ectoparasites présents au nid (coléoptères (Dermestidae) et diptères (Carnidae, Calliphoridae et Phoridae)) (Ontiveros et al., 2008). L'évitement de la compétition dans le site de nidification reste aussi une explication parmi d'autres (Ontiveros et al., 2008).

Lors de notre étude on a remarqué l'utilisation de nids, parfois anciens, à proximité des habitations ou de routes assez fréquentées dans l'Anti-Atlas occidental (Fig. 17).



Figure 17 : Emplacement d'un nid d'Aigle de Bonelli à proximité d'habitations. (A. Irizi ©)

Le nid de l'Aigle de Bonelli est constitué à sa base de grosses branches ramassées directement sur le sol ou cassées (Fig.18).

Si des rares nidifications historiques dans les arbres (Cèdre, Eucalyptus, Chêne liège ou Arganier) ont été reportées (Bergier 1987) notamment dans les plantations d'eucalyptus de Souss (Marfin inéd) ou dans la subéraie de la Mamora (Meade-Waldo 1905, Jourdain 1929). De nos jours, ce type de nidification est anecdotique. Récemment un nid dans un eucalyptus à la réserve de l'embouchure d'Oued Souss a été découvert (Fig. 19). Il est important de noter que l'utilisation de ce type de nidification, par l'Aigle, et sa durabilité reflète la grande qualité du site (réserve,

site inaccessible). En Espagne, la nidification dans les arbres a connu une augmentation probablement en réponse à une diminution de la pression humaine (Arroyo et al. 1995). Exceptionnellement, il arrive que des aigles fassent leur nid sur des pylônes électriques (un seul cas en France).

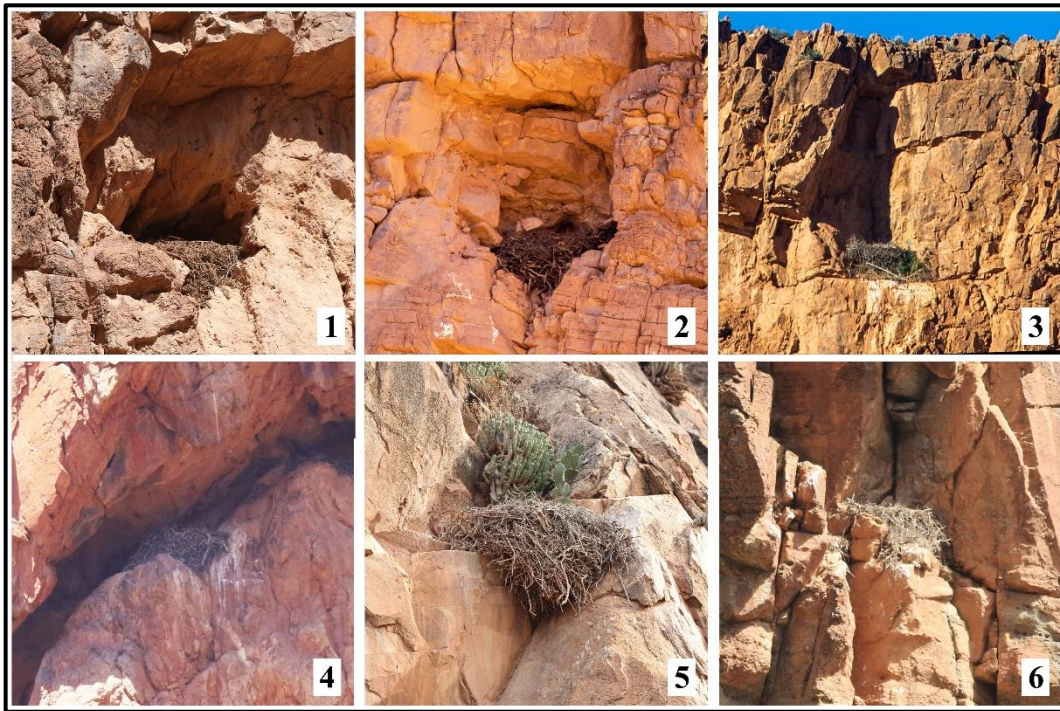


Figure 18 : Exemples de nids de l’Aigle de Bonelli dans l’Anti-Atlas occidental (A. Irizi ©)
(1,2 : Agouliz ; 3 : Toufelaz ; 4 : Anzi ; 5 : Tarssouate ; 5 : Assaka)



Figure 19 : Nid d’Aigle de Bonelli sur un eucalyptus dans l’embouchure d’Oued Souss
(Rousselon K., 2019. *Com. pers*)

Les aigles ne se perchent pas n'importe où, ni avec n'importe qui. En fonction des conditions climatiques, de la vue qu'ils offrent, de la saison, des individus, les perchoirs peuvent changer (Morvan 2007) (Fig.20). Un perchoir, à proximité de l'aire, à multiples fonctions, c'est avant tout un reposoir pour le toilettage et pour se réchauffer d'où la nécessité d'être bien exposé notamment pour recevoir les premiers rayons de soleil. Un perchoir permet aussi une surveillance du cœur de son territoire surtout du nid. (Fig. 21).

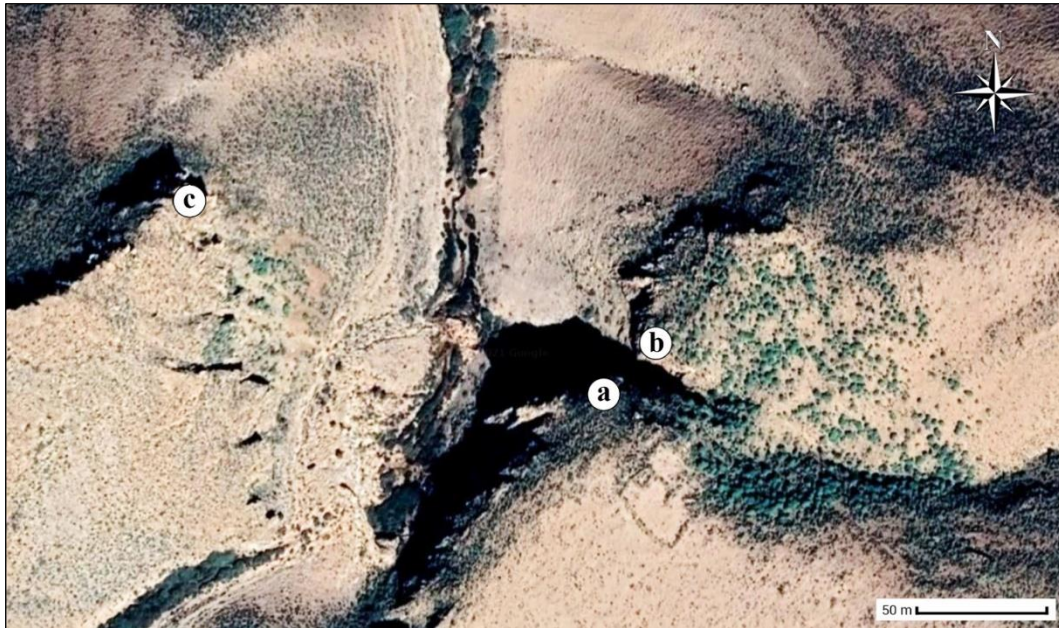


Figure 20 : Emplacements du nid (a) et de deux perchoirs utilisés par un couple (b et c). Le perchoir b qui est à 25 m du nid est utilisé souvent en couple, tandis que le perchoir, c'est, qui est situé à environ 300 m du nid, est utilisé souvent tôt le matin, mais jamais en couple. Alors que le nid, qui est exposé nord, ne reçoit jamais les rayons du soleil, les deux perchoirs bénéficient des rayons du soleil. Le perchoir « c » reçoit le premier des premiers rayons du soleil. (A. Irizi ©).

Au Maroc, les données sur la distribution des sites de nidification et sur les densités des couples nicheurs sont particulièrement rares et sporadiques. Les seules données disponibles, à cet égard, concernent le canyon du bas Draa, où la densité des couples nicheurs peut s'élever à 6 couples sur 40 à 50 Km (Heim de Balsac, 1954), et dans une zone à cheval sur les contreforts sud du Haut Atlas et les zones pré-désertiques du Tafilalet à 7 ou 8 minimum le nombre de couples présents sur 25.000 Km² (Destre, 1984) et enfin le Haut Atlas au sud de Marrakech, avec 15-30 couples la population répartie sur 8 000 Km² de (Barreau *in* Bergier, 1987).



Figure 21 : Quelques types de perchoirs d’Aigle de Bonelli (A. Irizi ©).

6.2. Accouplement, ponte, incubation et élevage

En Afrique du Nord, la reproduction a lieu de décembre à mai (Bergier et al. 1987). Les nids sont formés de branchages morts entrelacés, parfaits par quelques branchages verts et le même nid, pouvant être haut de 2 m, peut être réutilisé plusieurs années successives (Ferguson-Lees & Christie 2001).

Au Maroc, les parades commencent tôt en saison, dès le mois de décembre et les accouplements ont lieu de janvier à mars (Bergier & Naurois, 1985). Les parades nuptiales se déroulent au-dessus de l’aire de la mi-octobre à début janvier. Elles se manifestent par de longs vols aériens composés de piqués et d’acrobaties vertigineuses, que l’on appelle « vols en feston » (Morvan 2010). Lors de ces parades, le mâle réalise de longs piqués vertigineux, ailes repliées, des voltiges et des acrobaties où parfois les deux partenaires se tiennent par les serres. Ces vols de parade des Aigles, seuls ou en couples, continuent aussi pendant l’élevage des jeunes. Les couples se forment pour la vie. Ces parades se déroulent lors des conditions météo favorables (vent faible, air chaud), les heures propices pour ces parades sont en général entre 10 h et 15 h (Fig. 22).



Figure 22 : Couple d’Aigle de Bonelli en parade fin décembre 2019 à Tarssouate, Anti-Atlas occidental (A. Irizi ©)

L’Aigle de Bonelli est en général silencieux, sauf en vol de parade où il émet des sons aigus et mélodieux terminés par un sifflement assez grave. Grâce à ces parades, il est possible de minimiser considérablement le temps de recherche des sites de nidifications. D’où l’importance de choisir les bonnes dates et des conditions météorologiques favorables.

Les accouplements, qui se déroulent avant la ponte ou au tout début de la couvaison, ont lieu de janvier à mars. Il ne semble pas exister d'activité particulière qui précéderait et stimulerait ce comportement (Morvan 1985). Lors de ces accouplements, peuvent se dérouler en divers endroits, ce sont surtout des perchoirs habituels de la femelle qui sont utilisés, et la pluie n'empêche pas le déroulement de ce comportement (Morvan 1985).

D’habitude, c’est le mâle qui s’approche face à la femelle et la sollicite en baissant la tête (Buhot, 1983). Puis la femelle prend une position horizontale, qui permet au mâle de se positionner au-dessus d’elle sans la blesser par ses serres. Ils se positionnent de façon à ce que leurs cloaques entrent en contact pour que l’insémination ait lieu (PNAAB, 2013).

Les spermatozoïdes restent actifs plusieurs semaines dans les voies génitales de la femelle. Les ovules, fécondés ou non, et la coquille terminée, la ponte peut avoir lieu (Morvan, 2007).

La femelle pond 1 ou 2 œufs et occasionnellement trois œufs entre janvier-février et mars. Les œufs de l’Aigle de Bonelli sont mats de forme plus ou moins arrondie de couleur blanchâtre tachetée de brun. Les dimensions moyennes de ces œufs sont 69 X 54 mm, leur poids moyen serait de 112 g (Cramp et al. 1980 *in* Cotton, 2002). Comme chez certains rapaces, l’Aigle de Bonelli peut recourir à une nouvelle ponte lorsque les premières ont été perdues. Une observation de cette ponte de remplacement a été faite en 1989 dans les Pyrénées-Orientales (Pompidor et Cugnasse 1990 *in* Cotton, 2002).

L'incubation dure entre 38 et 42 jours, durant lesquels le mâle chasse pour elle et la relaie, en moyenne, une à deux fois par jour (Orta et al. 2013). Les œufs éclosent au début du printemps, entre mars et avril. Les Aiglons restent au nid entre 65 et 75 jours durant lesquels le mâle chasse principalement et la femelle nourrit les oisillons. À la naissance, les poussins sont couverts d'un duvet blanc. Les cires et les pattes sont de jaunes clairs (Cotton, N. 2002).

Les Aiglons restent au nid entre 65 et 75 jours durant lesquels le mâle chasse principalement et la femelle nourrit les oisillons. Le rôle de nourrissage de cette dernière s'amointrit ensuite, puisqu'elle se met rapidement à alterner des moments de repos et de chasse. Les Aiglons commencent à manger seuls dès leur 8ème semaine, mais ils sont parfois encore nourris à la becquée par les adultes, même après l'envol, qui a lieu entre fin mai et début juillet (Fig.23).

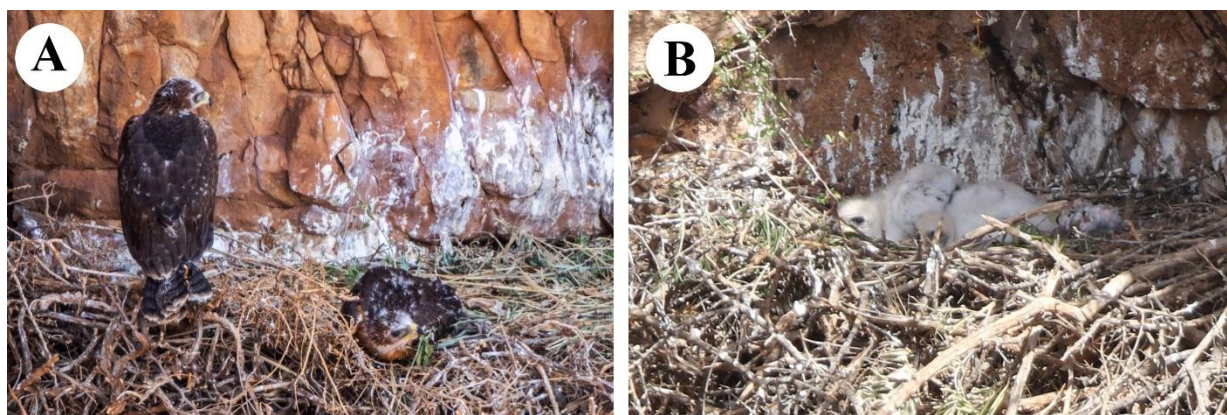


Figure 23 : A : poussins dans le nid le (12.03.2016, Tragamaite), éclosion estimée à mi-février.
B : des Aiglons d'environ 50 jours dans une aire (26.03.2016, Labiar), éclosion estimée à la première semaine de février. (A. Irizi ©)

Durant toute cette période, les Aiglons sont en permanence surveillés par les parents. Cette protection, de jour comme de nuit, concerne à la fois les prédateurs, le risque de chute, les forts rayons de soleil...etc.

À mesure que les Aiglons grandissent, les parents quittent de plus en plus fréquemment l'aire, sans cesser toutefois de veiller sur leurs jeunes et, en particulier, de continuer à leur donner la becquée pratiquement jusqu'à l'envol (Bayle et Boutin, 1985).

C'est à partir de 40 jours, en moyenne, que les Aiglons, dans le nid, commencent à s'entraîner au vol en battant des ailes. Puis, quelques jours après, les Aiglons commencent à

sauter en battant des ailes. Ces sauts se font sur place ou d'un bord du nid à l'autre (Morvan 2007).

La précipitation des Aiglons sur les proies déposées, on la couvrant des ailes, est un comportement qui présage un envol imminent (Fig.24). L'envol des Aigles de Bonelli, comme chez d'autres rapaces, peut être volontaire et impulsif ou comme souvent involontaire. Pour inciter les individus qui hésitent à prendre l'envol, l'un des parents procède à passages répétés devant l'aire alors qu'il porte une proie, mais ne la dépose pas pour inciter les Aiglons à l'envol (Cotton 2002).



Figure 24 : Deux aiglons présentent déjà le plumage roux sur leur ventre (le 21.04.2018, Tighmi) (A. Irizi ©).

Les Aiglons commencent à prendre leur envol à partir de soixante jours après la naissance. Une première période de cet envol pourrait se résumer à des déplacements au bord de l'aire. Ce n'est qu'à partir soixante-dixième jour que l'envol proprement dit se réalise (Cotton 2002).

Le rôle de nourrissage de cette dernière s'amoindrit ensuite, puisqu'elle se met rapidement à alterner des moments de repos et de chasse. Chez les rapaces, et plus communément parmi les espèces d'aigle, des cas de caïnisme ont été signalés chez plusieurs espèces de façon occasionnelle ou systématique (Meyburg 1974 in Hernández-Matías, Real, Parés, & Llacuna, 2016). Chez l'Aigle de Bonelli, ce comportement survint dans le cas d'une famine conjuguée parfois à une éclosion très asynchrone (Real 1987 in Hernández-Matías, Real, Parés, & Llacuna, 2016).).

Après leur envol, les jeunes restent sur le territoire et restent dépendants de leurs parents en ce qui concerne leur alimentation (Fig.25). L'apport de proie par les parents continue encore pour un mois à un mois et demi après l'envol (Cotton 2002).

Durant une période allant de deux à trois mois, les jeunes continuent à vivre dans le territoire de leurs parents, sans que ces derniers les en chassent.



Figure 25 : Aigle adulte (perche sur l'arbre) et un jeune de l'année (07.06.2019, Anzi). (A. Irizi ©)

Alors que l'espèce est résidente, les juvéniles quittent définitivement le domaine vital des parents pour s'émanciper, à 3-4 mois environ, entre fin août et mi-septembre et peuvent se disperser à plus de 200 km (Shirihai et al. 2000 ; Ferguson-Lees & Christie 2001). Ce départ, des juvéniles, vient clôturer une période de reproduction annuelle d'environ 6 mois (Fig.26).

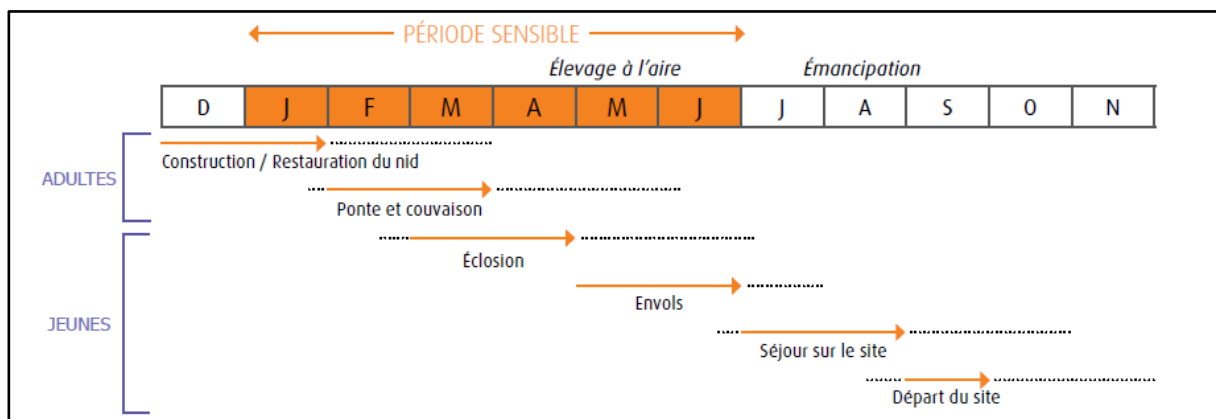


Figure 26 : Cycle annuel de l'aigle de Bonelli. (CEN L-R, 2012 in PNAAB (2013)).

6.3. Succès de la reproduction

Le succès de la reproduction ou la productivité est le nombre de jeunes envolés des nids divisés par le nombre de couples contrôlés. Au Maroc, Bergier (1987) a calculé une productivité de l'Aigle de Bonelli de 1,5 jeunes envolés par couple contrôlé (15 x 2, 13 x 1 et 1x 0 pulli). Ce dernier chiffre montre que la population marocaine d'Aigles de Bonelli est saine, puisque le nombre de jeunes produits couvre largement la mortalité (estimation de l'équilibre des populations d'Aigles de Bonelli pour une productivité de 0,95 à 1,30 jeune/couple contrôlé, Cheylan 1978) (Bergier 1987). L'actualisation des données de production de l'Aigle de Bonelli au Maroc nécessitent, tout de même, des données suffisantes et issues de plusieurs sites.

Plusieurs facteurs pouvant affecter de reproduction, à savoir la présence humaine, la végétation, le relief, facteurs climatiques, les relations intra et interspécifiques, régime alimentaire, abondance des proies, construction des nids, mortalité des adultes et âge de reproduction (Gil-Sánchez et al. 2004). Un succès de reproduction constamment élevé est du probablement à une survie élevée des adultes.

Le bon déroulement de la reproduction peut être perturbé par la présence d'Aigles royaux ou de perturbations humaines. L'interférence potentielle des Aigles royaux doit être intégrée lors de l'élaboration des stratégies de gestion des Aigles de Bonelli (Gil-Sánchez et al. 2004). Une reproduction peut être influencée négativement par la qualité et l'exposition des falaises.

Le facteur climatique agit sur le succès de reproduction et impact plus les populations se trouvant au nord de l'aire de répartition de l'espèce et où le faible succès est dû probablement aux contraintes climatiques (Ontiveros & Pleguezuelos, 2003).

7. Statut de conservation et menaces

7.1. Statut de conservation

Au niveau mondial, le statut de conservation de l'espèce est « Préoccupation mineure » (en anglais least concern, LC) (BirdLife 2021). Autrement dit, l'Aigle de Bonelli, selon ce classement, fait partie des espèces répandues et abondantes. Cependant, ce classement fait mention d'une population en baisse. Néanmoins, dans certaines zones, les effectifs de l'espèce ont chuté de plus de 50 % entre 1970 et 1990 (Ferguson-Lees & Christie 2001), et son statut varie dans les

différents pays européens, par exemple, l'espèce est classée « En Danger » (EN) en France, tandis qu'elle est classée dans la catégorie « Préoccupation mineure » en Espagne (Tab.3). Son statut varie également en Espagne en fonction des régions (Orta et al. 2013).

Au niveau de l'Europe le statut de classification de l'Aigle de Bonelli, même avec une population stable, est Quasi menacé (en anglais Near Threatened, NT) (Birdlife 2015). Ce statut alerte sur la probabilité que l'espèce peut être en danger dans un futur proche.

Tableau 3 : Quelques statuts régionaux de la classification de l'Aigle de Bonelli
(www.nationalredlist.org)

Pays	Statut régional	
France (continentale)	En danger	EN
France (Languedoc Roussillon Provence-Alpes-Côte d'Azur)	En danger critique d'extinction	CR
Italie	En danger critique d'extinction	CR
Chine	Vulnérable	VU
Grèce	Vulnérable	VU
Albanie	En danger	EN
Bulgarie	En danger critique d'extinction	CR

Au Maroc, le statut de l'Aigle de Bonelli n'a pas encore été évalué selon les critères de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation De La Nature). Un projet de classification régional de plusieurs rapaces pour l'Afrique du Nord est en cours. Ce projet, porté par l'IUCN, permettra à terme, de poser les bases des futurs plans de conservations. Un autre projet de liste rouge des oiseaux du Maroc, dont l'Aigle de Bonelli, est initié par le GREPOM-Birdlife Maroc, en 2019.

7.2. L'électrocution : la principale menace

Les lignes électriques représentent une des principales causes de mortalité non naturelle des oiseaux dans le monde. Ces lignes affectent les oiseaux, soit par l'électrocution ou par la collusion. Pas moins de 64 espèces de rapaces, à travers le monde, sont touchés par l'électrocution (Hunting, 2002 ; Lehman et al. 2007). Sur la totalité des cas de mortalité recensés de l'Aigle de Bonelli, ceux dus à l'électrocution et la collision électriques sont les plus nombreux en France (Besnard 2010) comme en Espagne (55 %) et affectent en particulier les zones de

dispersion des jeunes erratiques (Real 2001, Real & Manosa 1997 in PNAAB 2013). En effet, cette électrocution affecte aussi bien les sédentaires ou ceux en migration ou en dispersion (Ferrer, 2012 ; Bernardino et al, 2018) (Fig. 27).



Figure 27 : Un Aigle de Bonelli adulte électrocuté en pleine période de reproduction, à proximité de son site de nidification (06.01.2017, Labiar). (A. Irizi ©)

7.2.1. Différentes formes de l'électrocution des oiseaux

L'électrocution d'un oiseau se produit quand celui-ci entre simultanément en contact avec deux câbles conducteurs ou bien avec un câble conducteur et un élément de dérivation relié à la terre, tel que la structure en métal du pylône (Fig.28). Il s'en suit un court-circuit et le courant électrique traverse le corps de l'oiseau, entraînant la mort de celui-ci dans pratiquement 100 % des cas.

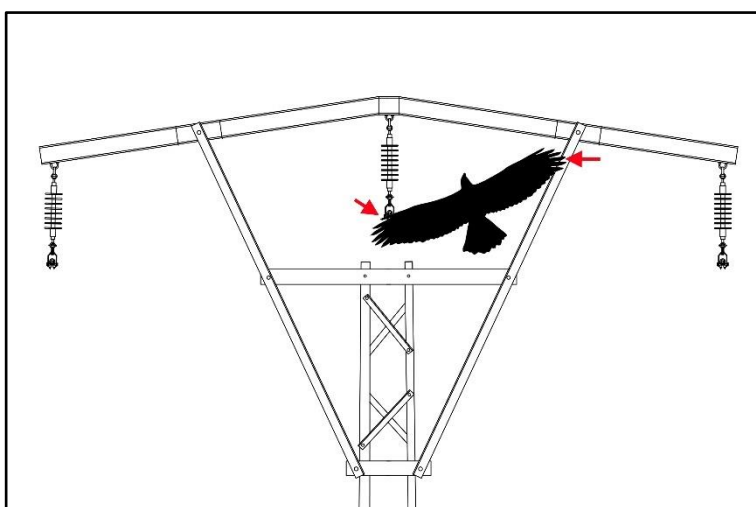


Figure 28 : Une des configurations d'électrocution d'un rapace : le bout d'un de ses ailes touche le fil électrique tandis que l'autre touche une partie du poteau métallique. (A. Irizi ©)

En détail, cette électrocution peut prendre différentes formes (Fig. 29). Si la majorité des cas d'électrocutions sont dus aux caractéristiques physiques de l'armement du pylône, deux autres types d'électrocution, plus rares, sont provoquées de façon indirecte direct avec la structure du pylône :

- L'électrocution par déjection (G): la déjection des gros oiseaux, par sa forme et son importance, devient un conducteur électrique. Cette liaison électrique, malchanceuse, est fatale à l'oiseau.
- L'électrocution par effet d'arc électrique (H) : sous certaines conditions atmosphériques, notamment en présence d'humidité, l'air qui à priori un bon isolant peut devenir un conducteur électrique. Cela provoquera l'amorcer un cour circuit entre l'oiseau et le câble électrique sans même de contact physique.

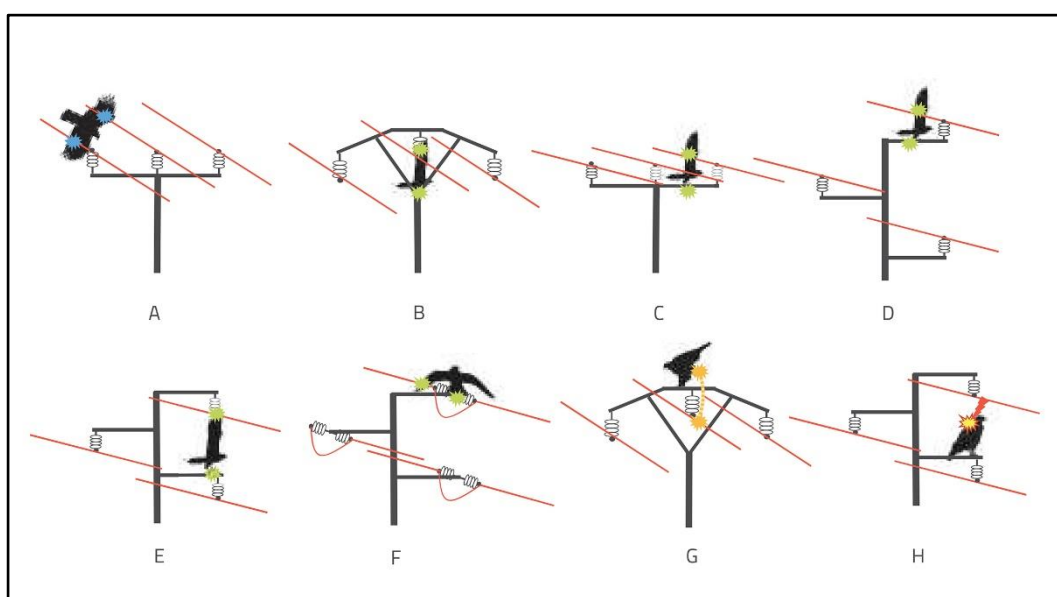


Figure 29 : Différentes configuration de l'électrocution d'un oiseau : le corps d'un oiseau touche en même temps les deux conducteurs (A) ou un conducteur et une pièce métallique (B, C, D, E et F). Plus rares sont les électrocutions par défécation (G) ou par la formation d'un arc électrique (H). (Martín Martín et al., 2019)

7.2.2. Facteurs déterminants lors de l'électrocution

Deux facteurs importants déterminent l'importance du risque d'électrocution des pylônes. Il est bien entendu qu'on parle des électrocutions des oiseaux de taille importantes.

Le premier facteur est la configuration du pylône. En effet, les caractéristiques de l'armement d'un pylône sont déterminantes lors d'une électrocution. En effet, les distances entre les différents éléments de cet armement, y compris avec les câbles électriques, font que l'oiseau est susceptible de touches deux éléments distincts et par conséquent être électrocuté (Fig. 30). Le

risque est aussi élevé pour les pylônes entièrement métallique (la traversée et le poteau). Les configurations de l'armement offrant à l'oiseau une multitude de choix pour se poser augmentent le risque d'électrocution.

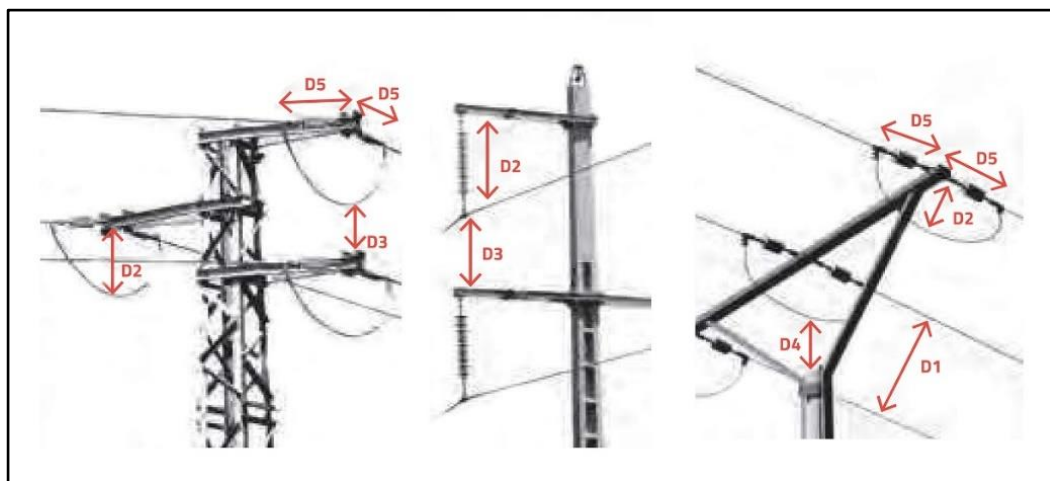


Figure 30 : Les distances critiques illustrées sur différents pylônes. (Martín Martín et al., 2019)

Ces distances critiques (D1 à D5) sont à considérer en fonction avec la taille de l'oiseau. Pour les rapaces, en prenant en compte la taille de l'espèce la plus grande susceptible de se percher sur ces pylônes, des distances minimales peuvent être déduites pour éliminer le risque d'électrocution. Pour rappel, le risque d'électrocution n'est pas présent sur les lignes de haute tension, car, justement, les distances entre les câbles électriques et différentes composantes des pylônes sont importantes.

N'ayant pas eu accès aux plans des armements des pylônes électriques utilisé par l'ONE malgré nos demandes, on a établi les dessins de certains de ces poteaux en se basant sur les photos. Des photos de ces poteaux ont été prises avec un téléobjectif, afin d'éviter l'effet de perspective, avec une référence d'échelle. Cette méthode, qui reste approximative, a permis néanmoins d'avoir une évaluation sommaire de ces types de poteaux (Fig.31).

En conclusion, beaucoup de configurations de poteaux présentent un danger pour les oiseaux de grande envergure. Au Maroc, comme d'autres pays, on utilise des types de poteaux qui sont responsables de la mortalité par électrocution de beaucoup de rapaces.

Cela dit, la classification des poteaux en termes de dangerosité est possible. En effet, les types de poteaux qui présentent un armement avec des distances critiques moindres et qui offrent aux rapaces plusieurs possibilités pour se percher sont particulièrement dangereux (Fig.32).

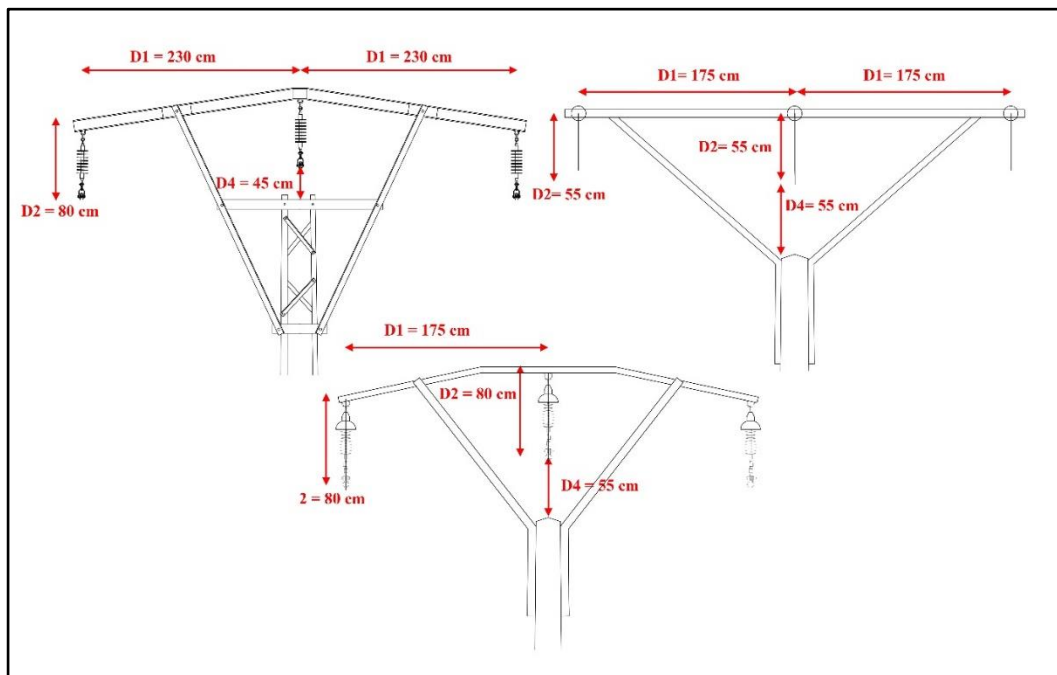


Figure 31 : Les distances réelles relevées de quelques pylônes utilisés par l'ONEE. Ces mesures sont calculées à partir de photos, vu l'impossibilité d'avoir les plans de ces armements auprès de l'ONEE. (A. Irizi ©)

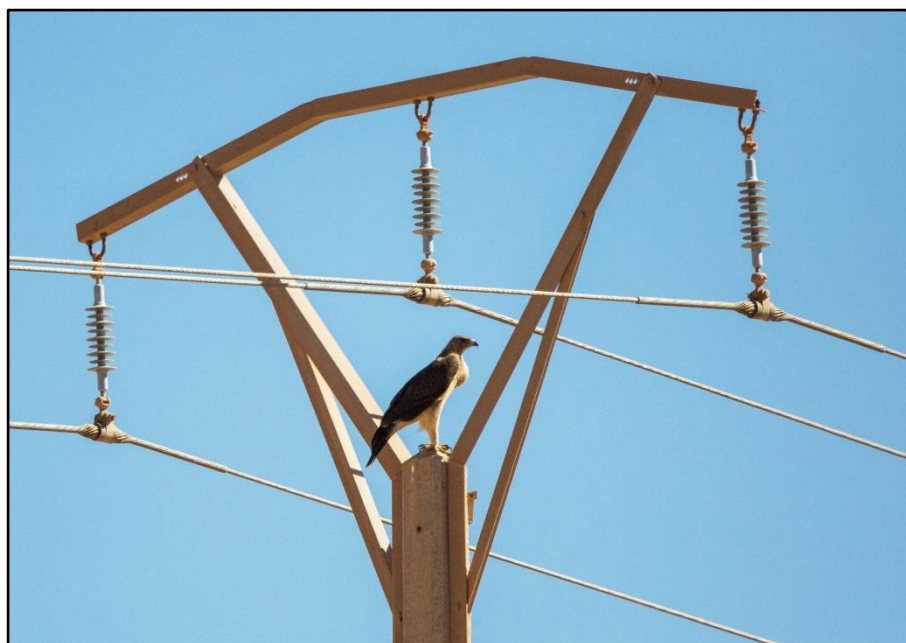


Figure 32 : Un Aigle de Bonelli juvénile perché dans un endroit de l'armement particulièrement dangereux. (A. Irizi ©)

Pour définir un seuil de dangerosité et évaluer rigoureusement les configurations des poteaux, la définition des distances critiques est nécessaire. Martín Martín (2019) dresse un tableau avec les valeurs nominales pour les différentes distances applicable au Maroc (Annexe 4).

Au Maroc, ces valeurs permettront une classification rigoureuse, en termes de dangerosité, des poteaux en cours d'utilisation par l'ONE. En revanche, ces valeurs de ces distances, prennent toutes leurs importances, lors de l'élaboration des nouvelles configurations de poteaux. En effet, le respect de ces distances produira des poteaux quasiment sans risque d'électrocution.

Le second facteur déterminant est l'attractivité du milieu dans lequel les pylônes sont implantés.

Le relief et l'environnement à proximité du pylône sont déterminants. Les rapaces ont, en général, une distance de fuite importante, ils ont tendance à se percher dans des endroits inaccessibles. En absence de relief naturel, les rapaces choisissent les poteaux qui permettent un grand champ de vision à la fois pour repérer les proies et d'être à l'abri d'éventuels dangers. Les poteaux se trouvant au sommet des collines avec une pente très prononcée offre un perchoir idéal aux aigles (Fig. 33).



Figure 33 : Exemple d'un poteau se trouvant dans un point culminant. (A. Irizi ©)

Le paysage autour de poteaux peut influencer la fréquentation de ces derniers par les aigles. Des poteaux dans un environnement dégagé avec une végétation de faible hauteur sont susceptibles d'être utilisés fréquemment par les rapaces. C'est dans ce type de paysage, à l'est de Guelmim, que le premier point d'électrocution au Maroc a été découvert (Godino et al., 2016).

La présence d'éléments particuliers, comme les points d'eau, peuvent aussi rendre les poteaux à proximité favorable à leur utilisation par les rapaces (Izquierdo et al., 1997 in Martin Martin).

Un autre paramètre est la disponibilité de nourriture. La disponibilité et l'abondance de la nourriture dans l'environnement des lignes électriques favorisent leurs utilisations (Fig. 34). C'est d'ailleurs, la principale caractéristique des zones de dispersion des juvéniles. La disponibilité de proies dans ces zones est variable et reste conditionnée, principalement, par les facteurs climatiques.

D'autres installations comme les décharges attirent aussi les oiseaux. Au Maroc, les cas d'électrocution des oiseaux à proximité des décharges concernent en premier lieux les cigognes et à moindre mesure les rapaces. Les décharges sont en général dans le périmètre urbain ce qui n'incite pas les rapaces à les fréquenter.



Figure 34 : le Rat des sable *Psammomys obesus*, constitue une des principales proies des rapaces. (A. Irizi ©)

La Météorologie, notamment la pluie, le brouillard et les vents sont des événements qui amplifient le risque d'électrocution chez les oiseaux. En effet, l'eau, sous différentes formes, constitue un conducteur qui favorise les formes d'électrocutions par l'effet d'arc électrique. La présence du vent, notamment les rafales, oblige les aigles perchés à adopter des comportements pour maintenir leur équilibre souvent en déployant leurs ailes (Martín Martín et al., 2019).

En conclusion, bien que le phénomène d'électrocution soit influencé par divers facteurs, le principal concerne les caractéristiques techniques de la ligne électrique.

De manière générale, les lignes électriques présentant le plus grand risque d'électrocution ont les caractéristiques suivantes (Mañosa, 2001 ; Ferrer, 2012) :

- Existence de pylônes avec des traverses permettant le contact de deux conducteurs avec le corps de l'oiseau ou d'un conducteur et la traverse métallique (voir point 5.2).
- Des pylônes situés sur les points élevés du terrain, offrant une grande visibilité et dans des zones de contact entre écosystèmes (écotones).
- Zones à forte densité de proies et peu de perchoirs naturels.
- Zones à forte concentration d'oiseaux : décharges, zones humides, champs récemment récoltés, etc.
- Proximité des points d'eau en saison sèche ou en zones semi-arides et arides.

DEUXIÈME PARTIE :

Matériel et méthodes

I. Présentation de la zone d'étude

1. Localisation et délimitation de la zone d'étude

L'Anti-Atlas occidental s'étend au centre-ouest du Maroc, entre l'océan Atlantique au Sud-ouest et les contreforts du Jebel Siroua au Nord-est. Il se trouve bordé au Nord par le Haut-Atlas et à l'ouest par les plaines du Souss et de Tiznit et se sépare de l'Anti-Atlas centrale d'un côté et de l'Anti-Atlas orientale de l'autre côté, par l'accident majeur de l'Anti-Atlas. Le périmètre retenu pour cette étude (Fig.35) est une vaste zone (29.715 km²) qui s'entend de la haute vallée de l'oued Souss au Nord-est (33°43'–28°30' N, 11°20'– 8°00' W) aux bordures du bas Draa au Sud-ouest (33°43'–28°30' N, 11°20'– 8°00' W). La zone d'étude se situe à cheval sur les provinces de Taroudant, Tiznit, Ifni, Tata et Guelmim.



Figure 35 : Localisation de la zone d'étude. (A. Irizi ©)

2. Le milieu physique

2.1 Éléments de géologie et de géomorphologie

L'Anti-Atlas marocain *s.l.* du cap Noun à l'ouest jusqu'au Tafilalet est un vaste relief qui s'allonge parallèlement à celui du Haut Atlas s'étend selon une direction SW-NE sur 630 km de long pour une largeur de l'ordre de 130 km. Ce vaste massif montagneux, qui se situe sur la bordure nord du craton ouest africain, est limité vers le nord par le sillon pré-africain et l'accident sud-aplasique majeur et au sud de la plaine du Souss ; un sillon subsident de 150 km de long et 30 km de plus grande largeur (Fig. 36). La zone axiale de la chaîne est formé d'un ensemble de boutonnières où affleurent des roches cristallines et métamorphiques, constituées de rhyolites, quartzites, micaschistes et granites d'âge protérozoïque et ceinturés par une épaisse série de calcaires et de dolomies constituant des hauts plateaux (Choubert, 1980 ; Michard & Hassenforder, 1987), superposé à un plissement hercynien dont le cœur des anticlinaux laisse apparaître le socle cristallin protérozoïque à la faveur de « boutonnières » (Destombes et al., 1985).

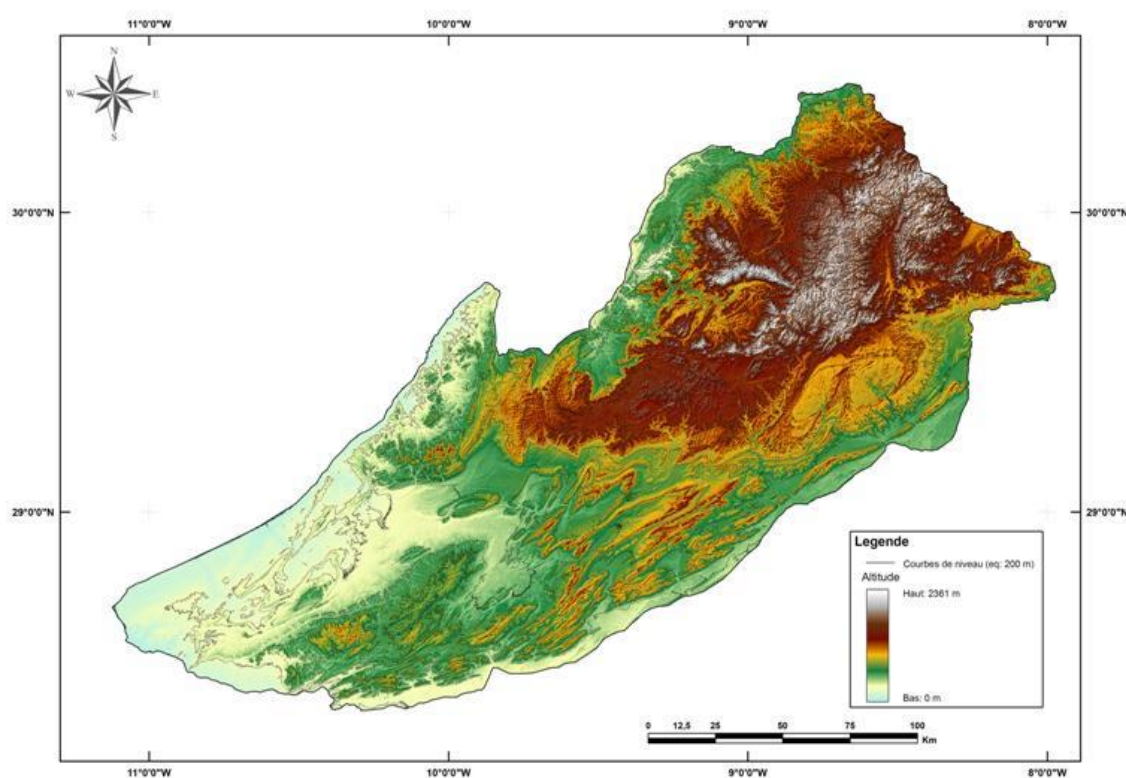


Figure 36 : Carte topographie de la zone d'étude. (A. Irizi ©)

D'un point de vue géomorphologique, l'Anti-Atlas occidental marocain se décompose en trois régions : le massif d'Ifni, le plateau de Lakhsass et les boutonnières du Tazeroualt et du Kerdous (Fig. 37). Les hauts sommets qui présentent par endroits des formes dures et variées : la

boutonnière des Ait Abdellah 2092 m; l'arc puissant de jbel Lkest 2359 m; Bou Timezguida 1250 m ; dôme du Fidoust (2200 m) et Jbet Aklim (Ighrem) 2531 m, point culminant de l'Anti-Atlas, sont ceinturés par une épaisse série de calcaires et de dolomies constituant des hauts plateaux (Boudda & Choubert, 1972 ; Schmitt, 1978;).

Le massif vallonné d'Ifni se caractérise par des croupes et des collines, dont la roche mère est masquée le plus souvent, par des manteaux d'altérité. Le littoral, long d'une centaine de kilomètres, est escarpé. Il est caractérisé par une plate-forme littorale suspendue d'une quarantaine de mètres au-dessus de la mer (charnière Tertiaire-Quaternaire, Moghrébien). Elle est continue et horizontale entre Mirleft et l'embouchure de l'oued Assaka. En revanche, dans sa partie méridionale, entre cette embouchure et Ras Takomba, elle est affectée de fractures et de basculements prouvant des rejeux tectoniques récents post-moghrébiens. Dans la boutonnière d'Ifni au SW de l'Anti-Atlas, les formations volcaniques et sédimentaires non plissées recouvrent un socle cristallin daté du Protérozoïque inférieur (Jeannette et al 1981).

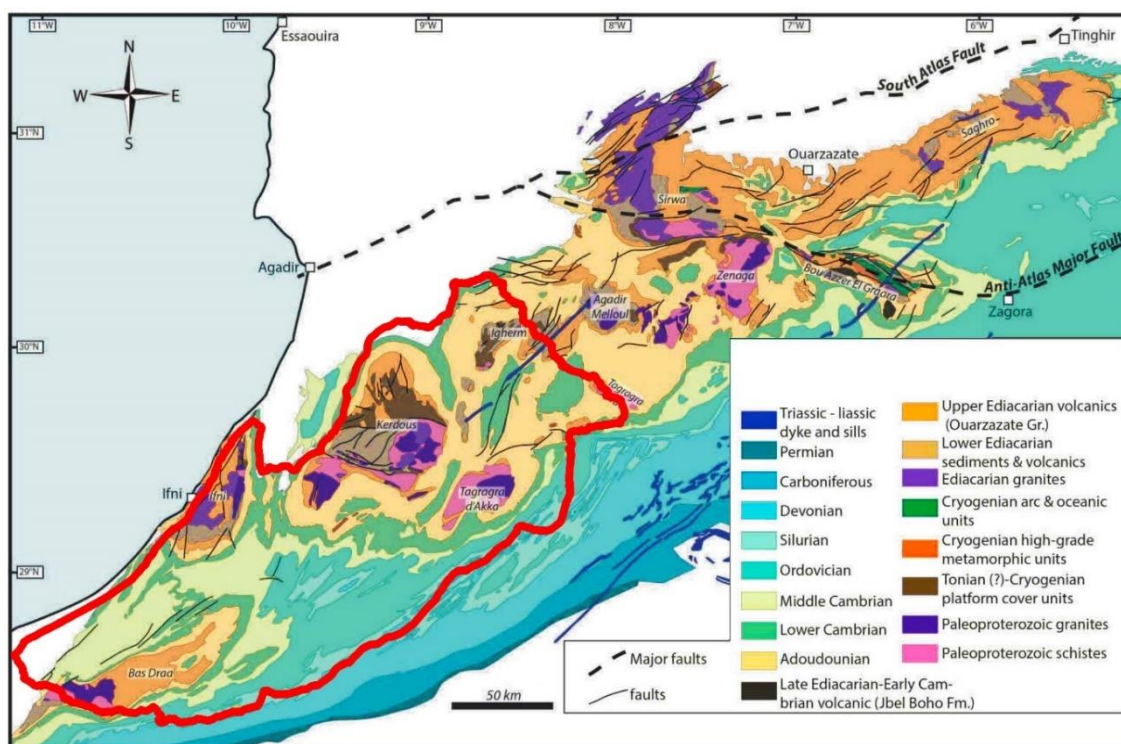


Figure 37 : Carte géologique simplifiée de l'Anti-Atlas, avec en rouge la limite de la zone d'étude (modifiée d'après Bourque 2016).

Le plateau de Lakhass est formé d'une couverture de calcaires et dolomies infra-cambrienne, en position structurale synclinale, est compris entre le socle de Kerdous et la boutonnière de Sidi Ifni. Quelques formes karstiques mineures comme les lapiez ou les collines s'observent. À partir de la bordure qui plonge sous la plaine de Souss, la surface du plateau, qui est calcaire, se relève rapidement jusqu'à une altitude avoisinante 1000 m. Ce plateau calcaire est

entaillé par des vallées d'oueds aux profils raides, orientés perpendiculairement à la zone axiale vers les piémonts (Riser 1988 ; Soulaïmani 1998).

La région de Tafraout, qui fait partie de la boutonnière précambrienne du Kerdous, au Sud-ouest de l'Anti-Atlas est limitée au Nord, par Jebel Lkest, à l'Est par Jebel Ouhran et par le plateau de Lakhssas à l'Ouest. La topographie complexe de la région est caractérisée par des montagnes et des plateaux traversés par des oueds et des vallées dont les plus connus sont celles d'Ameln et d'Ait Mansour. Les montagnes, formées de roches métamorphiques et granitiques, s'élèvent à une altitude moyenne de 1 200 m, sauf pour Jebel Lkest qui culmine à environ 2 359 m (M'Barki et al. 2017).

Le secteur de Bouizakarn-Oued Noun et le versant saharien de l'Anti-Atlas occidental sont constitués par un ensemble de reliefs lourds, quartzitiques, schisteux et calcaires, qui, enserrent des plaines, est modérément plissé (Bani monoclinale) est ponctué de nombreuses cuvettes qui abritent des oasis (Taghajijt, Akka, Tata, ...).

2.2. Situation climatique

L'Anti-Atlas occidental marocain se caractérise, globalement par climat à prédominance méditerranéenne semi-aride, aride à hiver froid sur les sommets d'Igherm et à hiver frais à Jbel Lkest au présaharien à hiver chaud dans les régions de Sidi Ifni et Guelmim et hyper-aride supérieur à hivers doux dans la région de Tata. Le caractère semi-aride est atténué par la proximité de l'Océan et l'influence du courant froid des Canaries ainsi par la protection contre les vents du Sud, assurée par l'Anti-Atlas (CSEC, 2001).

2.2.1. Précipitations

Les précipitations sur la région d'étude présentent une grande variabilité spatiale et temporelle. Les précipitations moyennes annuelles se répartissent comme suit :

- Les plus hauts sommets du Kerdous (jbel Lkest 2374 m; Ighchène 2041 m; Mkorn 2340 m) qui reçoivent un maximum de précipitations (estimées à 600 mm au Lkest) et de nébulosité liées aux perturbations océaniques influencées par l'oscillation nord atlantique (Delannoy 1988).
- La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 120 mm à Guelmim, mais avec une irrégularité très importante variant entre 15 mm et 300 mm (station météorologique de Sidi Ifni).
- Le massif d'Ifni reçoit des précipitations annuelles moyennes d'environ 168 mm (le Houérou 1995) à 150 mm (station météorologique de Sidi Ifni), auxquelles il faut ajouter des précipitations occultes liées aux brouillards fréquents qui voilent le littoral sur 5 à 10

km de largeur. Ces brouillards ont pour origine les températures fraîches de l'océan à cause du courant des Canaries favorisant la condensation des basses couches atmosphériques au contact de la mer. Par ailleurs, ce climat est fortement influencé par l'alizé maritime : forte humidité de l'air, nébulosité appréciable, températures modérées et amplitudes thermiques diurnes et annuelles faibles.

- Bouizakarn-Oued Noun reçoit des précipitations de l'ordre d'une centaine de millimètres annuels. La relative pluviosité de la région, associée à la faible évaporation, a permis l'installation de populations sédentaires qui cultivent de vastes bas-fonds en année humide.

2.2.2. Température

Les températures moyennes annuelles sont très variables, selon la saison, la continentalité et l'altitude. La température journalière moyenne des mois les plus chauds varie de 24,1 °C dans la localité de Sidi Ifni à 43,3 °C à Tata. La moyenne des minima du mois le plus froid est descend jusqu'à -0,3 °C dans le massif d'Ighrem. Les amplitudes thermiques sont également très variables et peuvent atteindre 38 °C dans le versant saharien de l'Anti-Atlas occidental (région de Tata par exemple). (Tab. 4)

Tableau 4 : Caractéristiques climatiques et bioclimat de quelques stations de l'Anti-Atlas occidental marocain selon Le Houérou (1995). (M = moyenne des maxima quotidiens du mois le plus chaud ; m = moyenne des minima quotidiens du mois le plus froid).

Station climatique	Alt. (m)	P (mm)	M (°C)	M (°C)	M-m (°C)	Bioclimat
Aït-Abdallah	1750	167	36°5	0°	36°5	Aride moyen à hivers frais
Igherm	1750	186	32°8	-0°3	33°1	Aride moyen à hivers froid
Tafraout	1050	192	38°	2°	36°	Aride inférieur à hivers frais
Tiznit	900	100	43.3	5°8	35°5	Hyper-aride supérieur à hiver doux
Tata	900	100	43°3	5°8	37°5	Hyper aride supérieur à hivers doux
Guelmim	300	132	35°4	6°5	28°9	Aride inférieur à hivers très chauds
Sidi Ifni	66	168	24°1	11°9	12°1	Aride inférieur à hivers très chauds

2.2.3. Évaporation

L'évaporation moyenne annuelle varie entre 1400 mm en montagne et près de la côte Atlantique, et 2000 mm en plaine. Le minimum est enregistré au mois de janvier avec en moyenne 35 mm en montagne et 100 mm en plaine, tandis que le maximum est enregistré en juillet avec en moyenne 240 mm en montagne et 270 mm en plaine (CSEC, 2001).

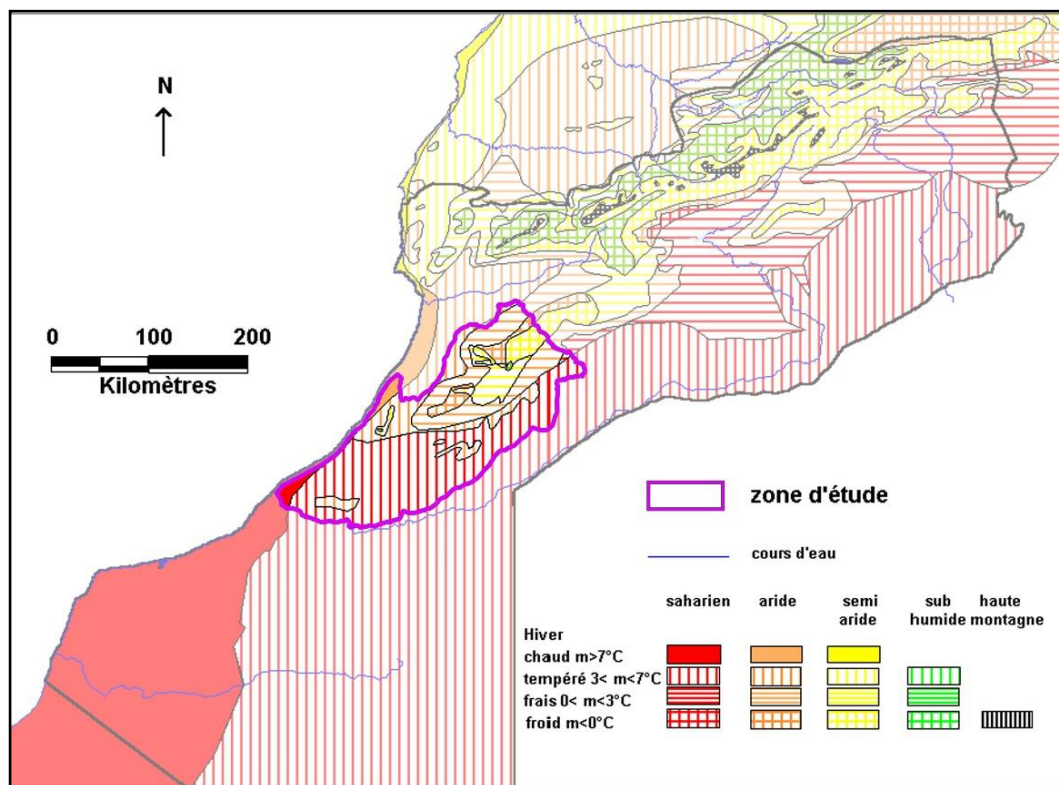
2.2.4. Vent

La région est relativement ventée. Les vents réguliers du nord-nord-est dominants en dehors de la période estivale. Les alizés sont très fréquents de mars à septembre, mais d'autres peuvent s'établir : temps anticyclonique à influence continentale chaud avec parfois des vagues de chaleur, temps perturbé lié plus ou moins directement au front polaire, mais qui ne suscite que des pluies faibles (Riser 1996). Par ailleurs, des vents d'Est chauds, communément appelés Chergui, peuvent souffler en été et en automne. La vitesse moyenne annuelle du vent est de l'ordre de 3km/h en montagne et 5km/h en plaine. Elle peut atteindre au piémont des montagnes près de 8km/h (CSEC, 2001).

3. Étages bioclimatiques et Biodiversité

3.1. Végétation

Les étages bioclimatiques dans l'Anti-Atlas marocain se classent en fonction de l'éloignement par rapport à l'océan, de la latitude et de l'altitude, allant de l'infra-méditerranéen, méso-méditerranéen au thermo- méditerranéen (Fig. 38). L'étage saharien à hivers tempérés (la moyenne des maximums du mois le plus froid compris entre 3 et 7°) se rencontre dans les plaines méridionales et les plateaux intra-montagnardes, l'étage aride à hivers frais sur les contreforts des massifs montagneux dans la région de Tafraout ($0^{\circ} < m < 3^{\circ}$). La haute montagne seule se localise dans l'étage semi-aride à hivers froids dans le massif d'Ighrem ($m \leq 0^{\circ}$). Dans le Kerdous, un bioclimat subhumide inférieur frais et le mésoméditerranéen.



Figures 38 : Carte bioclimatique de l'Anti-Atlas occidental (d'après Sauvage 1963 in Cuzin 2003, modifiée)

Globalement, l'Anti-Atlas occidental marocain se caractérise par des structures de végétation constituées à la fois par des éléments de souche méditerranéenne, saharienne et tropicale qui cohabitent en fonction des conditions climatiques. Dans le massif d'Ifni, la forêt de *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* se situe en bioclimat semi-aride supérieur et dans l'horizon supérieur du thermoméditerranéen. Le secteur qui abrite les espèces crassuléscentes et aphyllés appartient à l'aride moyen chaud (Tiznit), à l'aride inférieur très chaud (Sidi-Ifni et Tan-Tan) et à l'hyper aride (= saharien). L'originalité du secteur tient à la présence du genre endémique *Argania*, d'éléments succulents, de *Quercus ilex* subsp. *rotundifolia* (qui trouve ici sa limite méridionale absolue au Maroc), d'un développement spectaculaire de la steppe à *Artemisia inculta* (qui annonce un domaine plus interne), d'une flore saharienne (sur le revers méridional) et de nombreuses endémiques. Le passage à la végétation saharienne se situe au nord du Jebel Bani et correspond à l'isohyète des 100 mm. Toutes ces végétations se caractérisent par leur extrême dégradation, à l'origine souvent d'une uniformisation des paysages rendant difficile la reconnaissance des différents bioclimats. (Msanda et al 2002).

Les formations steppiques méditerranéennes apparaissent dans l'Anti-Atlas. Elles sont liées aux bioclimats aride et semi-aride et annoncent toujours des situations plus continentales : hauts plateaux à l'est du Kerdous, retombée sud de l'Anti-Atlas, bassins intra-montagneux. Ces

steppes, constituées surtout d'armoïse blanche *Artemisia inculta*, sont caractérisées par la présence de vestiges forestiers, ce qui pose le problème de leur signification. Si dans bien des endroits elles sont à déterminisme xérique (steppes primitives), il ne fait aucun doute qu'elles ont aussi remplacé (steppes secondaires), sous l'action du défrichement et du surpâturage, des forêts présteppiques, comme celle à *Juniperus phoenicea* et *Buxus balearica* des Aît-Abdallah. L'arganeraie à *Euphorbia echinus* est la formation la mieux représentée (plateaux bordiers du Kerdous, massifs de Lakhsass et d'Ifni). C'est dans le massif d'Ifni que la formation est la plus originale avec la présence de l'euphorbe du Roi Juba. Nulle part ailleurs au Maroc, *Euphorbia obtusifolia* ssp. *regis-jubae* n'atteint pas une telle étendue, une telle densité donnant au paysage un cachet tropical indéniable. La formation abrite aussi de nombreux éléments halophiles, souvent endémiques (*Suaeda ifniensis*, *Salsola longifolia*, *Traganum moquinii*, *Asparagus pastorianus*, *Artemisia reptans*, etc.) et les falaises portent des espèces rares (*Hibiscus micranthus*, par exemple) (Peltier 1982 ; Msanda et al. 2002 ; Msanda et al. 2005). L'originalité de la montagne exposée aux perturbations atlantiques est tout aussi exceptionnelle. C'est dans les jbel's qui dominent Sidi-Ifni, et à partir de 900 m d'altitude, que *Quercus ilex* ssp. *Rotundifolia* trouve sa limite méridionale absolue au Maroc. On le rencontre aussi sur les plus hauts sommets du Kerdous qui reçoivent un maximum de précipitations et de nébulosité. Ces montagnes se caractérisent par le développement spectaculaire des matorrals à lav&es (*Lavandula dentata* et *L. pedunculata*), cistes (*Cistus villosus* et *C. salviiifolius*) et cytise (*Teline segonnei* endémique du Kerdous et du massif d'Ifni). Les matorrals doivent leur extension à la disparition de la forêt qui a été volontairement coupée par l'homme (Msanda et al.2002).

3.2. Faune

L'Anti-Atlas occidental abrite une faune de vertébrés riche et variée (Fig. 39). Le peuplement d'oiseaux terrestres est très diversifié, pour ne citer que la Buse féroce, Faucon crécerelle, Courvite isabelle, Chevêche d'Athéna, Ganga unibande, Cochevis de Thékla, Rougequeue de Moussier, Traquet à tête grise, Traquet du désert et Pie-grièche méridionale, Roselin githagine et la Perdrix gambra. L'Elanion blanc a récemment colonisé le secteur sud-ouest et des lâchers d'Outardes houbaras nées en captivité y ont été entrepris. À proximité de l'Atlantique, les cultures d'orge abritent l'Alouette calandrelle. La brousse à euphorbes n'est pas réputée pour la richesse de son avifaune... S'y reproduisent Chevêche d'Athéna, Cochevis de Thékla, Traquets oreillard et à tête grise, Pie bavarde. Ce milieu est largement utilisé par la Fauvette mélanocéphale en migration et hivernage.

La richesse du secteur est également attestée par plusieurs espèces de mammifères et plus de 48 espèces de reptiles et amphibiens qui y ont été dénombrées, soit près de la moitié des espèces

recensées au Maroc ; il s'agit d'un des secteurs les plus riches du Maroc et de toute l'Afrique du Nord.

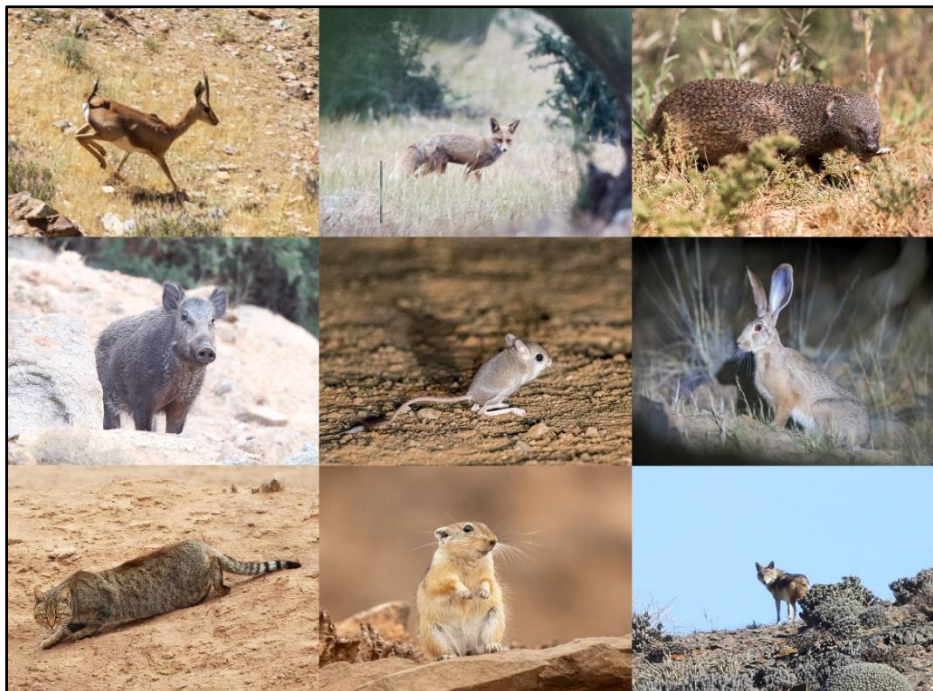


Figure 39 : Quelques mammifères de l'Anti-Atlas occidental. (de gauche à droite et de haut en bas) : la Gazelle de Cuvier (*Gazella cuvieri*) ; le Renard roux (*Vulpes vulpes*) ; la Mangouste ichneumon (*Herpestes ichneumon*) ; le Sanglier (*Sus scrofa*) ; la Petite gerboise d'Egypte (*Jaculus jaculus*) ; le lièvre (*Lepus capensis*) ; le chat sauvage (*Felis silvestris*) ; le Rat des sable (*Psammomys obesus*) et Le Loup Africain (*Canis anthus*). (A. Irizi ©)

II. Méthodologie

1. Identification des territoires de nidification et abondance de l'espèce

Pour la collecte de données, il était important d'avoir des concepts clairs et de ne pas confondre des termes liés à l'occupation (présence/absence) avec d'autres concepts liés à reproduction (domaine vital, territoires de reproduction et sites de nidification). Nous avons considéré que le domaine vital d'un couple est la zone exploitée au cours de l'accomplissement du cycle biologique annuel ; il englobe les sites de nidification et des zones de prédation (Ferguson-Lees et Christie 2001). Un territoire de reproduction est synonyme de domaine vital alors que le site de nidification est l'emplacement spécifique (généralement pour plusieurs années successives) d'un nid. La preuve de l'occupation d'un territoire de reproduction ou un site de nidification est établi par une (ou plusieurs preuves) de territorialité suivante : sois en y observant un comportement typique de parade nuptiale, un adulte observé au nid ou à proximité (avec des traces de fientes récentes) et plusieurs observations de comportement de la défense du territoire.

Un nid actif est établi s'il contient un ou plusieurs, une copulation, posture d'incubation, activité d'élevage de poussins ou un jeune en plumage immature observé au nid ou à proximité (Carrete et al., 2001).

Au cours de cette étude, les zones accessibles ont été prospectées, à la recherche d'indices de nidification, au moins une fois pendant la saison de reproduction (de février à juillet), durant les années 2016, 2017 et 2018, en conduisant le long des routes principales et secondaires, ou par des prospections à pied (Fig. 40). De plus, nous avons exploité des informations collectées, sur la présence/absence de nids de rapaces et leur localisation, auprès de villageois, nomades et bergers. De telles informations ont été criblées et vérifiées *in-situ*.



Figure 40 : Prospection d'une falaise à l'aide des jumelles et de la longue-vue pour détecter d'éventuelles nidifications. (A. Irizi ©)

3. Les caractéristiques physiques des falaises de nidification

Au niveau de chaque territoire de nidification suspecté, les falaises ont été scannées à la recherche de nids actifs, avec des jumelles (8-10 x) et un télescope Leica Televid (20 - 60 x), à distance, pour éviter de déranger les aigles (Carrete et al., 2001) (Fig. 38). Au cours de chaque saison de reproduction, les falaises de nidification ont été visitées, au moins deux fois pendant la période d'étude, pour vérifier si les nids sont utilisés par l'espèce. Pour chaque nid actif repéré, nous avons mesuré les paramètres physiques suivants : accessibilité, altitude, hauteur de la falaise, distance nid/sol, distance sommet de la falaise / nid, distance entre sommets de la falaise et le sommet de montagne, distance entre le sol et sommet de montagne et orientation de la falaise, degré du surplomb du nid.

Chaque nid actif est géoréférencé à l'aide d'un système de positionnement global (GPS) (Garmin Modèle GPS map 60Cx ; Garmin International, Olathe, KS, USA.), et plusieurs photos du nid (pour établir une typologie des nids) et de l'habitat ont prises. Dans la mesure du possible, le nombre d'œufs et de poussins ont été notés (ces dernières données ne sont pas rapportées ici.).

3. Étude préliminaire du régime alimentaire

Après avoir récolté 18 pelotes de réjection en bas de nids, dans la zone Bou Issafen (au Sud de Guelmim). Elles ont été transportées au laboratoire et mises dans des boîtes de Pétri, puis desséchées dans une étuve à 60 °C durant 24 h. Les pelotes ont été pesées et mesurées (longueur, largeur), par la suite, elles ont été macérées dans une boîte de pétri en verre contenant un peu d'eau pendant quelques minutes, puis disséqué à l'aide de pincettes. Les éléments osseux et les fragments arthropodes des autres parties (poils et plumes) ont été récupérés et déterminés (Fig. 41). Pour la détermination des espèces proies, on utilise une loupe binoculaire, et du papier millimétré pour la mensuration de la taille des fragments des arthropodes et des ossements des vertèbres trouvés dans la pelote, afin de faire les comparaisons avec les clés d'identifications

De plus, des observations directes à l'intérieur des nids et celles des Aigles de Bonelli emportant leurs proies, en vol ou à ont été notées (Fig. 42).



Figure 41 : Dissection d'une pelote de réjection de l'Aigle de Bonelli (A. Irizi ©)



Figure 42 : Trois fouet-queues déviscérés dans un nid de l'Aigle de Bonelli dans la zone d'Amtoudi (l'Anti-Atlas occidental, Maroc) (A. Irizi ©)

4. Étude des facteurs de menace

4. 1. L'électrocution

De prospections opportunistes et non randomisées, à la recherche de cadavres ou de trace d'électrocution, ont été menées dans le Sud-ouest de Guelmim. Cette région a été identifiée comme ayant une occurrence inhabituellement élevée d'électrocutions de rapaces au Maroc (Amezian et al. 2015). Dans la zone d'étude, deux lignes électriques de distribution (lignes électriques A & B) de moyenne tension ont été échantillonnées durant la période avril 2016 à janvier 2020. La ligne A s'étend sur 27,7 km et relie la route nationale R1 ($28^{\circ}48'28.9''\text{N}$ $10^{\circ}24'26.9''\text{W}$) et la zone de la "plage blanche" ($28^{\circ}57'53.0''\text{N}$ $10^{\circ}35'38.2''\text{W}$), à 50 km au sud-ouest de Guelmim. La ligne B s'étend sur 25,8 km et relie le village d'El Fowja ($28^{\circ}52'54.7''\text{N}$ $10^{\circ}30'30.7''\text{W}$) et la ligne électrique A au village d'Aïn Rahma dans la vallée de Bou-Issafen ($28^{\circ}52'44.3''\text{N}$ $10^{\circ}30'23.7''\text{W}$). Les deux lignes électriques, qui traversent des paysages ouverts, vallonnés et steppiques, sont en service depuis 2001 et 2005, respectivement.

Lors de chaque visite, toute la longueur de la ligne électrique a été prospectée à pied, sauf lorsque la route était immédiatement adjacente à une ligne électrique (Fig.43). Dans ce cas, nous avons parcouru la distance entre les poteaux et nous nous sommes arrêtés pour inspecter le sol

sous chaque poteau. Chaque poteau échantillonné est géo- référencé (latitude/longitude) à l'aide d'un récepteur GPS Garmin (Modèle GPS map 60Cx ; Garmin International, Olathe, KS, USA), le type de poteau (béton ou métal) et la configuration de l'armement au sommet du pylône sont notés sur une fiche de terrain. Au niveau de chaque poteau électrique, un rayon de 10 mètres a été examiné à la recherche de preuves d'électrocution (Janss 1999), et ce rayon de recherche peut être élargi en fonction de la topographie, tandis que les oiseaux trouvés sous un couloir de 10 à 15 mètres de large de part et d'autre de la ligne électrique ont été considérés comme des collisions suspectes (Bevanger 1999 ; Janss 1999). En cas de végétation dense ou de pente autour du pylône, une recherche minutieuse est effectuée, sur un rayon plus large. Pour chaque carcasse trouvée, les indices de mortalité par électrocution sont notés :

- La forme du cadavre : forme dite « goutte d'eau » avec les ailes et les serres pliées sur le corps (Fig.44).
- Les traces de brûlures dans les extrémités des ailes, pattes,
- La position de chute de l'oiseau : la mort étant, en général instantanée, l'oiseau, mort, chute du haut de poteau et tombe sur le dos.



Figure 43 : Prospection à pied le long d'une ligne électrique (2016) (A. Irizi ©).



Figure 44 : Photo illustrant la forme particulière d'un oiseau électrocuté. Il s'agit, ici, d'un Aigle de Bonelli juvénile 2016 (A. Irizi ©).

Pour les oiseaux qui présentent un état de décomposition avancé, quelques signes d'électrocution peuvent encore être exploités notamment la position de l'oiseau sur le sol. Un état plus ou moins avancé de décomposition permettra une datation approximative de la mort de l'oiseau (examen visuel et type d'insectes nécrophages présent sur le cadavre). L'identification de l'espèce reste possible même à partir des restes d'ossements, comme le crâne ou d'autres parties particulières du squelette.

Nous avons classé les pylônes surveillés (n=323) en fonction de 4 variables techniques (conductivité, conducteurs, éléments techniques et configuration) (Tintó et al. 2010). Ensuite, nous avons calculé le pourcentage (carcasses/pylône) pour chaque catégorie de chaque variable et pour tous les pylônes surveillés.

4. 2. Les autres facteurs de menaces

La collecte des informations sur les autres facteurs de menaces de l'aigle de Bonelli et des autres rapaces était opportuniste, sans méthodologie précise. Lors des différentes prospections sur le terrain, nous avons procédé à des enquêtes auprès de les villageois, bergers et guides de terrain, au sujet des facteurs de mortalité des rapaces. Nous avons également obtenu des données par observations directes ou en consultant les pages des réseaux sociaux.

TROISIÈME PARTIE :

Résultats Et Discussion

I - Territoires de nidification et abondance de l'espèce

Chapitre 1 :

Distribution spatiale et territoires de reproduction de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* dans les montagnes de l'Anti-Atlas occidental, Maroc

Spatial distribution and breeding territories of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata*, in
the western Anti-Atlas Mountains, Morocco

(Ostrich- African journal of ornithology- 2019)

Résumé :

En Afrique du Nord, l'aire de répartition de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* (Vieillot, 1822) s'étend jusqu'aux zones limitrophes nord du Sahara. Ce travail rapporte les premières données sur la répartition et la densité des Aigles de Bonelli reproducteurs au sud-ouest du Maroc, à la limite sud de leur aire de nidification dans le Paléarctique occidental. Nous avons effectué un échantillonnage à grande échelle afin d'identifier les territoires de nidification de l'Aigle de Bonelli et leur distribution spatiale, sur une aire d'environ 29 715 km² dans les montagnes de l'Anti-Atlas occidental au sud-ouest du Maroc, durant la période 2016–2018. Nous avons repéré 28 territoires de nidification accueillant 40 nids utilisés par l'espèce, répartis de manière hétérogène dans des zones à forte variation topographique, allant de 60 à 1 890 m d'altitude. La distance moyenne entre nids voisins les plus proches est de $14,12 \pm 9,90$ km et varie de 2,65 km au nord-ouest à 37,80 km dans les zones présahariennes au sud-ouest de la zone d'étude. Ces résultats montrent l'importance de l'Anti-Atlas occidental en tant que l'un des plus importants bastions de l'espèce au Maroc. Cependant, des analyses systématiques des différents facteurs affectant la répartition de l'espèce restent nécessaires pour mettre en œuvre des actions de conservation de cette population périphérique.



Ostrich

Journal of African Ornithology

ISSN: 0030-6525 (Print) 1727-947X (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tost20>

Spatial distribution and breeding territories of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in the western Anti-Atlas Mountains, Morocco

Ali Irizi, Mohamed Aourir, Mohammed Znari, Mohamed Aziz El Agbani & Abdeljebbar Qninba

To cite this article: Ali Irizi, Mohamed Aourir, Mohammed Znari, Mohamed Aziz El Agbani & Abdeljebbar Qninba (2019): Spatial distribution and breeding territories of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in the western Anti-Atlas Mountains, Morocco, Ostrich, DOI: 10.2989/00306525.2019.1625456

To link to this article: <https://doi.org/10.2989/00306525.2019.1625456>



Published online: 10 Sep 2019.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tost20>

Spatial distribution and breeding territories of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in the western Anti-Atlas Mountains, Morocco

Ali Irizi¹, Mohamed Aourir^{2*} , Mohammed Znari³ , Mohamed Aziz El Agbani¹ and Abdeljebbar Qninba¹

¹ Département de Zoologie et Ecologie Animale, Institut Scientifique, Mohammed V University, Rabat, Morocco

² Laboratory « Biodiversité et fonctionnement des écosystèmes », Department of Biology, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco

³ Laboratoire « Biodiversité et Dynamique des Ecosystèmes », Faculté des Sciences – Semlalia, Cadi Ayyad University, Marrakech, Morocco

* Corresponding author, email: maourir@gmail.com

The North African population of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* (Vieillot, 1822) is limited to the south by the northern fringe of the Sahara Desert. This study provides the first data on the spatial distribution and density of breeding Bonelli's Eagles in south-west Morocco, at the southern limit of their breeding distribution in the Western Palearctic. We used broad-scale sampling to investigate spatial patterns in occupancy of territorial pairs of Bonelli's Eagles in an area of ~29 715 km² in the western Anti-Atlas Mountains, southern Morocco, during 2016–2018. We found 28 nesting territories containing 40 used nests, heterogeneously distributed in areas of high topographic variation, from 60 to 1 890 m asl. The average nearest-neighbour nest distance was 14.12 ± 9.90 km and varied from 2.65 km in the north-west to 37.80 km in the pre-Saharan lands in the south-west portion of the study area. This work shows the importance of the western Anti-Atlas Mountains as one of the most significant strongholds of the species in Morocco. However, there is a need for systematic analyses of the different factors affecting the distribution of the species to implement conservation actions of this peripheral population.

Distribution spatiale et territoires de reproduction de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* dans les montagnes de l'Anti-Atlas occidental, Maroc

En Afrique du nord, l'aire de répartition de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* (Vieillot, 1822) s'étend jusqu'aux zones limitrophes nord du Sahara. Ce travail rapporte les premières données sur la répartition et la densité des Aigles de Bonelli reproducteurs au sud-ouest du Maroc, à la limite sud de leur aire de nidification dans le Paléarctique occidental. Nous avons effectué un échantillonnage à grande échelle afin d'identifier les territoires de nidification de l'Aigle de Bonelli et leur distribution spatiale, sur une aire d'environ 29 715 km² dans les montagnes de l'Anti-Atlas occidental au sud-ouest du Maroc, durant la période 2016–2018. Nous avons repéré 28 territoires de nidification accueillant 40 nids utilisés par l'espèce, répartis de manière hétérogène dans des zones à forte variation topographique, allant de 60 à 1 890 m d'altitude. La distance moyenne entre nids voisins les plus proches est de $14,12 \pm 9,90$ km et varie de 2,65 km au nord-ouest à 37,80 km dans les zones présahariennes au sud-ouest de la zone d'étude. Ces résultats montrent l'importance de l'Anti-Atlas occidental en tant que l'un des plus importants bastions de l'espèce au Maroc. Cependant, des analyses systématiques des différents facteurs affectant la répartition de l'espèce restent nécessaires pour mettre en œuvre des actions de conservation de cette population périphérique.

Keywords: Anti-Atlas Mountains, *Aquila fasciata*, density, Morocco, nesting territories, spatial distribution

Introduction

Knowledge of species distribution patterns is a major topic in spatial ecology studies (Newton 1979; Martin 2001), focusing on how environmental factors may influence the spatial distribution and abundance of animal populations (Rahbek et al. 2007). The availability of suitable nesting habitats can limit the abundance of certain bird species groups, such as raptors (Newton 1979). Thus, information concerning used habitats is fundamental for the management of their populations (Mosher et al. 1987). In addition, basic knowledge about the population size, spatial distribution patterns and habitat preferences are crucial to

implement conservation actions for threatened raptors (Real and Mañosa 1997; Carrete et al. 2005).

Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* (Vieillot 1822) is a long-lived territorial raptor that is non-migratory and occupies large home ranges. The species nests at relatively low population densities in warm and dry regions of the western Palearctic (Newton 1979; Cramp and Simmons 1980). The species is irregularly distributed throughout the circum-Mediterranean area, from Morocco, Algeria and Tunisia, to southern France, Spain, Portugal and southern Italy and across South-east Asia (Cramp and Simmons

1980; Del Hoyo et al. 1994). The largest part of the Mediterranean population occurs in the Iberian Peninsula (~66%) (BirdLife International 2015) and Maghreb (Morocco, Algeria and Tunisia; 700–1 300 pairs) (Thévenot et al. 2003; Ponchon 2011). Given its wide Palearctic distribution, Bonelli's Eagle is globally listed as a species of Least Concern (BirdLife International 2016). However, the species has declined sharply throughout its European distribution (Hallmann 1985; Arroyo et al. 1995), owing to the declining prey availability, increasing human disturbance, and habitat loss and degradation (Ferguson-Lees and Christie 2001; Carrete et al. 2002; Gil-Sánchez et al. 2004).

Although some populations of Bonelli's Eagles were stable during previous decades, the species has declined in its Spanish stronghold and is classified as Near Threatened in Europe, and catalogued as Vulnerable in Spain (BirdLife International 2015).

In Morocco, Bonelli's Eagle is a common resident breeding species. The whole population was estimated, approximately, to be 500–1 000 breeding pairs in the early 1980s (Bergier and Naurois 1985; Thévenot et al. 2003). The distribution of the species seems to be very heterogeneous; it frequents arid and semi-arid areas, from the Mediterranean coast to the North Saharan area; it occurs through the northern and southern foothills of the High-Atlas to Anti-Atlas mountains, and semi-desert areas of Tafilalet (eastern High-Atlas) and Middle and Lower Draa (Northern Atlantic Saharan border) (Thévenot et al. 2003).

Apart from old data on a few breeding pairs in north-west Africa (Bergier and Naurois 1985), there is no detailed information on the species ecology, demography, population or dynamics in Morocco. One of the main reasons for this knowledge gap is the immense size of their home ranges in Morocco (Rif and High, Middle and Anti-Atlas Mountains), which are difficult to access and survey.

The aim of the present study was to determine the general patterns of distribution of breeding population and characteristics of nesting territories of Bonelli's Eagles at the southernmost limit of their range in the Anti-Atlas Mountains, south-west Morocco.

Methods

Study area

The study was conducted in the western Anti-Atlas Mountains and its Saharan edges, south-west Morocco, from 2016 to 2018. Extending from the Upper Souss River to the lower Draa River (33°43'–28°30' N, 11°20'–8°00' W), the area covers roughly 29 715 km² and ranges from sea level at the Draa Estuary River to 2 361 m above sea level (asl) (Jbel (mountain) El-Kest, Tafraout) and includes a variety of habitats, with variable topography, relief and vegetation types. The climate is typically arid Mediterranean influenced by direct Saharan effects and characterised by dry and hot summers. The annual rainfall varies from 150 to 350 mm and occurs usually between November and March (80% of the total) (Le Houérou 1995). Mean annual temperature varies between 8 and 24 °C. The south-eastern borders (Tata and Guelmim sectors) are characterised by a Saharan climate with an average annual rainfall of less than 150 mm and extreme

variation in temperatures, notably daily values up to 40 °C during summer (Le Houérou 1995). The combined effects of direct Saharan influence on the climate and topography result in a dominance of scarcely vegetated steppe landscapes, consisting mostly of few species of shrubs (Boraginaceae, Chenopodiaceae and Rubaceae) and perennial spurge species (*Euphorbia* spp.) (Peltier 1982; Msanda et al. 2002). Treeless areas are vegetated mainly with Argan bushes (*Argania spinosa*) and olive trees (*Olea europaea*). The cultivated spineless variety of prickly pear cactus covers large areas in the south-western part of the region (Barthes et al. 2016). However, the degree of development of vegetated patches is relatively diverse due to local conditions, such as humidity, slope of lands, grazing and human uses. In the majority of the area where the survey was carried out, human density was low, with small rural communities (number of households less than 20), surrounded by small crop-vegetated patches.

Data collection

Prior to conducting the initial territorial occupancy survey, the study area was divided into three administrative sectors (Tafraout-Ait Baha, Tata and Guelmim-Ifrni) and a grid of 10 km × 10 km UTM squares ($n = 368$) was superimposed on a topographic map of the study area (Figure 1).

During suitable meteorological conditions for raptor detection, we surveyed all accessible potential nesting habitats at least once during the breeding season (from February to July). We drove along main and secondary roads, or hiked to potential nesting cliffs, and checked for the territory occupancy (presence/absence), and recorded the number of Bonelli's Eagles. Field collaborators (local villagers, nomads and shepherds) constituted an additional source of information and provided localised knowledge of nests due to their wide distribution and daily presence in almost all the study area. Suitable nesting cliffs were scanned with binoculars (8–10 × 40–50), and a telescope Leica Televid (20–60 × 80), as far as possible to avoid disturbance to eagles (Carrete et al. 2001). We defined a nesting territory as a geographical area in which one or more nests, including alternative sites, presently or historically used by a single pair each year (Steenhof and Newton 2007). Evidence of occupied nesting territory and a used nest were established if the location contained a nest at which one or more of the following occurred: copulation, incubating posture, brood rearing activity or a bird in juvenile plumage was observed at or near the nest (Carrete et al. 2001; Steenhof and Newton 2007). We measured a few mesoscale characteristics of nesting sites, including the elevation and the proximity of conspecific neighbour nests and human installations (village and town) and paved roads.

Data analysis

We recorded and mapped (Figure 1) the numbers of nesting territories and nesting pairs. The location of each used nest was plotted using a Garmin GPS receiver (Model GPS map 60Cx; Garmin International, Olathe, KS, USA). The nearest-neighbour nest distance method from the last nest used was used to estimate breeding density of the pairs (Newton et al. 1977). The distance between adjacent used nests during the same season was measured on the

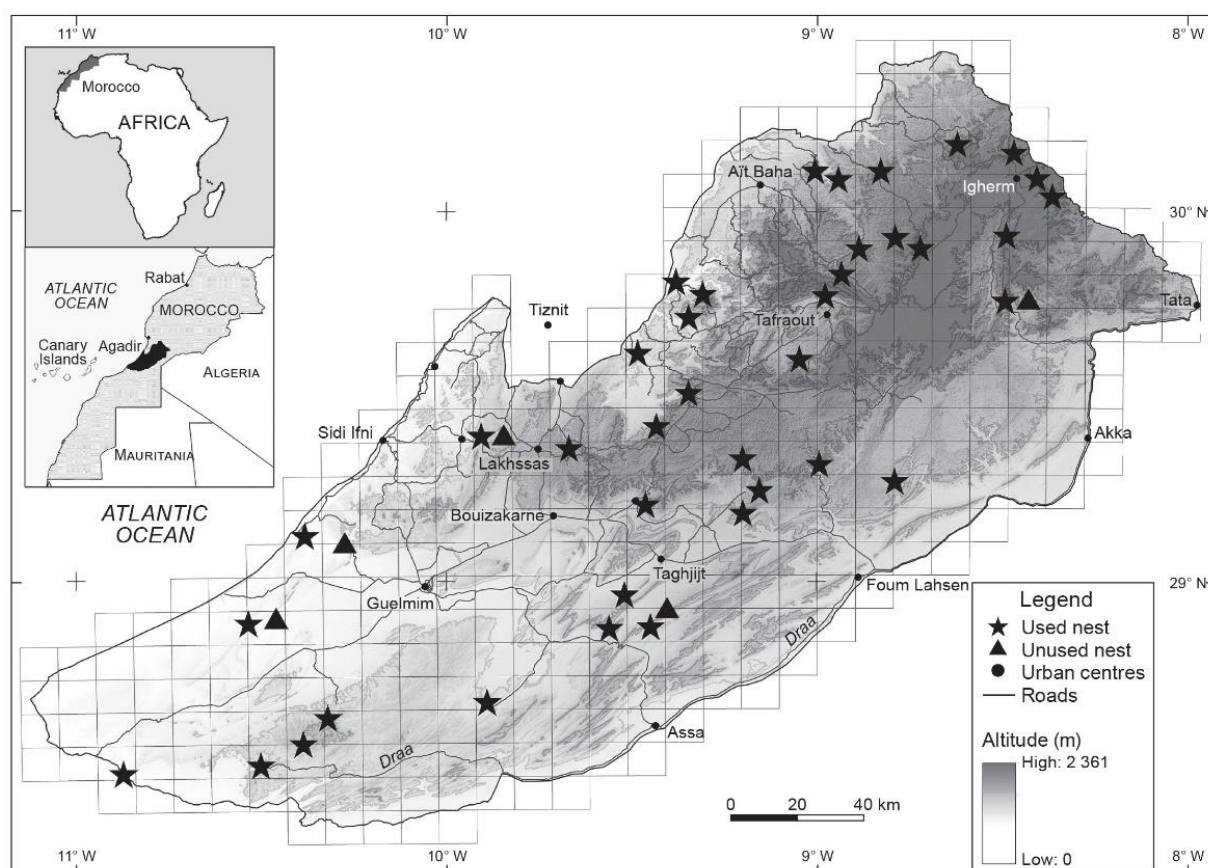


Figure 1: Distribution of breeding Bonelli's Eagle for the grid of 10 x 10 km UTM squares of the Anti-Atlas Mountains (Morocco). (Black dots and stars represent urban centres and used nests, respectively)

topographic map of the study area (Figure 1). Moreover, we recorded the number of used nests, counted the number of 10 km × 10 km UTM squares where the species was present, and estimated the number of Bonelli's Eagle nests per 100 km² (Andersen 2007; Carrascal and Seoane 2009). In addition, we estimated nest altitude (m asl) with a theodolite (Leica builder T100; precision ± 06°) (Ontiveros 1999), distance to nearest inhabited areas (village and town), and distance to the nearest paved road from a digital map using ArcView GIS 3.2 (ESRI, Redlands, CA, USA).

Results

Territory characteristics

Bonelli's Eagle was distributed throughout all the western Anti-Atlas Mountains. We detected at least 28 nesting territories, supporting 40 used nests. The Bonelli's Eagle population was heterogeneously distributed within the area, with a nearly continuous distribution within the north-eastern sector (46.4% at Taфраout-Aït Baha) and patchier at the southern (39.2% at Guelmim-Ifni sector) and western (14.2% at Tata sector) edges of the study area (Table 1). Occupied nesting territories extended from low foothill areas (60 m asl) in the south-west, to elevated

mountainous territories (1 980 m asl) at Taфраout-Aït Baha sector. Overall, Bonelli's Eagles preferred high altitudes, with 55% of breeding pairs; $n = 22$ residing at >1 000 m asl. Thirty percent of territories ($n = 12$) were distributed at medium altitudes (500 and 1 000 m asl), and 15% ($n = 6$) at low altitudes (<500 m asl) and surrounded by harsh plains. Nesting territory landscapes were surrounded by large and open steppelands of low-shrub cover and sparse Argan (*A. spinosa*) woodland, or perennial succulent species (*Euphorbia* spp.) and cultivated spineless prickly pear cacti (*Opuntia* spp.).

Nest characteristics

During our survey, 40 used nests of Bonelli's Eagle were located on cliffs in the western Anti-Atlas Mountains but no nests were found in trees (Figure 1). Moreover, five unused nests (revealed by unoccupied nests in successive years) were also found during ground surveys, some of which were large, suggesting that they have been used for many years. Within the 28 nesting territories, we noted one to three nests per territory with an average of 1.42 nests territory⁻¹.

The mean nest altitude was 997.45 ± 469 m asl ($n = 40$), although it varied substantially within sectors from a minimum of 60 m asl in the south-western sector

Table 1: Summary of nest characteristics recorded for Bonelli's Eagles in the western Anti-Atlas Mountains, Morocco. Nest site altitude = nesting cliff elevation in metres above sea level

Sector	Number of recorded nests	Nest site altitude (m asl)	Distance to nearest-neighbour nest (km)	Distance to nearest inhabited village (km)	Distance to nearest urban centre (km)	Distance to nearest paved road (km)
Guelmim-Ifni	16	693.62 ± 387.31 (60–1 180)	17.68 ± 11.76 (4.95–39.79)	4.57 ± 4.08 (0.75–12)	34.92 ± 13.43 (3–56)	4.66 ± 3.39 (0.095–10.9)
Tafraout-Ait Baha	20	1 210.5 ± 440.16 (270–1 980)	8.71 ± 5.35 (2.65–18.16)	1.13 ± 0.77 (0.3–3.5)	25.06 ± 12.95 (6.3–43)	2.13 ± 1.47 (0.1–4.13)
Tata	4	1 147.5 ± 238.93 (870–1 420)	24.38 ± 7.23 (18.13–39.79)	1.675 ± 0.96 (0.4–2.6)	29.25 ± 7.63 (20–36)	5.6 ± 8.31 (0.3–18)
Total	40	997.45 ± 468.96 (60–1 980)	13.31 ± 9.92 (2.65–39.79)	2.56 ± 3.09 (0.3–12)	29.42 ± 13.33 (3–56)	3.48 ± 3.57 (0.095–18)

at Guelmim, up to a maximum of 1 890 m asl at the north-eastern Tafraout-Ait Baha sector. Most of the used nests (55%; $n = 22$) were located on cliffs of high altitude ranging from 1 000 to 1 980 m asl, mainly in Tafraout sector. The mean distances of nest cliffs to nearest villages, towns and paved roads were 2.56 ± 3.10 , 29.42 ± 13 and 3.48 ± 3.57 km, respectively (Table 1). Most of the nests were located in valleys overlooking dry waterlines (locally called *wadi*) or at the bottom of valleys with rough terrain and dominant hills, overlooking open and large harsh landscapes.

Breeding population density

Nesting territories of Bonelli's Eagle were present in thirty-five 10 km × 10 km UTM squares and nesting pairs density attained values up to 3 pairs per 100 km² in some contiguous squares. The nearest-neighbour nest distance varied from 2.65 km in the mountains in the north at Hilala, Ait-Baha sector, to 37.79 km in the lowlands of the south-west sector (mean = 14.12 ± 9.90 km; $n = 40$), reflecting the variability of pair density among different sectors (Table 1). Over all the occupied nesting squares (3 500 km²), the estimated density of pairs was 1.14 per 100 km².

Discussion

To our knowledge, this is the first investigation focusing on the distribution patterns and density of Bonelli's Eagle populations in north-west Africa. This work also highlights a number of information gaps regarding the southernmost peripheral Bonelli's Eagle population of south-west Morocco. There are few and sparse historical data on the distribution and abundance of the species in Morocco. In eastern Morocco, Brosset (1961) considered that each important valley sheltered a pair. Heim de Balsac and Mayaud (1962) reported six pairs over 40–50 km in the Lower Draa canyon, south-west Morocco. Destre (1984) estimated the minimum number of pairs at 7–8 per 25 000 km² of an area straddling the southern foothills of the High Atlas and the pre-Saharan areas of the Tafilalet, south-eastern Morocco. Bergier (1987) estimated the population spread over 8 000 km² of the High Atlas in the south of Marrakech at 15–30 pairs.

Our results showed that breeding of Bonelli's Eagle is well distributed across the western Anti-Atlas Mountains, with 28 nesting territories, and where density of pairs was

1.14 pairs per 100 km². All the nests in our study area were built in rocky cliffs, mainly in river valleys, contrary to some areas of north-west Africa, such as Ouarsenis, Algeria, where most of the nests were built in trees (Bergier and Naurois 1985). In Spain, Bonelli's Eagles most frequently nest in cliffs (90%) and rarely in trees (pines, suber oaks and eucalypts) (Arroyo et al. 1995; Ontiveros 1999). In the western Anti-Atlas Mountains, the cliff-nesting behaviour could be associated with human disturbance as Argan trees, when present, are not very high. On the other hand, many adequate nesting-cliffs are available in excess, mainly in the north-eastern part of the study area (Tafraout-Ait Baha sector).

Elevational distribution of the nesting territories coincided with those of the overall Spanish population (Arroyo et al. 1995; Ontiveros 1999). In addition, nesting territories located at altitudes above 1 000 m (north-eastern) contained more nests than those located at lower altitudes in the southern and eastern part of the study areas (e.g. Tata sector). The highest nesting elevation recorded in the present study was 1 980 m, which is close to the upper range reported in Morocco for the species, namely in the High Atlas, where the nesting altitude generally does not exceed 1 800 to 2 000 m, except one pair found nesting in Jbel Ayachi at 2 100 m (Bergier 1987). High altitude seems to be important in the distribution of Bonelli's Eagle at the local spatial scale, as it has also been reported in Spain (e.g. Gil-Sánchez et al. 1996; Muñoz and Real 2013).

Our study area lies at the pre-Saharan boundary of the Bonelli's Eagle distributional range, so it is likely that the highest density recorded in high altitudes (north-east sector) could be due to the positive impact of annual rainfall, high-quality habitats, and resulting higher prey abundance. Previously published studies on the species from the Iberian Peninsula (Gil-Sánchez 2000; Carrete et al. 2002; López-López et al. 2006) showed that precipitation plays an important role affecting the presence of Bonelli's Eagles and the distribution and abundance of populations of key prey species. Climate, resource availability and type of habitat also influence breeding success of the eagles (Gil-Sánchez et al. 2004). The topography of the north-east sectors of the Anti-Atlas (Tafraout-Ait Baha) is hilly to mountainous with elevations extending to 2 360 m asl. This region is characterised by a high percentage of annual precipitation (185–354 mm) and high atmospheric humidity resulting from Atlantic fogs (Peltier 1982; Le Houérou

1995). Consequently, these particularly well-preserved steppelands present high local prey abundance of potential prey such as Cape Hare *Lepus capensis*, Barbary Ground Squirrel *Atlantoxerus getulus*, Rock Dove *Columba livia*, Barbary Partridge *Alectoris barbara*, Bibron's Agama *Agama impalearis* and Moroccan Spiny-tailed Lizard *Uromastix nigriventris* (AI and MA pers. obs.). The relatively high availability and richness of prey species plays an important role affecting positively the density of Bonelli's Eagles in those areas.

By contrast, in the south-western part of the study area with a low mean annual rainfall (<150 mm) and in the south-east (Tata and Guelmim), with direct Saharan influence (Le Houérou 1995), the prey diversity and abundance are very low. The vegetation is mainly comprised of succulent plants (*Euphorbia* spp.), and the shrubs *Launea arborescens*, *Ziziphus lotus* and *Periploca laevigata* (Msanda et al. 2002). Bonelli's Eagle food resources in these pre-desert sectors are relatively scarce, being mainly lizards (*A. impalearis* and *U. nigriventris*) and small mammals (Barbary Ground Squirrel and Sand Rat *Psammomys obesus*) (AI and MA pers. obs.). Moreover, suitable nesting cliffs for Bonelli's Eagle in this area are sparsely distributed and at low elevations (mean: 693.62 ± 387.31 m asl).

In the desert area on the Lower Draa, Heim de Balsac and Heim de Balsac (1954) found that the diet of Bonelli's Eagles consisted mainly of Barbary Partridges, Shaw's Jirds *Meriones shawi* and Sand Rats. A little further north, in the Guelmim area, remains of Bibron's Agamas and Barbary Squirrels have been found in the nests (AI and MA pers. obs.). Predation on land birds, such as sandgrouse and pigeons or even Long-legged Buzzard *Buteo rufinus*, as well as on water birds, such as Eurasian Teal *Anas crecca* and Grey Heron *Ardea cinerea*, is also reported (Bergier 1987).

The average distance between neighbouring used nests (mean = 14.12 ± 9.90 km; $n = 40$) appears to be more than reported in the northern latitudes of the Mediterranean area. In Spain, the average distance between neighbour pairs is 11.9 km, ranging between 8.2 km (in the Penibaetic Cordilleras) and 6.9–12.7 km in Catalonia (Bosch et al. 2010), assuming a lower density of breeding pairs in the Anti-Atlas Mountains. On the other hand, Bonelli's Eagle is traditionally reported as being tolerant of human presence. The proximity of human installations is not particularly avoided; a nest, regularly occupied on the Zaers plain, north-west Morocco, was located only 100 m from a camp (Bergier and Naurois 1985). In the Anti-Atlas Mountains, occupied nesting cliffs were on average 3.48 ± 3.57 km linear distance to paved roads and 2.56 ± 3.09 km to nearest inhabited villages. These data agree with those reported in south-east Spain (Ontiveros and Pleguezuelos 2003), suggesting that human activities do not affect habitat selection of the Bonelli's Eagle in the area, as reported elsewhere (e.g. Arroyo et al. 1995; Gil-Sánchez et al. 1996; Ontiveros 1999; Gil-Sánchez et al. 2004; López-López et al. 2006).

In summary, the western Anti-Atlas area seems to be one of the most important strongholds of Bonelli's Eagles in the south-western and pre-Saharan boundary of its distribution

range. The actual number of breeding pairs is probably greater than we reported here, because of the considerable size and remoteness of the nests in this area. For this reason, development and implementation of a programme to monitor population size, distribution and threats, as well as specific knowledge of the habitat requirements of Bonelli's Eagle, are needed to identify the predictors for special conservation measures at regional and national levels.

Acknowledgements — We are grateful to all local villagers, nomads and shepherds, who in several ways helped us to get data on the species throughout the Anti-Atlas Mountains, Morocco. The authors also thank the anonymous reviewers for their suggestions and constructive comments.

ORCID

Mohamed Aourir  <https://orcid.org/0000-0002-5469-9078>

Mohammed Znari  <https://orcid.org/0000-0002-5337-8184>

References

- Andersen DE. 2007. Survey techniques. In: Bird DM, Bildstein KL (eds), *Raptor research and management techniques*. Blaine, WA: Hancock House. pp 89–100.
- Arroyo B, Ferreira E, Garza V. 1995. *El águila perdicera (Hieraetus fasciatus) en España. Censo, distribución, reproducción y conservación*. Colección técnica. Madrid: ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [in Spanish].
- Barthes A, Baudot P, Alifriqui M, Michon G, Genin D, Kamil H, Romagny B, Simenel R. 2016. Innovative dynamics in the arid Moroccan hinterlands: the case of prickly pear, an emerging territorial resource. In: Berriane M, Michon G (eds), *Mediterranean terroirs: environment, patrimony and development in Morocco*. Marseille: IRD Editions and AUF. pp 145–158.
- Bergier P (ed.). 1987. *Les rapaces diurnes du Maroc : statut, répartition et écologie. Annales du CEEP* no. 3. Aix-en-Provence: Centre d'Etude sur les Ecosystèmes de Provence [in French].
- Bergier P, Naurois R. 1985. Note sur la reproduction de l'Aigle de Bonelli *Hieraetus fasciatus* en Afrique du Nord-Ouest. *Alauda* 53: 257–262 [in French].
- BirdLife International. 2015. *Aquila fasciata*. European Red List of Birds. Available at <http://datazone.birdlife.org/22696076> [accessed 12 February 2019].
- BirdLife International. 2016. *Aquila fasciata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016: e.T22696076A89510184. Available at <http://dx.doi.org/10.2305> [accessed 12 February 2019].
- Bosch R, Real J, Tinto A, Zozaya EL, Castell C. 2010. Home range and patterns of spatial use in territorial Bonelli's Eagles *Aquila fasciata*. *Ibis* 152: 105–117.
- Brosset A. 1961. Ecologie des oiseaux du Maroc oriental. *Travaux de l'Institut scientifique chérifien, série zoologie* 22: 1–150 [in French].
- Carrascal LM, Seoane J. 2009. Factors affecting large-scale distribution of the Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in Spain. *Ecological Research* 24: 565–573.
- Carrete M, Sánchez-Zapata JA, Calvo JF, Lande R. 2005. Demography and habitat availability in territorial occupancy of two competing species. *Oikos* 108: 125–136.
- Carrete M, Sánchez-Zapata JA, Martínez JE, Palazón JA, Calvo JF. 2001. Spatial patterns of distribution of Bonelli's Eagles (*Hieraetus fasciatus*) and Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) in southeastern Spain. *Ardeola* 48: 175–182.
- Carrete M, Sánchez-Zapata JA, Martínez JE, Sánchez MA, Calvo JF. 2002. Factors influencing the decline of a Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* population in southeastern

- Spain: demography, habitat or competition? *Biodiversity and Conservation* 11: 975–985.
- Cramp S, Simmons KEL (eds). 1980. *The birds of the western Palearctic*, vol. 2. Oxford: Oxford University Press.
- Del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J (eds). 1994. *Handbook of the birds of the world, vol. 2: New World vultures to guinea fowl*. Barcelona: Lynx Edicions.
- Destre R. 1984. Les oiseaux de Tafilalet: étude biogéographique et écologique. Thèse spécialité écologie terrestre, Université Montpellier 2, France [in French].
- Ferguson-Lees J, Christie DA (eds). 2001. *Rapaces del Mundo*. Barcelona: Omega.
- Gil-Sánchez JM. 2000. Effects of altitude and prey availability on the laying date of Bonelli's Eagles (*Hieraaetus fasciatus*) in Granada (SE Spain). *Ardeola* 47: 1–8.
- Gil-Sánchez JM, Moleón M, Otero M, Bautista J. 2004. A nine-year study of successful breeding in a Bonelli's Eagle population in southeast Spain: a basis for conservation. *Biological Conservation* 118: 685–694.
- Gil-Sánchez JM, Molino F, Valenzuela G. 1996. Nest-site selection by Bonelli's Eagle (*Hieraaetus fasciatus*) in Granada (southeastern Spain). *Ardeola* 43: 189–197.
- Hallmann B. 1985. Status and conservation of birds of prey in Greece. In: Newton I, Chancellor RD (eds), *Conservation studies on raptors*. ICBP Technical Publication no. 5. Cambridge: International Council for Bird Preservation. pp 55–59.
- Heim de Balsac H, Heim de Balsac T. 1954. De l'oued Sous au fleuve Sénégal. Oiseaux reproducteurs. Particularités écologiques. Distribution. *Alauda* 22: 145–205 [in French].
- Heim De Balsac H, Mayaud N (eds). 1962. *Les Oiseaux du Nord-Ouest de l'Afrique. Distribution géographique, écologique, migrations, reproduction*. Paris: Lechevalier [in French].
- Le Houérou NH (ed.). 1995. *Bioclimat et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique: diversité biologique, développement durable et désertification. Options méditerranéennes. Série B: études et recherches* 10. Montpellier: CIHEAM; Paris: ACCT [in French with English abstract].
- López-López P, García-Ripollés C, Aguilar JM, García-López F, Verdejo J. 2006. Modelling breeding habitat preferences of Bonelli's Eagle (*Hieraaetus fasciatus*) in relation to topography, disturbance, climate and land use at different spatial scales. *Journal of Ornithology* 147: 97–107.
- Martin TE. 2001. Abiotic vs biotic influences on habitat selection of coexisting species: climate change impacts? *Ecology* 82: 175–188.
- Mosher JA, Titus K, Fuller MR. 1987. Habitat sampling, measurement and evaluation. In: Giron Pendleton BA, Millsap BA, Cline KW, Bird DM (eds), *Raptor management techniques manual*. Washington, DC: National Wildlife Federation. pp 81–97.
- Msanda F, El Aboudi A, Peltier JP. 2002. Originalité de la flore et de la végétation de l'Anti-Atlas sud-occidental (Maroc). *Feddes Repertorium* 113: 603–615 [in French].
- Muñoz AR, Real R. 2013. Distribution of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in southern Spain: scale may matter. *Acta Ornithologica* 48: 93–101.
- Newton I (ed.). 1979. *Population ecology of raptors*. Berkhamsted: Buteo Books.
- Newton I, Maquiss M, Weir DN, Moss D. 1977. Spacing of Sparrowhawk nesting territories. *Journal of Animal Ecology* 46: 425–441.
- Ontiveros D. 1999. Selection of nest cliffs by Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* in southeastern Spain. *Journal of Raptor Research* 33: 110–116.
- Ontiveros D, Pleguezuelos JM. 2003. Physical, environmental and human factors influencing productivity in Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* in Granada (SE Spain). *Biodiversity and Conservation* 12: 1193–1203.
- Peltier J-P. 1982. La végétation du bassin versant de l'oued Sous (Maroc). PhD thesis, Université scientifique et médicale de Grenoble, France.
- Ponchon C. 2011. World distribution and dynamic of the Bonelli's eagle Mediterranean population *Aquila fasciata*. In: Scher O, Lecacheur M (eds), *La conservation de l'Aigle de Bonelli: Actes du colloque international, 28 et 29 janvier 2010, Montpellier, France*. Montpellier: Conservatoire des Espaces Naturels du Languedoc-Roussillon. pp 14–15.
- Rahbek C, Gotelli NJ, Colwell RK, Entsminger GL, Rangel TGLV B, Graves GR. 2007. Predicting continental-scale patterns of bird species richness with spatially explicit models. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 274: 165–174.
- Real J, Mañosa S. 1997. Demography and conservation of western European Bonelli's Eagle (*Hieraaetus fasciatus*) populations. *Biological Conservation* 79: 59–66.
- Steenhof K, Newton I. 2007. Assessing nesting success and productivity. In: Bird DM, Bildstein KL (eds), *Raptor research and management techniques*. Blaine, WA: Hancock House. pp 181–192.
- Thévenot M, Vernon R, Bergier P (eds). 2003. *The birds of Morocco: an annotated checklist*. BOU Checklist no. 20. Tring: British Ornithologists' Union.

Chapitre 2 :

Habitat de reproduction, sélection des sites de nidification et typologie des nids de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental

Résumé :

Un total de 34 nids et 30 falaises occupées des couples d'Aigle de Bonelli (*Aquila Fasciata*) a été étudié entre 2017 et 2019 dans l'Anti-Atlas Occidental. Le nombre moyen de nids construits par paires a dépassé ce rapportés dans des études précédentes ($i = 3,7$; $N = 32$) et il y avait une tendance chez les aigles à construire leurs nids avec une orientation sud-est. La densité de reproduction était directement liée à la disponibilité des falaises. Aigles occupaient des falaises plus hautes ($i = 52,9$ m ; $N = 32$), situées sur des pentes plus raides ($i = 34,7^\circ$; $N = 31$) que ce qui était disponible. Les falaises occupées étaient très hétérogènes en raison du fait que l'utilisation de différentes zones par les Aigles de Bonelli dépendait des perturbations humaines. Ainsi, les falaises occupées avec le linéaire le plus court la distance des routes pavées était plus élevée que celle des falaises occupées loin des routes pavées. La sélection de hautes falaises situées sur des pentes raides avec des orientations sud peut avoir été associée à l'ascenseur supplémentaire a fourni des aigles, car ces types de sites de nidification ont augmenté la possibilité de flambée thermique et de pente.

Introduction

Les rapaces font partie des rares taxons d'oiseaux dont le nombre peut être limité par la disponibilité de lieux de nidification appropriés (Newton 1979). Le succès de la reproduction est limité par la position géographique et la qualité du domaine vital d'un couple (la zone exploitée à l'accomplissement du cycle annuel, englobe les sites de nidification et des zones de prédation.) (Newton 1979; Ferguson-Lees et Christie 2001). L'attractivité d'un site de nidification est conditionnée par ses caractéristiques physiques, microclimatiques et biotiques (critères croisés de disponibilité alimentaire, habitats naturels, fécondité du couple au cours des quelques années précédentes, dérangement, risque de prédateurs, compétition interspécifique, le nombre de couples voisins sur un même secteur, ...), son occupation l'année précédente, et (Velando and Márquez 2002, Mainwaring et al. 2014 ; Hernández-Matías et al. 2011b). De même, l'exposition des œufs et des poussins à des conditions météorologiques telles que la pluie peut être réduite dans les nids protégés par un surplomb rocheux (Mearns et Newton 1988, Ancil et coll. 2013), alors que les nids avec une l'exposition à l'insolation peuvent fournir un environnement plus ou moins favorable à la thermorégulation des poussins dans les microclimats frais en altitude.

Plusieurs études ont montré que les caractéristiques des sites de nidification sont positivement corrélées avec le succès de la reproduction et constituent des indices de la qualité du site (Donazar et al. 1993, Wightman et Fuller 2006, Bruggeman et al. 2015). Cependant, chaque espèce a ses propres préférences pour la position, la hauteur, l'orientation, l'abri, l'accessibilité et visibilité du site de nidification (Tapia et al. 2007a). Certaines espèces présentent une plasticité dans la sélection des sites de nidification, en fonction des caractéristiques physiques et biotiques précédentes.

Dans cet ordre d'idées, identifier les caractéristiques d'habitats favorables à une espèce est une étape fondamentale avant d'entamer toute mesure de conservation (Balbotin 2005), car la viabilité d'une population est en partie conditionnée par la qualité de son habitat (Besnard 2010). Une pénurie de sites de nidification favorables peut limiter également la densité d'une espèce en dessous de la capacité de charge de l'habitat, notamment chez les rapaces nichant sur les falaises (Newton 1998).

Au Maroc, l'Aigle de Bonelli est une espèce commune, y compris dans le Sahara Atlantique marocain (Bergier 1987, Thévenot et al. 2003, Bergier et al. 2017, Clark & Davies 2018 pour revue). L'Aigle de Bonelli est bien représenté dans tout l'Anti-Atlas, du massif d'Ifni

au Sarho, l'Ougnat et le Tafilalet et se limite à la zone nord du Sahara Atlantique, dans l'oued Noun, le bas Draa, les piémonts des Jbels Bani, Guir et Taissa. L'espèce est rupicole, inféodée aux habitats montagneux, rocheux, arides à semi-humides. Elle se reproduit généralement dans les zones ouvertes et les environnements accidentés, avec des broussailles, des forêts ouvertes et des steppes arborescentes (Cuzin 2019). Un cas de nidification sur des arbres est connu dans le Parc national Souss-Massa.

La nidification de l'Aigle de Bonelli au Maroc n'a fait objet d'aucune étude et aucune information détaillée n'est disponible les caractéristiques physiques des sites de nidification. Un tel manque de connaissances réduit notre capacité à protéger adéquatement les habitats les plus importants pour l'espèce et à évaluer l'ampleur des menaces auxquelles l'espèce fait face. Les habitats dans l'Anti-Atlas occidental étant encore relativement peu touché par le développement des activités humaines ou autre, il importe de procéder rapidement à l'acquisition de ces connaissances afin de documenter comment les aigles de Bonelli sélectionnent les sites de nidification, ce qui permettra, à terme, de proposer les mesures de gestion de conservation des populations les plus appropriées pour cette espèce.

Les objectifs de la présente étude étaient d'inventorier et de caractériser (caractéristiques physiques) les falaises de nidification de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental et d'évaluer leur accessibilité aux humains et quand c'est possible, le succès de la reproduction.

Matériel et méthodes

Zone d'étude

L'étude a été menée durant la période 2016 à 2018, dans les montagnes de l'Anti-Atlas occidental et ses lisières sahariennes. Elle s'étendant de la haute vallée de l'oued Souss ($33^{\circ} 43' - 28^{\circ} 30'$ de latitude nord) au bas Draa ($11^{\circ} 20' - 8^{\circ} 00'$ de longitude ouest), sur une superficie d'environ 29715 km², allant du niveau de la mer à l'estuaire du Draa à 2361 m d'altitude au niveau de Jbel El-Kest (Tafraout). La zone est caractérisée par la diversité de ses habitats, types de végétation et la variété de ses paysages. Le climat est typiquement méditerranéen aride influencé par les effets directs du Sahara et caractérisé par des étés secs et chauds. Les précipitations annuelles varient de 150 à 350 mm et se produisent généralement entre novembre et mars (80 % du total) (Le Houérou, 1995). La température moyenne annuelle varie entre 8°C et 24°C . Les frontières sud-est (Tata et Secteurs de Guelmim) se caractérisent par un climat saharien, avec une pluviométrie annuelle moyenne inférieure à 150 mm et une variation extrême des températures, notamment des valeurs journalières allant jusqu'à 40°C en été (Le Houérou, 1995). Les effets combinés de l'influence directe du Sahara sur le climat et la topographie se

traduisent par une dominance de paysages steppiques à faible végétation, principalement constitués de quelques espèces d'arbustes (Boraginaceae, Chenopodiaceae, Rubaceae) et des mêmes espèces de graminées pérennes (*Euphorbia* spp.) (Peltier, 1982 ; Msanda et al., 2002). Les zones dépourvues d'arbres sont principalement couvertes d'arganiers (*Argania spinosa*) et d'oliviers (*Olea europaea*). La figue de barbarie cultivée couvre de grandes superficies dans la partie sud-ouest de la région (Barthes et al., 2016). Cependant, le degré de développement des parcelles de végétation est relativement diversifié en raison des conditions locales, telles que l'humidité, la pente du terrain, le pâturage des chèvres et les utilisations humaines. Dans la majorité de la zone où l'enquête a été menée, la densité humaine était faible, avec de petites communautés rurales (nombre de familles de moins de 20), entourées de petites cultures végétalisées.

Collecte des données

Les données du départ sont issues des localisations des nids des aigles de Bonellis issues de travail sur la distribution des territoires des Aigles de Bonelli. A partir de ces localisations un travail de sélection des falaises qui permettent des mesures exactes a été effectué. En effet, l'emplacement de certains nids et la nature de la topographie ne permettent pas de réaliser l'ensemble des mesures nécessaires.

La méthodologie pour effectuer l'ensemble des mesures, déjà détaillée dans la page (p.69), se résume à l'utilisation du matériel issue du domaine de topographie notamment un un altimètre (VZ Performance ; précision q-1 m), une station théodolite (Pentax PTH 20 ; précision q-10 " , clinomètre, boussole, différentes variables (angles et distances), des mesures du microhabitat ont été prises depuis la base de la falaise porteuse du nid actif et sont définies dans le tableau 5. (Fig. 45).

Plusieurs photos des nids et de leurs environnements immédiats ont été prisent en utilisation un téléobjectif (Canon 500 mm) pour établir, ultérieurement, une typologie de ces nids.

Tableau 5 : Variables physiques utilisées pour caractériser les falaises de nidification de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental

H_0 (m)	Distance entre le bas de la falaise et le bas de la vallée
H_1 (m)	Distance entre la base de la falaise et le nid
H_2 (m)	Distance entre le nid et le sommet de la falaise
H_3 (m)	Distance entre le sommet de la falaise et le sommet de montagne
H (m)	Hauteur de la falaise
H_T (m)	Distance entre le lit de la vallée et sommet de montagne
ACC.	Accessibilité : accessible (1) ou inaccessible (0) aux renards prédateurs terrestres
EXP.	Orientation de la falaise : gradient numérique nord-sud : (0 [N], 0,25 [NE, NW], 0,5 [E, W], 0,75 [SE, SW], 1 [S])
SURPL (°)	Surplomb : présence (1; angle du mur arrière >90°) ou absence(0; angle du mur arrière, <90°) d'un surplomb au-dessus du nid
ALT (m)	Altitude : hauteur au-dessus du niveau de la mer

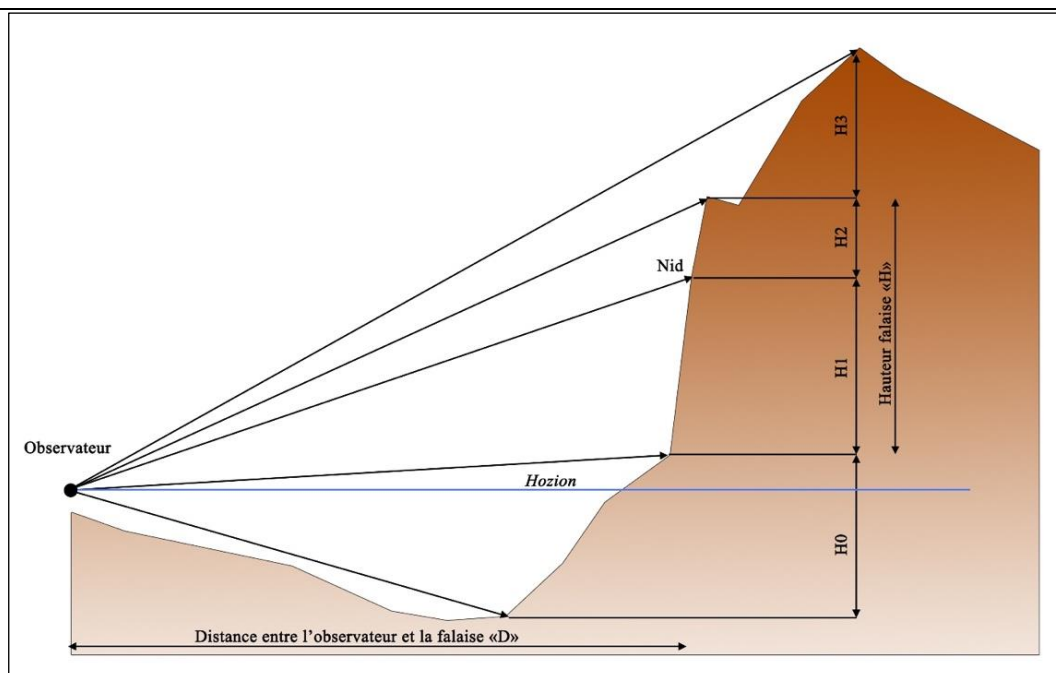


Figure 45 : Illustration du principe de mesures sur le terrain des différentes variables (A. Irizi ©).

L'orientation de la falaise, contenant un nid, a été déterminée à l'aide d'une boussole au 5°près. Pour déterminer un angle moyen d'une circulaire distribution, un simple calcul d'une arithmétique la moyenne des angles observés est insuffisante ou par la superposition d'une rose de vent, avec comme centre le nid, et l'image aérienne de la falaise (cas des falaises à multiples

orientations) ou dans le cas où la position de l'observateur vis-à-vis de la falaise est difficile à apprendre. L'image aérienne étant orientée conventionnellement ainsi que la rose du vent. La ligne prenant naissance à partir du nid (ligne verte) et étant perpendiculaire à la falaise (sens de la falaise en bleu) nous indique l'exposition du nid (Fig. 46). Cette méthode a été privilégiée car sur le terrain trop accidenté. L'image aérienne à l'avantage de permettre avec précision l'orientation de la falaise et par conséquent celle du nid.

La mesure de l'accessibilité aux humains a été classés comme faciles (1), modérés (2) et difficiles (3) en termes d'accessibilité aux personnes.

Le choix de point de l'installation de la station totale pour la prise de différentes mesures de distances (observateur - nid) est crucial ; ce point doit être en face de la falaise abritant le nid et la hauteur de la vise adaptée. Une fois l'horizon de la mire définie et les coordonnées de point d'observateur notées, les mesures sont prises à angles formés entre l'horizon et les différents points : nid, sol, sommet de la falaise, vallée, sommet montagne (Fig.47).

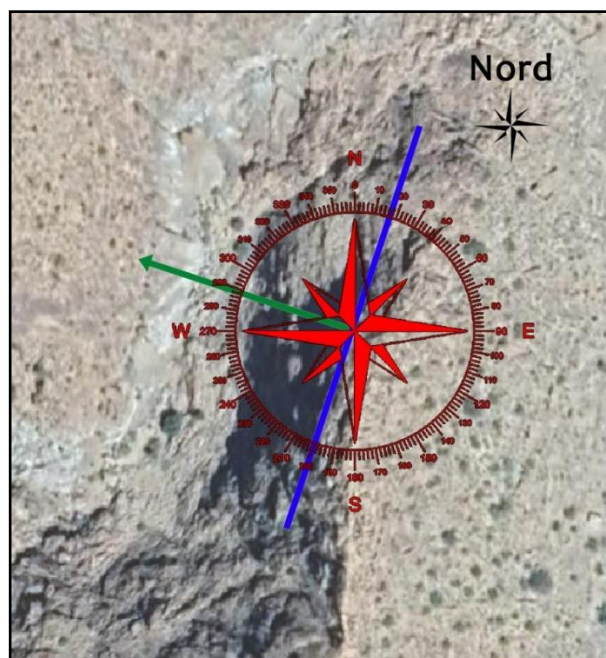


Figure 46 : Principe de détermination de l'angle d'exposition de la falaise abritant le nid.

(A. Irizi ©).



Figure 47 : Photo illustrant le relevé des différentes mesures sur le terrain (A. Irizi ©).

Analyse statistique des résultats.

Vu le grand nombre de variables mesurées et dont l'information totale ne peut pas être visualisée à cause d'un espace à plus de trois dimensions, une analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée comme méthode multivariée permettant d'analyser simultanément l'ensemble des données. Cette méthode permet de préciser les relations entre les variables et de dégager les phénomènes à l'origine de ces relations. L'analyse statistique des variables d'élévation (H_0 , H_1 , H_2 , H_3), hauteur du relief sur lequel se situe la falaise portant le nid ($HR = H_0 + H_1 + H_2 + H_3$), hauteur du nid ($HN = H_0 + H_1$), hauteur de la falaise portant le nid ($HF = H_1 + H_2$), les rapports ($H_2 + H_3 / HT$; HN / HF ; H_2 / HF), de l'altitude (ALT.) et de l'exposition (EXP.) a été effectuée sur une matrice de données constituée de 11 variables et de 34 prélèvements répartis dans la zone d'étude. Le logiciel statistique XLSTAT 2014 a été utilisé pour le traitement des données. L'histogramme des valeurs propres (Fig. 46) montre que le premier axe factoriel, constitué des axes F1 et F2, représente 62,39 % de l'inertie totale. Il se révèle suffisant pour traduire l'essentiel de cette inertie, ce qui signifie que les deux premiers axes sont suffisants pour représenter l'information dans sa globalité.

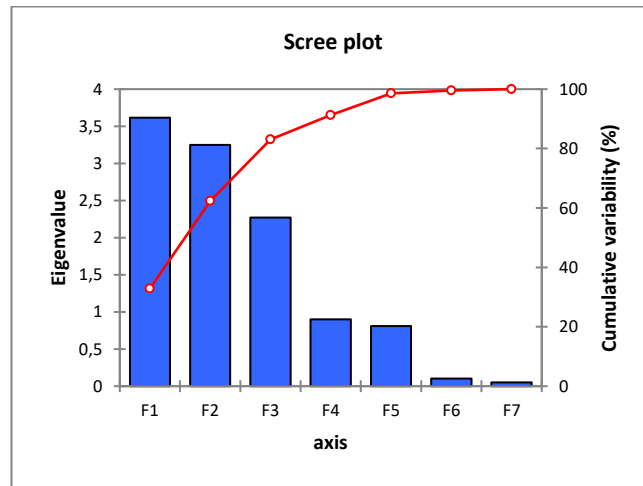


Figure 48 : Histogramme des valeurs propres

Résultats

Un total de 25 falaises de nidification comportant 34 nids actifs, ont été retenues pour la caractérisation des sites de nidification de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas Occidental (Fig. 49). Sur l'ensemble de la zone d'étude, tous les nids sont aménagés sur des reliefs accidentés et abrupts au niveau de falaises, majoritairement situées dans des vallées ou dans une gorge, et d'autres dans des cirques rocheux ouverts sur un milieu dégagé. Certains couples possèdent sur le même territoire de nidification plusieurs nids qui sont plus ou moins régulièrement utilisés.

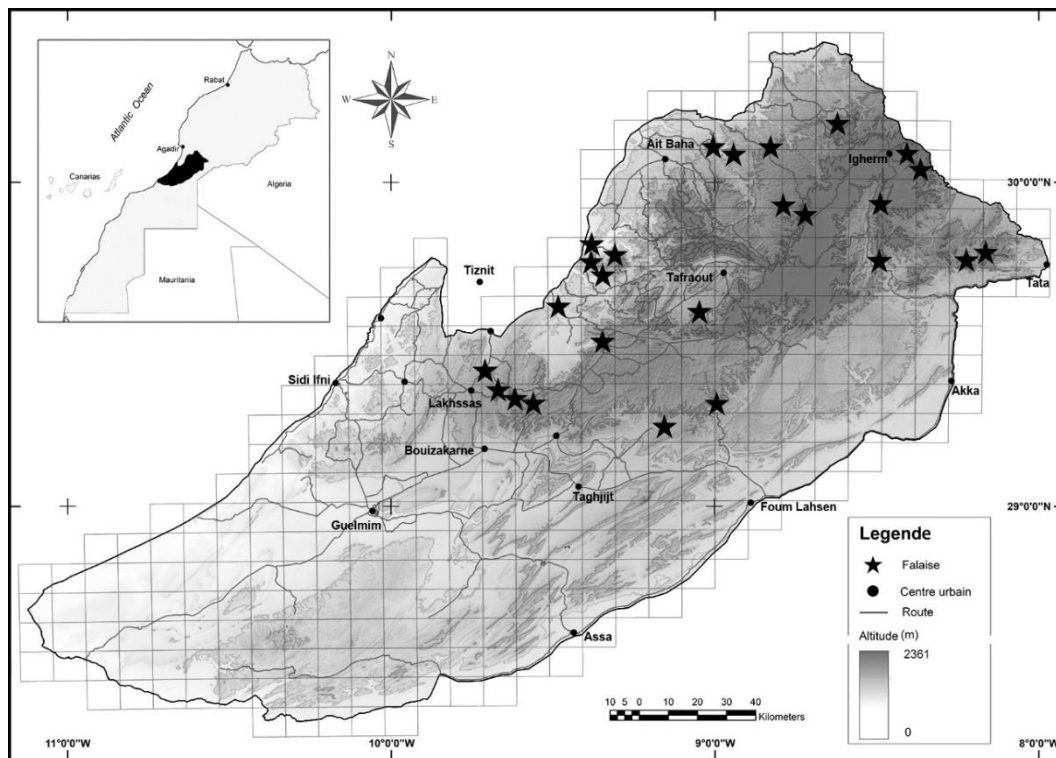


Figure 49 : Carte de distribution des 25 falaises mesurées dans l'Anti-Atlas occidental

Typologie morphologique de l'emplacement des nids

Les nids ont été construits sur des falaises situées sur des massifs rocheux formés de roches calcaires, métamorphiques ou endogènes. Selon la lithologie des parois rocheuses affectées par l'espèce, sept types morphologiques de nids ont été distingués (Fig. 50 et Fig. 51). Les nids installés dans les cavités (creux vide et peu profond se trouvant dans la paroi d'une falaise) sont majoritaires (50 %, n= 34), suivies par les nids installés sur les rebords de falaises (plate-forme apparente sur la façade d'une falaise) munis ou non d'une petite saillie 38.23 % (n=34). Les nids restants (11.76 %) ont été construits sur des rebords de falaises dotées d'un surplomb.

La falaise de nidification peut fournir une protection supplémentaire contre les prédateurs aériens. Si les nids installés dans les cavités ont naturellement moins exposé au risque de prédation, chute de pierres et ruissellement, ceux qui sont installés sur les rebords sont plus exposés. Parmi les nids construits sur des plateformes apparentes sur la façade de falaises, 85.9 % (n=29 nids) disposent d'une barrière verticale adjacente au nid avec un surplomb faisant un angle $> 90^\circ$ avec la plateforme, alors que 14,17 % (n=5 nids) sont sans protection par un surplomb (Tab 6).

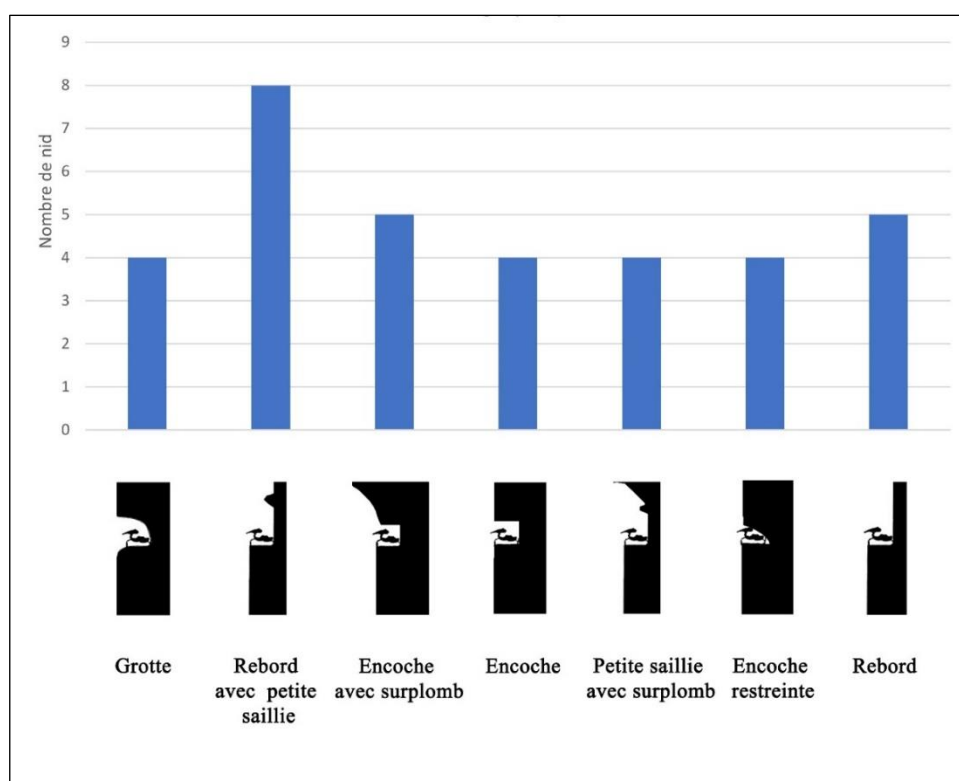


Figure 50 : Typologie des nids

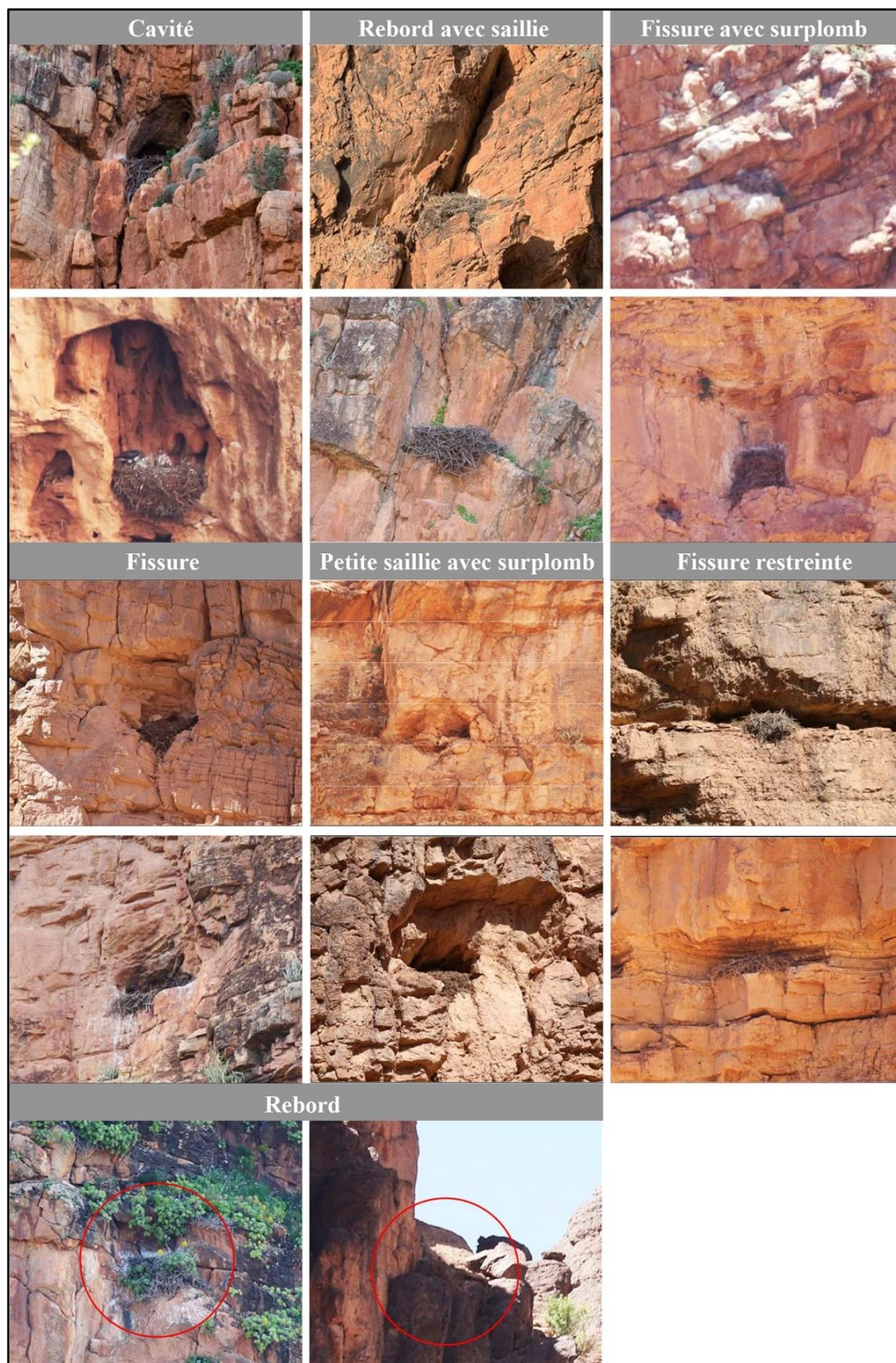


Figure 51 : Photos des différentes typologies des nids

Tableau 6. Degrés d’abri des nids par un surplomb : présence (1; angle du mur arrière >90°) ou absence(0; angle du mur arrière, <90°) d'un surplomb au-dessus du nid.

Angle du mur arrière	> 90°	<90°	Absent	Indéterminé	Total
N. nids	29	0	5	0	34
%	85.29	0	14.70	0	100

Hauteurs des nids

Les paramètres relatifs à l’emplacement d’un nid ont été définis par l’altitude de la falaise et la position du nid par rapport au sommet de la falaise et à la vallée. Les maximas et les minimas ainsi que la hauteur moyenne ($\pm$ DS) des nids ont été calculées et résumées dans le tableau 7. L’altitude des falaises occupées par l'Aigle de Bonelli est variable. L’altitude maximale est de 1585,00 mètres, la minimale enregistrée est de 160 mètres et la moyenne est égale à 1077,06 $\pm$ 361,23m (n=30).

Dans l’ensemble de l’aire d’étude des hauteurs des nids (H) sont comprises entre 75 et 551 mètres avec une moyenne de 203,97 $\pm$ 130,06 m (n=34). Le rapport entre la hauteur du nid et la hauteur totale de la falaise portant le nid est en moyenne 32,33 $\pm$ 23,17 % (Min. = 2,52 % ; Max. = 82,84 %)

Tableau 7. Valeurs moyennes $\pm$ sd des variables altimétriques utilisées dans la description des sites de nidification de L’Aigle de Bonelli dans les montagnes de l’Anti-Atlas occidental.

	ALT (m)	H0	H1	H2	H	H3	HT	H2+H3	(H2+H3)/HT
Moy	1077,06	115,21	58,82	29,94	203,97	85,94	289,91	115,88	32,33
SD	361,23	87,29	61,75	34,04	130,06	136,16	171,61	134,17	23,17
Max	1585,00	431,00	230,00	175,00	551,00	560,00	705,00	584,00	82,84
Min	160,00	0,00	7,00	4,00	75,00	0,00	82,00	6,00	2,52

Exposition

L'orientation des nids et principales directions d'expositions des falaises de nidification de l'Aigle de Bonelli sont consignées sur le tableau 8. Les falaises utilisées pour la nidification de l'espèce sont majoritairement exposées N-NE et NE-E (33.33 % ; n=10 et 23,33 % ; n = 7, respectivement), supportant environ 60 % des nids (n=20). Le reste des falaises (43 % ; n= 13) portant 40 % (n = 14) des nids ont des expositions étalées sur 225° entre le SE et le NW (Fig. 52 et Fig. 53). En revanche, un seul nid a été trouvé sur les falaises exposées NW-N et aucun sur les falaises exposées E-SE.

Tableau 8. Orientation des nids et principales directions d'expositions des falaises de nidification de l'aigle de Bonelli (Selon le gradient numérique nord-sud suivant : (0 [N], 0,25 [NE, NW], 0,5 [E, W], 0,75 [SE, SW], 1 [S])).

Orientation		N-NE	NE-E	E-SE	SE-S	S-SW	SW-W	W-NW	NW-N	Total
Nids	N	12	8	0	4	3	2	4	1	34
	%	35.29	23.53	0	11.76	8.82	5.88	11.76	2.94	100
Falaises	N	10	7	0	4	3	2	3	1	30
	%	33.33	23.33	0	13.33	10	6.67	10	3.33	100

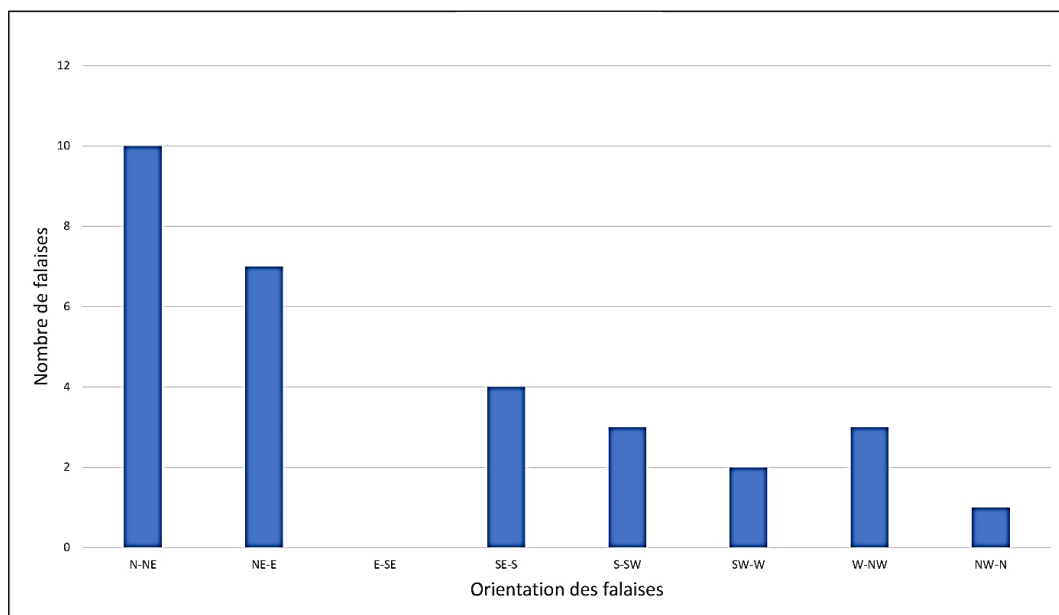


Figure 52 : Principales directions d'expositions des falaises

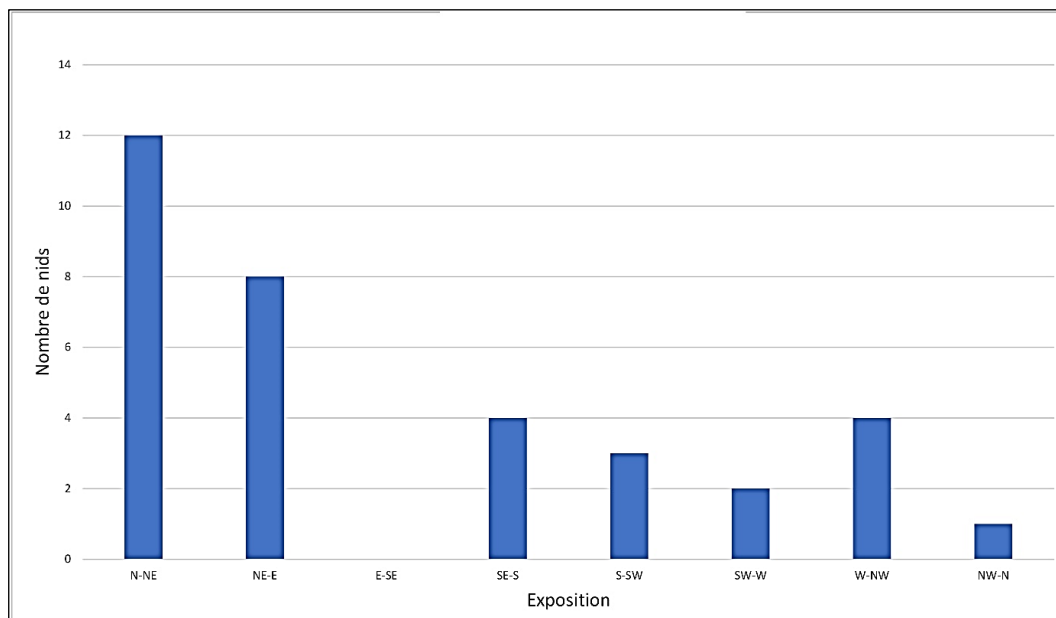


Figure 53 : Principales directions d'expositions des nids

Dérangement et accessibilité aux falaises de nidification

Par dérangement par l'homme, on désigne l'accès public facile aux falaises de nidification (*versus*, l'inaccessibilité ou accès difficile), à pied (escalade,) et des activités associées (ex. Randonnée, chasse, pique-nique, VTT, routes, pistes, visites régulières,...) et toutes autres sortes de dérangements qui leur sont associés. Les aigles qui utilisent des sites de nidification plus accessibles à l'homme sont-ils plus enclins à l'échec qu'à ceux situés sur des sites difficiles à atteindre ?

Le tableau 9 montre l'incidence du succès de l'éclosion sur les sites qui ont été classés en termes d'accessibilité à l'homme comme : accès facile, modéré et difficile. Environ 41% des nids ont été placés sur des falaises inaccessibles (H1 = 84,28 m et H2 = 44,28m en moyennes). Les falaises moyennement accessibles supportent 32,35 % des nids et 26,47% de nids sont placés sur des falaises accessibles à l'homme (50, 77m et 18,33m, en moyennes).

Seuls 11 nids ont été suivis pour le succès de la reproduction, étant donné la difficulté d'observation du contenu, liée d'une part à l'emplacement du nid en hauteur sur les falaises (hauteur moyenne : $203,97 \pm 130,06$ m (n=34) ; tableau 7) et la configuration « en cavité » de la majorité des nids (50 %, n= 34) (tableau 6). Sur 11 nids qui ont été suivis, régulièrement, durant toute la période d'étude, le succès de l'éclosion a été obtenu pour 6 nids uniquement. Il est surprenant de constater que le succès de l'éclosion est important dans les nids installés sur des falaises facilement accessibles à l'homme. En revanche, la taille de l'échantillon (11 nids) ne nous permet

pas de tirer des conclusions quant à la relation entre l'échec de la nidification et le degré d'accessibilité aux nids pour l'homme.

Tableau 9. Accessibilité humaine aux nids et le succès de la reproduction de l'aigle de Bonelli.

Accessibilité	Nids (%)	H ₁ moy. (m)	H ₂ moy. (m)	Succès de l'éclosion (poussins)			
				1	2	3	Indéterminé
Facile	(26.47 %)	50.77	18.33	0	4	0	0
Moyenne	(32.35 %)	33	20.81	0	1	0	2
Difficile	(41.18 %)	84.28	44.28	0	1	0	3
Total	34			0	6	0	5

Analyse en composantes principales (ACP)

Le pourcentage d'inertie (information) expliqué par chaque axe (Fig. 54) montre que 95 % d'information peut être expliquée par l'axe F1 alors que l'axe F2 peut expliquer environ 76 % de l'information. Ainsi, les deux axes F1 et F2, dont les valeurs propres sont de 36,39 % et 30.03 %, respectivement sont suffisants pour expliquer 66,43 % de la variance des variables mesurées.

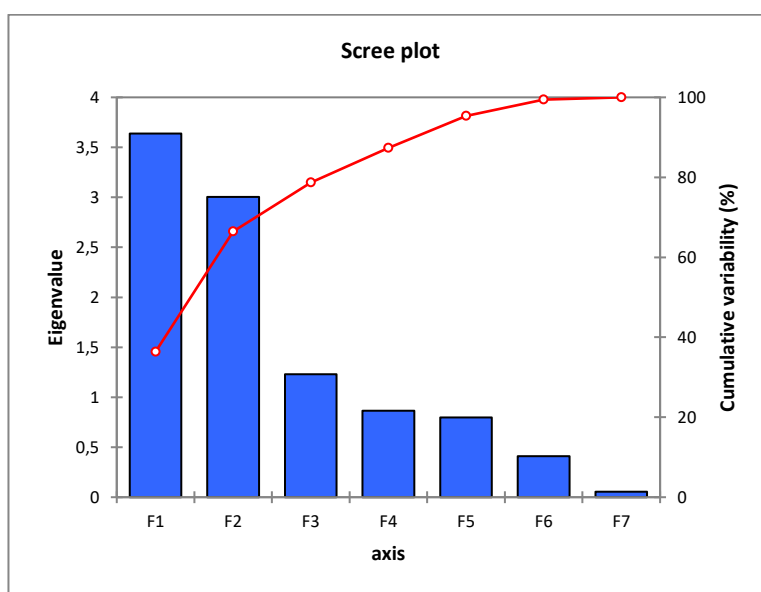


Figure 54 : Pourcentage d'inertie (information) expliqué par chaque axe.

Les variables altimétriques HT, H3, H3+H2 et H2+H3/HT sont fortement corrélées à l'axe F1 (Coef. Corrélation > 0,80), alors que H0, H1, H2 et H sont fortement corrélées avec la deuxième composante (F2). Mais, c'est l'effet de la hauteur H2+H3 qui est prédominant pour F1

(Coef. Corrélation = 95,6 %) et l'effet de la variable H est prédominant pour F2 (Coef. Corrélation = 95,8 %) (Tab.10 et 11).

Tableau 10 : Matrice de corrélation entre les variables sur l'ensemble des falaises de nidification.

Variables	EXPO.	ALT.	H2	H3	HN	HF	HR	H2/HF	H2+H3	H2+H3/HT	HN/HF
EXPO.	1	0,072	-0,086	-0,043	-0,186	-0,177	-0,168	0,174	-0,065	0,102	-0,174
ALT.	0,072	1	0,097	-0,330	0,032	0,052	-0,223	0,201	-0,311	-0,453	-0,201
H2	-0,086	0,097	1	-0,183	0,548	0,718	0,399	0,700	0,068	-0,035	-0,700
H3	-0,043	-0,330	-0,183	1	-0,146	-0,170	0,665	-0,117	0,968	0,904	0,117
HN	-0,186	0,032	0,548	-0,146	1	0,976	0,624	-0,063	-0,009	-0,215	0,063
HF	-0,177	0,052	0,718	-0,170	0,976	1	0,623	0,131	0,010	-0,188	-0,131
HR	-0,168	-0,223	0,399	0,665	0,624	0,623	1	0,006	0,776	0,574	-0,006
H2/HF	0,174	0,201	0,700	-0,117	-0,063	0,131	0,006	1	0,059	0,071	-1,000
H2+H3	-0,065	-0,311	0,068	0,968	-0,009	0,010	0,776	0,059	1	0,908	-0,059
H2+H3/HT	0,102	-0,453	-0,035	0,904	-0,215	-0,188	0,574	0,071	0,908	1	-0,071
HN/HF	-0,174	-0,201	-0,700	0,117	0,063	-0,131	-0,006	-1,000	-0,059	-0,071	1

Les chiffres en gras sont différents de 0 avec un niveau de signification $\alpha=0,05$.

Tableau 11 : Variance totale expliquée.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
Valeur propre	3,615	3,249	2,272	0,899	0,811	0,103	0,050
Variabilité (%)	32,862	29,535	20,657	8,171	7,377	0,939	0,459
% Cumulé	32,862	62,397	83,054	91,226	98,602	99,541	100,000

Nous apporterons une attention importante aux variables ayant une forte contribution positive ou négative à l'axe factoriel, ce qui facilitera la compréhension de la source de variabilité expliquée par les axes (Tab.12).

Tableau 12 : Contributions des variables (%).

Variables	F1	F2
EXPO.	0,310	0,198
ALT.	5,190	2,535
H2	1,239	26,135
H3	21,981	4,656
HN	1,340	15,234
HF	1,574	21,038
HR	21,817	3,112
H2/HF	0,067	11,636
H2+H3	25,407	0,797
H2+H3/HT	21,008	3,024
HN/HF	0,067	11,636

Les graphiques issus de l'analyse factorielle, mettent en évidence des regroupements, des oppositions et des tendances directionnelles. L'axe I exprime 32,86 % de la variance et oppose la hauteur du relief à l'exposition. Il traduit le degré d'ensoleillement du nid (Fig. 55). La hauteur du nid, hauteur de la falaise et le rapport H2/ HF sont étroitement liées et évoluent dans le même sens et se différencient sur l'axe II, qui exprime (29,53 %) de la variance. Il définit un axe de localisation du nid par rapport au sommet de la falaise.

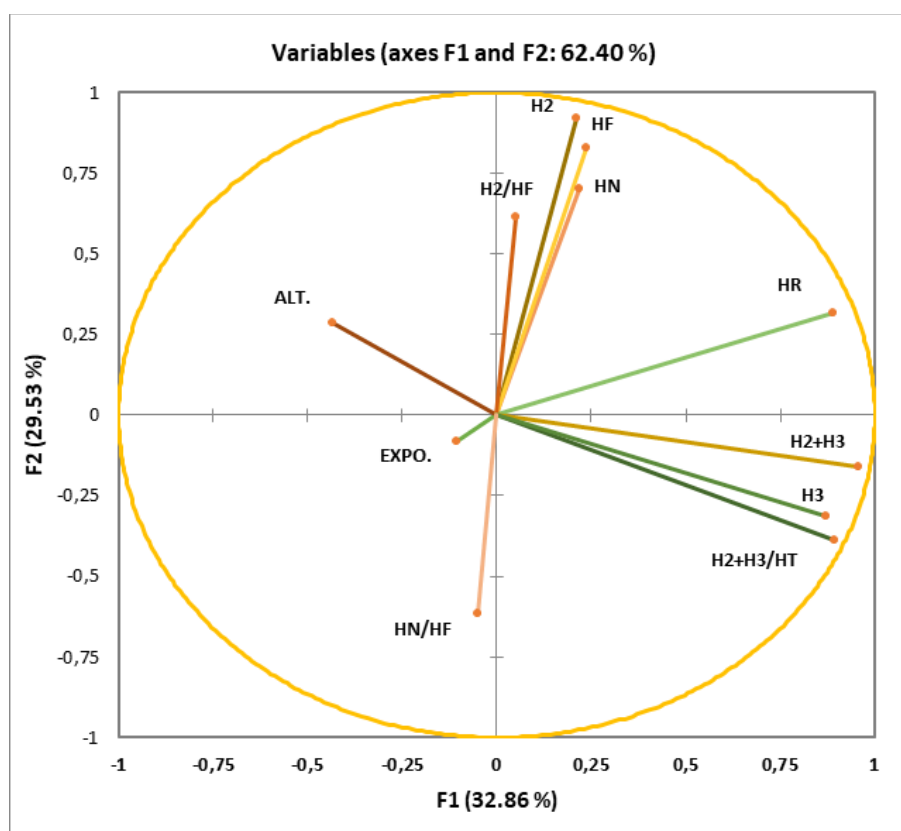


Figure 55 : Projection des variables sur le premier plan factoriel (F1 & F2)

L'analyse en composantes principales permet de déterminer de la façon suivante, la typologie des nids (Fig. 56) :

- Groupe 1 (G1) : comprends les nids (n=4) caractérisés par une importante hauteur de la falaise.
- Groupe 2 (G2) : comprends les nids (n=19) caractérisés par des sites affectés par l'exposition. Il est à noter que la majorité de ces nids sont placés au sommet du relief ($H3 = 0m$).
- Groupe 3 (G3): comprends les nids (n=11) caractérisés par le rapport $((H2+H3)/HT)$, c'est-à-dire la position du par rapport au sommet du relief.

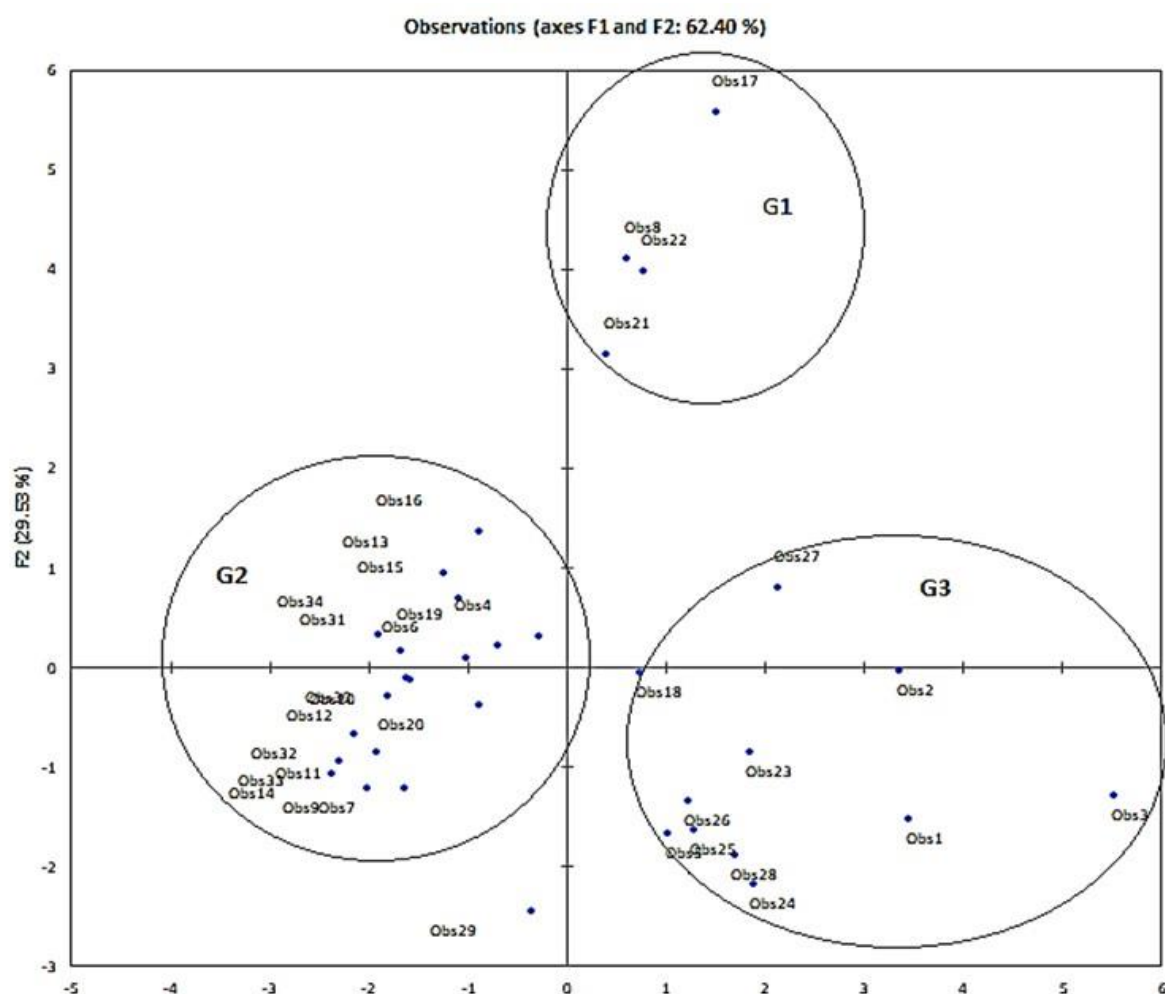


Figure 56 : Projection des individus sur le premier plan factoriel

Discussion

Le choix d'un site de nidification approprié est essentiel pour optimiser la productivité chez les oiseaux, car elle détermine l'environnement dans lequel les adultes, les œufs, et les poussins nidicoles seront exposés pendant les périodes critiques ; par conséquent, les oiseaux ont tendance à placer leur nid dans l'habitat le plus favorable (O'Connor 1984; Viñuela et Sunyer 1992). La sélection des sites de nidification a été assez bien étudiée pour les populations d'aigles de Bonelli nichant sur les falaises en Espagne (Par exemple, Gil-Sánchez, 1996, 1999b; Ontiveros, 1999; Ontiveros et Pleguezuelos, 2003a, b). En revanche, les études sur l'écologie de la reproduction de l'aigle de Bonelli, et plus particulièrement, sur les caractéristiques du microhabitat de nidification de l'espèce sont absente en Afrique du Nord en général et au Maroc en particulier.

Ce travail rapporte les premières données sur les caractéristiques des falaises de nidification (microhabitat de nidification) des Aigles de Bonelli au sud-ouest du Maroc. Nos résultats montrent que l'espèce préfère nidifier, principalement dans les gorges de la rivière, sur les parois de falaises nues et abruptes dans les cavités et les interstices de rocher, mais parfois aussi sur des plateformes apparentes sur la façade de falaises. Un couple peut posséder sur son territoire de nidification plusieurs nids qui sont plus ou moins régulièrement utilisés, selon les années. Chez les rapaces, maintenir plus d'un nid est un avantage évident, car les couples peuvent déplacer les nids s'ils sont dérangés, si le nid a été repris par une autre espèce, ou si leur première tentative de reproduction a échoué tôt (Newton 1979).

Typologie morphologique de l'emplacement des nids

Les études quantitatives sur la sélection du microhabitat de nidification (type de nid) sont importantes pour comprendre les caractéristiques associées le plus étroitement à la survie des œufs et des oisillons, en absence des parents. Dans l'Anti-Atlas occidental, nous avons trouvé que les nids installés dans les cavités (creux vide et peu profond se trouvant dans la paroi d'une falaise) sont majoritaires (50 %, n= 34). Seul 12 % des nids ont été placés sur des plateformes avec un rocher en surplomb au-dessus du nid. Le type « cavité » étant majoritaire dans la zone d'étude, il nous est difficile de suivre l'évolution et d'évaluer le succès de la reproduction dans ces nids. En revanche, nous sommes persuadés que le choix des cavités pourrait être lié au grand succès de reproduction de ce type nids, grâce à leur avantage anti-prédateurs aériens. À cet égard, il faut signaler que l'Aigle de Bonelli étant un super-prédateur, il est lui-même peu affecté par des prédateurs naturels.

La territorialité de l'Aigle de Bonelli se traduit par une forte agressivité envers les autres rapaces : en France, des cas d'attaques ont été notés sur le Milan noir et le Circaète Jean-le-blanc

(Vaucher, 1971) et de l'Aigle royal en Espagne (Vaucher, 1971). Par ailleurs, l'Aigle de Bonelli est nettement dominant sur l'Aigle royal : les rares rencontres observées entre ces deux espèces en France (Cheylan, 1973 ; Blasco, 1984) viennent tout à fait confirmer celles de Vaucher (1971) en Espagne. Certains cas de prédation sur l'Aigle de Bonelli ont été recensés en France ; ils concernent essentiellement la nichée (oisillons et œufs) et les prédateurs identifiés sont le Grand-Duc d'Europe *Bubo bubo* et le Grand corbeau *Corvus corax* (Bayle 1987) sur des falaises abruptes avec des surplombs.

En Espagne, la présence du Grand-Duc d'Europe *Bubo bubo* semble pouvoir affecter l'occupation des sites par l'Aigle de Bonelli (Martínez 2008), mais l'inverse est également observé en Europe (Ravayrol 2008).

Lors de notre étude, la cohabitation entre l'Aigle de Bonelli et le Grand-Duc Ascalaphe *Bubo ascalaphus*, a été observée, dans la zone d'étude. Ces deux espèces se côtoient donc inmanquablement même si leur rythme d'activité ne permet pas d'observer facilement les interactions. Malgré la taille de Grand-Duc Ascalaphe, qui est légèrement moins importante que celle du Grand-Duc d'Europe, le cas d'une possible prédation sur l'Aigle de Bonelli n'est pas à exclure. La cohabitation de l'Aigle de Bonelli et du Grand-duc est très étroite dans l'Anti-Atlas occidental. Ils occupent les mêmes milieux naturels rupestres et nidifient à la même période. Cependant, leurs rythmes de vie (respectivement nocturne et diurne) les empêchent théoriquement d'être en situation d'interaction. À cet égard, des cas de prédation de jeunes Aigles de Bonelli par le Grand-Duc sont toutefois exceptionnellement constatés (cas isolés en Provence en 1986, en Catalogne en 1990, en Languedoc-Roussillon en 2007-Bayle 1987, Real & Manosa 1990, Ravayrol 2008), notamment à travers l'étude du régime alimentaire de ce dernier (Bayle 1987). En effet, malgré un poids et une puissance à peu près équivalente, le Grand-Duc peut bénéficier de l'effet de surprise face à un Aigle de Bonelli immature inexpérimenté, perché la nuit sur un piton rocheux à découvert.

Les nids avec barrières verticales adjacents aux nids ou surplombs au-dessus (Fig. 57) semblent être plus vulnérables à la prédation, ce qui reste à justifier. En effet, malgré leur abondance dans la zone d'étude les falaises dotées de plateformes avec surplombs sont proportionnellement moins utilisées par les rapaces.



Figure 57 : Nid placé sur un rocher avec surplomb au-dessus au sommet de la falaise

Effet de l'Altitude

L'altitude ($1077,06 \pm 361,23$ m moyenne) des sites de nidification varie considérablement à travers l'Anti-Atlas occidental, allant de $1\,210.5 \pm 440.16$ m dans la zone Tafraout-Aït Baha au plus basses (693.62 ± 387.31 m) dans la région de Guemlim (Irizi et al. 2019).

La plus haute altitude de nidification enregistrée dans l'Anti-Atlas occidental était de 1 980 m (Irizi et al. 2019), similaire aux données rapportées dans le Haut Atlas, où l'altitude de nidification de l'espèce ne dépasse pas 1 800 à 2 000 m, sauf le cas d'un couple nicheur trouvé à Jbel Ayachi à 2100 m (Bergier 1987). L'échelle de distribution altimétrique des territoires de nidification l'Aigle de Bonelli est similaire à celles de l'ensemble de la population espagnole (Arroyo et al. 1995; Ontiveros 1999), où deux niveaux altitudinaux distincts ont été, avec des aigles nichant dans certaines parties de la péninsule à environ 600 m (Jordano 1981) et aux environs de 1500 m dans le Pirineos (Pyrénées) (Fernandez 1987). Une dichotomie similaire a été, également, rapportée en France (Mathieu & Choisy 1982) et en Italie (Fasce & Fasce 1987 ; Magrini et al. 1987). Dans chaque cas, l'explication de la distribution altitudinale des nids est liée à la disponibilité des aires de prédation et à la disponibilité des proies. Dans les paysages arides de l'Anti-Atlas occidental, les steppes et les terrains dégagés pouvant servir pour la chasse et d'habitat trophique pour l'Aigle de Bonelli sont relativement abondantes et préservées (faible activité anthropique). Malgré l'absence de données quantitatives sur l'abondance et la densité des proies, les observations sur le terrain suggèrent une relative abondance de proies telles que *Lepus capensis*, *Atlantoxerus getulus*, *Columba livia*, *Alectoris barbara*, *Agama impalearis* et *Uromastix nigriventris* (AI et MA obs. Pers.).

Direction de l'exposition

L'impact de l'orientation du nid sur le succès de la reproduction de l'aigle de Bonelli a été démontré (Ontiveros et Pleguezuelos, 2003). Chez cette espèce clairement limitée par la température (espèce thermophile) (Cramp et Simmons 1980), et la direction de l'exposition de la falaise portant le nid peut influencer la température dans ce dernier (Collias et Collias 1984), et la productivité la plus élevée chez les couples ayant nidifiés sur les falaises orientées vers l'est ou le sud-est (Viñuela et Sunyer 1992).

La protection contre les températures extrêmes peut être le facteur le plus important dans le choix du site de nidification des rapaces de taille moyenne et grande pour lesquels la prédation des nids est faible (Collias et Collias 1984). Les nids orientés sud-est se réchauffent au début de la matinée, facteur susceptible d'être important pour l'aigle de Bonelli, dans la zone méditerranéenne (Cramp et Simmons 1980). L'Anti-Atlas occidental est plutôt une zone chaude pendant la saison de reproduction de l'espèce et le risque de mortalité de l'embryon ou des oisillons est peu probable. Cela expliquerait nos résultats (Tab.8), qui indiquent que l'espèce a plutôt une préférence pour la nidification sur les falaises majoritairement exposées « Nord-est », supportant environ 60 % des nids (n=20). Une telle orientation permet un bon réchauffement des nids au début de la matinée. Par ailleurs, seul 12 % des ont été orientés « Est-sud », ce qui permet d'éviter aux œufs et aux poussins, d'être trop exposés à la chaleur de la mi-journée. Par ailleurs, l'importance de la direction de l'exposition du nid semble diminuer avec la hauteur totale de la falaise.

Par ailleurs, Ontiveros (1999) a suggéré que pour nidifier, l'Aigle de Bonelli sélectionne des falaises avec orientations lui permettant plus d'ascenseur thermique, augmentant ainsi les possibilités de planer, qui à son tour serait important pour le succès de la reproduction.

En conclusion, plusieurs variables physiques et biotiques peuvent affecter les différentes composantes de la reproduction de l'Aigle de Bonelli, dans l'Anti-Atlas occidental. La figure 58, ci-dessous, résume des interactions positives, négatives ou indéterminées issues de la présente étude.

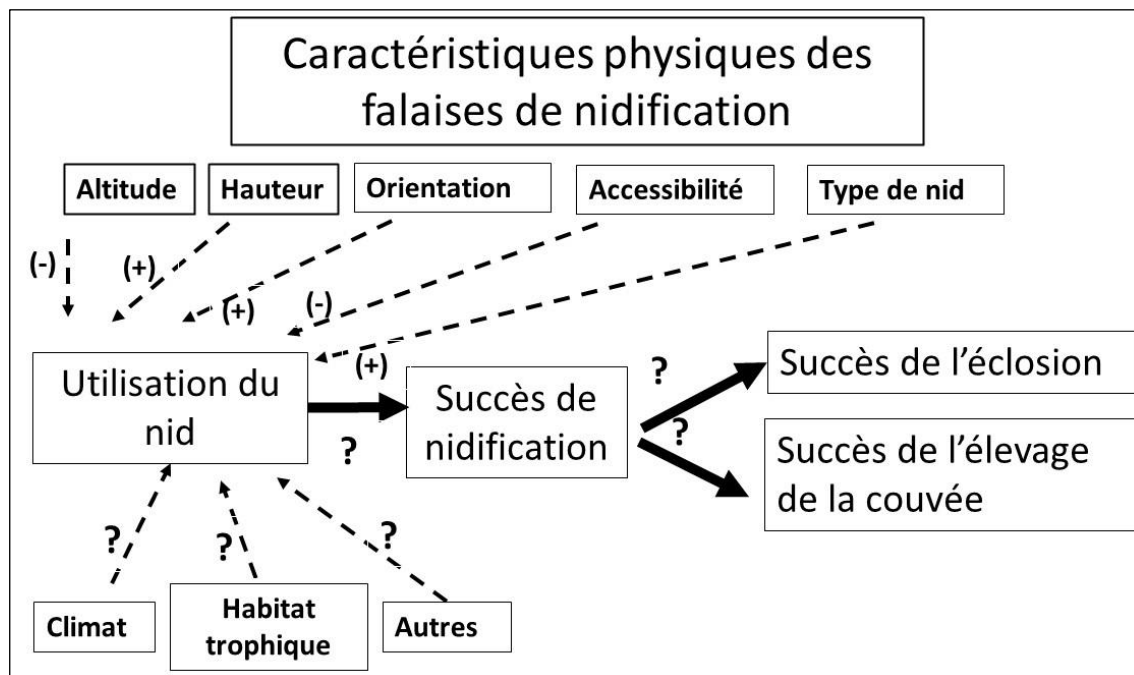


Figure 58 : Variables physiques des falaises de nidification pouvant affectant différentes composantes de la reproduction de l'Aigle de Bonelli, dans l'Anti-Atlas occidental. (Les flèches pointillées représentent des interactions positives, négatives ou indéterminées.).

II - Nouvelles données sur le régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli

Chapitre 3 :

Prédation de l'Aigle de Bonelli sur le Fouette-queue du Maroc

Prédation de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* sur le Fouette-queue du Maroc *Uromastix nigriventris* pendant la saison de reproduction dans l'Anti-Atlas Occidental (Maroc)

Ali IRIZI ⁽¹⁾, Mohamed AOURIR ⁽²⁾, Jalal MOUADI ⁽²⁾ & Abdeljebbar QNINBA ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Université Mohammed V de Rabat, Institut Scientifique, Laboratoire Géo-Biodiversité et Patrimoine Naturel, Avenue Ibn Battouta, BP 709 – 10090, Agdal, Rabat (Maroc)
iriziali@gmail.com ; qninba_abdel59@yahoo.fr

⁽²⁾ Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences, Équipe Biodiversité et Fonctionnement des Écosystèmes, BP 8106, Cité Dakhla – Agadir (Maroc)
maourir@gmail.com

Disponible en ligne (Available online): 25 mai 2020

L'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* (Vieillot, 1822) est une espèce peu spécialisée, opportuniste, capable d'adapter son alimentation à la diversité et à la disponibilité des ressources locales (Ferguson-Lees & Christie 2001).

Au Maroc et au sud de la Méditerranée, l'écologie trophique et la composition du régime de l'Aigle de Bonelli ne sont pas bien connues ; les données disponibles sont fragmentaires et consistent généralement en des observations directes, *in-situ*. Elles montrent que les micromammifères, plus particulièrement les rongeurs, et les oiseaux y tiennent une place prépondérante. Selon Heim de Balsac & Heim de Balsac (1954), le régime alimentaire est constitué de Perdrix gabra *Alectoris barbara*, de Mériones de Shaw *Meriones shawi* et de Rats des sables *Psammomys sp.* dans le bas Oued Draa. Quelque peu plus au nord, dans une aire près de Guelmim, de Naurois (*in Bergier 1987*) a trouvé des restes d'Agames de Bibron *Agama impalearis* et d'Écureuils de Gétulie *Atlantoxerus getulus* ; ce rongeur a aussi été noté dans plusieurs aires près de Bou Izakarn, de Massa et dans les gorges de Moulay Brahim près de Marrakech. Des attaques sur le Ganga couronné *Pterocles coronatus* près de Foum Zguid, sur la Sarcelle d'hiver *Anas crecca* à l'embouchure de l'Oued Massa et sur le Pigeon biset *Columba livia* près de Sefrou ont été rapportées (Bergier 1987). Haas (1969) et Smith (1965) ont observé, respectivement, la présence d'un immature dans une héronnière à Sidi Allal Tazi et la prédation sur un Héron cendré *Ardea cinerea*, un Héron pourpré *A. purpurea* (capture infructueuse) et une Buse féroce *Buteo rufinus* sur un oued de Défilia.

L'Aigle de Bonelli est commun dans l'Anti-Atlas Occidental. Nous avons repéré 28 territoires de nidification sur 29.715 km², répartis de manière hétérogène dans des zones à forte variation topographique allant de 60 à 1890 m d'altitude (Irizi *et al.* 2019).

Le 8 avril 2016, en contrôlant une aire d'Aigles de Bonelli près du cayon d'Amtoudi à 70 km environ à l'est de Bou Izakarn (partie orientale de l'Anti-Atlas Occidental – Fig. 1), nous y avons noté la présence de trois Fouette-queues du Maroc *Uromastix nigriventris* éviscérés (Photo 1). L'aire abritait un jeune de 5 à 6 semaines et le cadavre d'un poussin.

Le Fouette-queue du Maroc *Uromastix nigriventris* est un Agamidé diurne d'une taille pouvant atteindre 430 mm pour une longueur museau-cloaque maximale de 253 mm, et une masse corporelle maximale de 900 g environ (Wilms *et al.* 2009). Selon Bons & Geniez (1996), Wilms *et al.* (2009) et del Marmol *et al.* (2019), sa répartition suit de près l'étage bioclimatique saharien au Maroc ; sa limite de répartition méridionale

correspond à l'Oued Draa et au Jbel Ouarkiz, sur des altitudes qui varient de 200 à 1800 m. Il est en revanche absente des régions côtières atlantiques sur une profondeur de 40 à 100 km (Bons & Geniez 1996).

Notre observation montre que les fouette-queues constituent une composante du spectre alimentaire des jeunes dans cette région où cette espèce est abondante, et confirme le caractère opportuniste de l'Aigle de Bonelli ainsi que son adaptation à la disponibilité en proies dans cet habitat présaharien globalement peu productif. Cette adaptabilité a également été montrée par l'analyse de 18 pelotes collectées au-dessous d'un nid actif durant la saison de reproduction 2019 dans la vallée de l'Oued Bou Issafène, à 10 km du littoral Atlantique : le Rat des sables diurne *Psammomys obesus* représente la principale proie (82.1 %) du régime alimentaire ; les oiseaux arrivent en deuxième position avec environ 14% des proies (Photo 3).

D'autres grands rapaces se nourrissent ou nourrissent leurs poussins et jeunes de fouette-queues dans les régions où ces reptiles sont abondants ; par exemple, de nombreux restes de Fouette-queue à bandes jaunes *Uromastix dispar* ont été trouvés sous un nid de Buses féroces *Buteo rufinus* établi sur un Acacia *Acacia raddiana* en octobre 2010 dans l'Adrar Souttouf (Sahara Atlantique) (A. Qninba, obs. pers.).

Bibliographie

- Bergier, P. 1987. *Les rapaces diurnes du Maroc : statut, répartition et écologie*. Centre d'études sur les écosystèmes de Provence, Aix-en-Provence.
- Bons, J. & Geniez, P. 1996. *Amphibiens et reptiles du Maroc (Sahara occidental compris)*. Atlas biogéographique. Asociación Herpetologica Española, Barcelona, 319 p.
- Ferguson-Lees, J. & Christie, D.A. 2001. *Raptors of the World*. Christopher Helm, London.
- Haas, W. 1969. Observations ornithologiques dans le nord-ouest de l'Afrique. *Alauda* 37 :28-37.
- Heim de Balsac, H. & Heim de Balsac, T. 1954. De l'oued Sous au fleuve Sénégal. Oiseaux reproducteurs. Particularités écologiques. Distribution. *Alauda* 22 : 145-205.
- Irizi, A.; Aourir, M.; Znari, M.; El Agbani, M.A. & Qninba, A. 2019. Spatial distribution and breeding territories of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in the western Anti-Atlas Mountains, Morocco. *Ostrich* 90: 1-6.
- Marmol, (del) G.M. ; Harris D.J. ; Geniez, P. ; de Pous, P. & Salvi, D. 2019. *Amphibians and Reptiles of Morocco*. Edition Chimaira. Germany.
- Smith, K.D. 1965. On the birds of Morocco. *Ibis* 107: 493-526.
- Wilms, T.M.; Bohme, W.; Wagner, P.; Lutzmann, N. & Schmitz, A. 2009. On the phylogeny and taxonomy of the genus *Uromastix* Merrem, 1820 (*Reptilia: Squamata: Agamidae: Uromastycinae*): Resurrection of the genus *Saara* Gray, 1845. *Bonner Zoologische Beiträge* 56 : 55-99.

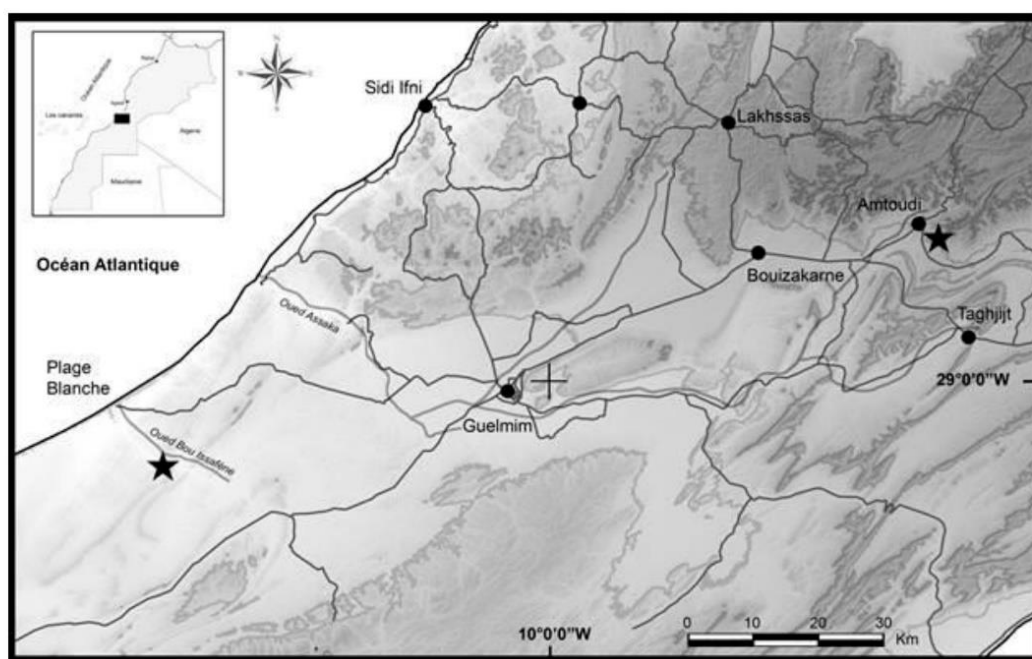


Figure 1. Localisation des nids d'Aigles de Bonelli à Amtoudi et à l'Oued Bou Issafène (★ : nid)



Photo 1. Trois Fouette-queues éviscérés dans un nid d'Aigles de Bonelli. Amtoudi (Anti-Atlas occidental, Maroc)
(A. Irizi ©)



Photo 2. Fouette-queue du Maroc *Uromastix nigriventris*, subadulte (Aouinet Torkoz, Bas Draa) (A. Qninba ©)



Photo 3. Dissection d'une pelote de réjection d'Aigle de Bonelli (A. Irizi ©)

III - Principales menaces sur les grands rapaces dans l'Anti-Atlas occidental

Chapiter 4:

Spanish Imperial Eagles and other eagles found electrocuted in Morocco and proposition of correction measures.

Résumé:

L'Aigle impérial ibérique (*Aquila adalberti*) est un rapace rare et à répartition restreinte qui a niché au nord du Maroc dans le 20^{ème} siècle, mais actuellement, il est entièrement limité à la péninsule Ibérique. Il est classé comme Vulnérable dans la Liste Rouge de l'UICN, mais toujours classé légalement 'En danger d'extinction' en Espagne comme en Andalousie en raison de sa petite taille de la population.

Dans la région de l'Andalousie, sud de l'Espagne, il existe un programme de réintroduction en cours visant à rétablir l'espèce dans la province de Cadix, d'où il était éteint comme nicheur depuis des décennies, et aussi pour renforcer d'autres populations dans cette communauté autonome. Dans le cadre de ce programme, les poussins sauvés originaires des populations sauvages de la région sont réintroduits dans La Junda (Cadix), et ont jusqu'ici réintroduit 83 poussins. En 2015, six aigles ont été sauvés, équipés de transmetteurs, puis libérés. Le 22 octobre, un de ces 6 aigles (avec bague 6M) est trouvé mort (électrocuté) avec deux autres Aigles impériaux ibériques, un Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et un Aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) dans la région de Guelmim, sud du Maroc. Le 7 novembre, quatre autres Aigles de Bonelli ont été trouvés électrocutés au pied des pylônes situés sur la même ligne électrique. Le 5 décembre, Ali Irizi a visité à nouveau la région où il a trouvé deux autres Aigles de Bonelli électrocutés au pied d'un pylône situé sur la même ligne électrique.

Malgré la forte tendance philopatrick de l'Aigle impérial ibérique, quelques bonnes indications dans la Péninsule ibérique (l'ensemble de la population espagnole et surtout celle de l'Andalousie est en augmentation, et la recolonisation récente du Portugal) ont données de nouveaux espoirs que l'espèce peut s'installer et recoloniser ses anciennes zones de reproduction

au nord du Maroc dans le futur. Malheureusement toutefois, les incidents d'électrocution à Guelmim ne montrent pas seulement que la mortalité non naturelle au Maroc est un facteur limitant pour la conservation de l'espèce en Espagne, mais il montre aussi que cela peut compromettre les chances possibles de recolonisation du Maroc dans le futur. En outre, ces électrocutions peuvent mettre en danger la population marocaine de l'Aigle de Bonelli, qui hiverne dans cette région en grand nombre.

Nous recommandons la correction des lignes électriques dangereuses, et de former une collaboration étroite entre les deux pays par des actions de conservation conjointes pour le bénéfice de l'Aigle impérial ibérique et d'autres rapaces.

Spanish Imperial Eagles and other eagles found electrocuted in Morocco and proposition of correction measures

Mohamed Amezian¹, Ali Irizi², Abdallah Errati³, Hicham Loran³, Rachid El Khamlichi¹, Virginia Morandini⁴, Diego García González⁵, Jose Rafael Garrido⁵

¹ Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc (GREPOM/BirdLife Morocco), Tétouan, Morocco

² Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc (GREPOM/BirdLife Morocco), Agadir, Morocco

³ Service Provincial des Eaux et Forêts de Guelmim, High Commission for Water, Forests and Desertification Control (HCEFLCD), Guelmim, Morocco

⁴ Biological Station of Doñana (EBD-CSIC), Seville, Spain

⁵ Plan de Recuperación del Águila imperial ibérica, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía, Seville, Spain

Citation:

Amezian, M., Irizi, A., Errati, A., Loran, H., El Khamlichi, R., Morandini, V., González, D. G., Garrido, J. R. 2015. Spanish Imperial Eagles and other eagles found electrocuted in Morocco and proposition of correction measures. figshare. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1613292>

Resumé:

L'Aigle impérial ibérique (*Aquila adalberti*) est un rapace rare et à répartition restreinte qui a niché au nord du Maroc dans le 20^{ème} siècle, mais actuellement il est entièrement limité à la péninsule Ibérique. Il est classé comme Vulnérable dans la Liste Rouge de l'UICN, mais toujours classé légalement 'En danger d'extinction' en Espagne comme en Andalousie en raison de sa petite taille de la population.

Dans la région de l'Andalousie, sud de l'Espagne, il existe un programme de réintroduction en cours visant à rétablir l'espèce dans la province de Cadix, d'où il était éteint comme nicheur depuis des décennies, et aussi pour renforcer d'autres populations dans cette communauté autonome. Dans le cadre de ce programme, les poussins sauvés originaires des populations sauvages de la région sont réintroduits dans La Junda (Cadix), et ont jusqu'ici réintroduit 83 poussins. En 2015, six aigles ont été sauvés, équipés de transmetteurs, puis libérés. Le 22 octobre, un de ces 6 aigles (avec bague 6M) est trouvé mort (électrocuté) avec deux autres Aigles impériaux ibériques, un Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et un Aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) dans la région de Guelmim, sud du Maroc. Le 7 novembre, quatre autres Aigles de Bonelli ont été trouvés électrocutés au pied des pylônes situés sur la même ligne électrique. Le 5 décembre, Ali Irizi a visité à nouveau la région où il a trouvé deux autres Aigles de Bonelli électrocutés au pied d'un pylône situé sur la même ligne électrique.

Malgré la forte tendance philopatride de l'Aigle impérial ibérique, quelques bonnes indications dans la Péninsule ibérique (l'ensemble de la population espagnole et surtout celle de l'Andalousie est en augmentation, la recolonisation récente du Portugal) ont données de nouveaux espoirs que l'espèce peut s'installer et recoloniser ses anciennes zones de reproduction au nord du Maroc dans le futur. Malheureusement toutefois, les incidents d'électrocution à Guelmim ne montrent pas seulement que la mortalité non naturelle au Maroc est un facteur limitant pour la conservation de l'espèce en Espagne, mais il montre aussi que cela peut compromettre les chances possibles de recolonisation du Maroc dans le futur. En outre, ces électrocutions peuvent mettre en danger la population marocaine de l'Aigle de Bonelli, qui hiverne dans cette région en grand nombre.

Nous recommandons la correction des lignes électriques dangereuses, et de former une collaboration étroite entre les deux pays par des actions de conservation conjointes pour le bénéfice de l'Aigle impérial ibérique et d'autres rapaces.

Introduction

1) The species

The Spanish Imperial Eagle (*Aquila adalberti*) is a long-lived Mediterranean raptor that was until recently considered one of the most endangered raptors in the world. Although its breeding areas in most Spanish sub-populations has increased recently (González et al. 2008), and its population size has increased to about 450 pairs (MAGRAMA, 2014), it is still considered as Vulnerable in the IUCN Red List (BirdLife International 2015), and still legally classified as Endangered in Spain and Andalusia (González & Oria 2004, CMAyOT de la Junta de Andalucía 2015a).

The original breeding range of the species included the Iberian Peninsula and northern Morocco. In Spain, the species breeds in the centre, west and south of the country (González & Oria 2004). The species is currently increasing both in Spain and in Andalusia (CMAyOT de la Junta de Andalucía 2015b). In Portugal, where the species has just returned as a breeder after nearly 30 years of absence, breeds in the vicinity of Spanish border in the south and centre (Palma 2012). In Morocco, the species had bred in the north up until the first half of the 20th century (Thévenot et al. 2003), but since then there has been very few breeding records. In 1991, a potential breeding pair at Chefchaouen (Rif Mountains) was located, but its nesting was not verified and there was no further news about it (Fouarge 1992). And in 1995, there was another breeding record reported in the Spanish magazine *Quercus* 113, page 48 (in Thévenot et al. 2003). It was also cited as a breeder in Algeria in the 19th century.

From old data, the crossing of the Strait of Gibraltar to Morocco by Spanish Imperial Eagles was considered at best accidental (González et al. 1989, Thévenot et al. 2003). But with the increase of the Iberian population and also bird migration monitoring at the Strait (e.g. 3 and 4 eagles were seen crossing in springs 2008 and 2009 respectively, and 9 eagles in autumn 2008: Ramírez 2009, Torralvo et al. 2011), and especially with the use of tracking technology we now know that the species do cross to Morocco and in increasing numbers over time.

2) Reintroduction project in Andalusia, southern Spain

In order to strengthen the Cadiz population of the species, originating from the successful Reintroduction Program carried out in close collaboration with the Biological Station of Doñana (EBD-CSIC), the priority of the Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio (CMAyOT de la Junta de Andalucía) is to reintroduce the rescued chicks into the wild at La Janda following the same hacking methodology performed during the reintroduction program. In this context, 83 chicks have been released by hacking technique into the most suitable sites of La Janda. These chicks were originally rescued from the wild populations of the Sierra Morena during the period 2002-2011, from Doñana and Cadiz in 2013 (no individuals were released 2012) and from Sierra Morena and Doñana in 2015 (for the results of the project up to 2010, see Muriel et al. 2011).

Of the 77 chicks released until 2013, nine of which (11, 7%) have been found as breeders (five of them in the Cadiz nucleus, three in Doñana and one in Toledo). After the failed attempts in 2006 and 2007 by two individuals released in 2003, the settling of the population in the Cadiz nucleus started in 2009 with one pair in that year and in 2010, two in 2011 and five in 2012. In all cases, breeding occurred before the individuals acquired adult plumage.

In 2015, four territories exist in the Cadiz nucleus, of which three had bred successfully and resulted in the fledging of 5 chicks. Of these four pairs, one was made up of two individuals released by the hacking method, and the other three have an individual from the reintroduction program, demonstrating the success of this project. In addition to these, at least six released individuals have been incorporated into the breeding population in other areas of the Iberian Peninsula, 4 in Doñana between 2012 and 2015, one in Portugal in 2013 and another in Castilla-La Mancha in 2014 and 2015. These results indicate that the released individuals disperse and settle not only around of the release sites in Cadiz, but also in other areas of Andalusia, south of Castilla-La Mancha and Extremadura and southeast of Portugal, contributing to the conservation of the species throughout the Iberian territory.

In 2015 the eagles were fitted with transmitters provided by the EBD-CSIC which have been activated only at the moment the birds have begun to fly, providing essential information on their movements and places of dispersion. In late August, the eagles began to make exploratory flights outside the release sites, and in early October one of these birds (with ring 6M) found dead (electrocuted) along with two other Spanish Imperial Eagles, a Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*) and a Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*) in the Guelmim region, Morocco (see details below).

3) Electrocution problems

Electrocution and collisions with power lines (along with poisoning) are among the main factors responsible for unnatural mortality of birds and especially large species (raptors, bustards, cranes, storks...). And this has been shown to be a major conservation problem for endangered raptors and other birds in many regions of the world (Ferrer et al. 1991, Janss & Ferrer 1998, 2000, 2001, Donázar et al. 2002, Boshoff et al. 2011, Angelov et al. 2013, Hernández-Matías et al. 2015).

Concerning the specific case of the Spanish Imperial Eagle, electrocution on power lines has been reported to be the main known cause of death for the species, accounting for 60% of mortality cases (Ferrer & Hiraldo 1992). Also, González et al. (2007) reported that electrocution was the main known cause of non-natural mortality for the species with 47.7% of the 267 cases in Spain between 1989 and 2004. Electrocution was again the main cause of death of this species in Andalusia accounting for nearly 40% of the 158 dead eagles recorded in the region between 1974 and 2009 (López-López et al. 2011). However, the latter study has showed a decrease in the number of electrocuted eagles since the approval in 1990 of the regulation aimed at reducing the impact of electrocution on birds by the Junta de Andalucía. And after mitigation measures were undertaken, bird electrocutions showed a 62% of reduction in the Andalusian population (López-López et al. 2011). This reduction in electrocution deaths is the main reason of the general increase in the population of Spanish Imperial Eagle in Andalucía (López-López et al. 2011).

While electrocution and other power-lines related mortalities and the conservation problems they cause to endangered species is well documented and mitigation measures were applied in many countries (Janss & Ferrer 1999, Janss et al. 1999, Tintó et al. 2010, López-López et al. 2011, Ferrer 2012, Chevallier et al. 2015), this is not the case in Morocco or in the rest of Northwest Africa where there is almost total lack of data regarding this problem. A notable exception is the study of Alonso et al. (2005) who identified collision with power-lines as the second main threat (after poaching) for the endangered Moroccan population of Great Bustard (*Otis tarda*) with 7 out of 30 mortality cases (23%) registered between 1997 and 2003. Even general field notes are lacking except a few cases such as the observation of 21 White Storks (*Ciconia ciconia*) electrocuted in the Middle Atlas in July 2005 (Guillaume 2005).

Results: the electrocutions in the Guelmim region, Morocco

In mid-September 2015, CMAyOT de la Junta de Andalucía informed GREPOM that one tracked eagles that was located south-west of Guelmim does not seem to move, and suspected that something wrong has occurred (either the bird was dead or the transmitter was lost). A. Irizi volunteered to go to search for the eagle and found out what happened exactly to the bird. Coordination with the 'Service Provincial des Eaux et Forêts de Guelmim' (HCEFLCD) ensured that he got some logistical support (one more car) and two forestry technicians, A. Errati and H. Loran, joined him.

On 22 October, the search team went to the location of the signal some 50 km south-west of Guelmim. After searching underneath and around 3 adjacent electricity pylons, they found the carcasses of five eagles: three Spanish Imperial Eagles (including the one with the transmitter), one Golden Eagle and one Bonelli's Eagle. The position and locations of the eagles were as follows (see figure 1):

1. A Bonelli's Eagle killed at bottom of the electricity pylon. It was the first eagle found and also the first victim of the five birds due to its advanced decomposition state.
2. A Spanish Imperial Eagle freshly killed, we can see some flies on the body of the bird (figure 2).
3. This is the tracked Spanish Imperial Eagle with ring '6M', the body still fresh but older than the eagle 2. We can see larvae on the back of the bird which was directed to earth when found.
4. A Golden Eagle killed at the bottom of the electricity pylon. It was killed earlier than both the eagles 2 and 3, as the body had already started to decompose.
5. A Spanish Imperial Eagle electrocuted and still trapped high in the electricity pylon, its body appears relatively fresh (figure 3).

Given the large number of eagles found dead in one small area (underneath 2 pylons about 300 m away from each other), several hypothesis have to be followed including shooting, poisoning and electrocution. The first two potential causes can be discarded because: 1) the eagles were not killed on the same date, 2) all dead eagles were found in or at the bottom of the pylons or in the immediate vicinity (these birds were dragged due to the

steep slope) and 3) at least the Golden Eagle showed burns from electrocution in its head. So we can say with confidence that the cause of death of these eagles is the electrocution.

On 7 November, Ali Irizi returned to the area and searched underneath the pylons of the same power line. He found four different Bonelli's Eagles electrocuted at the bottom of the pylons (2 electrocuted on the same pylon, while the others were electrocuted at two adjacent pylons some 5 km away). He also photographed a Spanish Imperial Eagle and different individuals of Bonelli's Eagle in the area¹. He also carried out some interviews with some people from the local villages who indicated that now and then they experienced power outage and the electricity company had to repair the lines after each problem. All the photographs of the electrocuted eagles are available at this link: <http://moroccanbirds.blogspot.com/2015/11/electrocuted-eagles-guelmim.html>

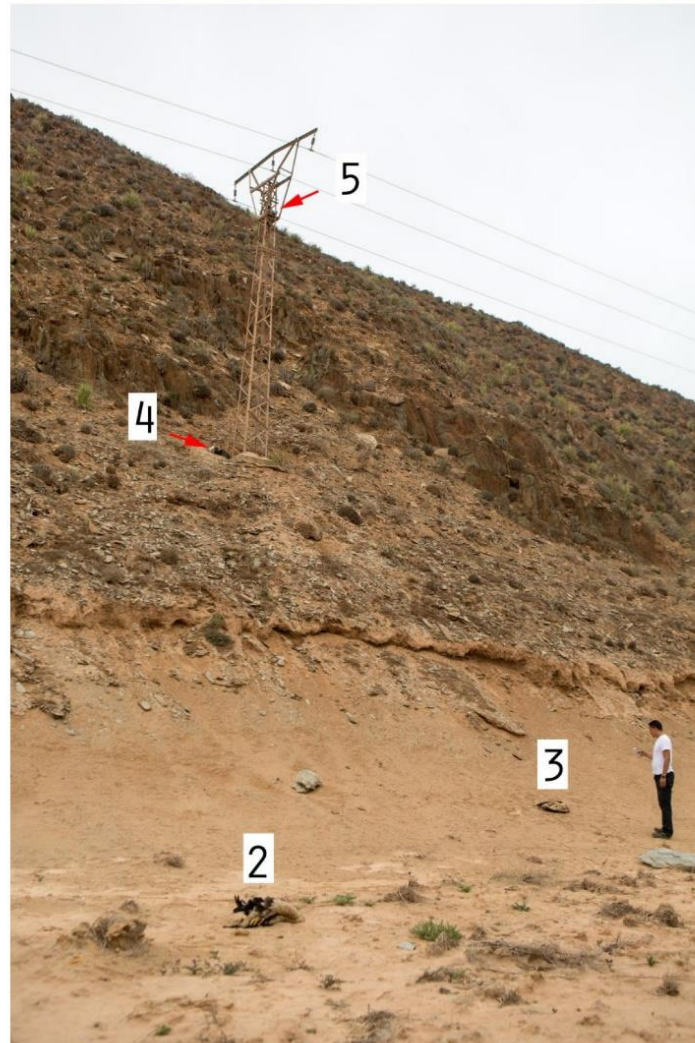


Figure 1: The position of the electrocuted eagles mentioned in the text: three Spanish Imperial Eagles and one Golden Eagle found at one pylon, Guelmim region, Morocco, 22 October 2015 (photo: Ali Irizi). The Bonelli's Eagle (No 1) was found at some 300 m to the east from this pylon.

¹ The photographs are at this link: <http://moroccanbirds.blogspot.com/2015/11/aquila-fasciata-guelmim.html>

On 5 December, Ali Irizi returned again to the region where he found two more Bonelli's Eagles electrocuted underneath one pylon situated on the same power line. The eagles' carcasses looked relatively fresh and could have been electrocuted a week or 10 days earlier. Photographs of these birds are available at this link: <http://moroccanbirds.blogspot.com/2015/12/aquila-fasciata-electrocuted.html>



Figure 2: Spanish Imperial Eagle freshly electrocuted, Guelmim region, Morocco, 22 October 2015 (photo: Ali Irizi).

Discussion and Recommendations

Based on the experience in Spain, immature eagles are more likely to die by electrocution in the dispersion areas than in breeding areas (González et al. 2007). Although until now, this limiting factor has not been known to occur in Morocco because of lack of surveys.

The wider region of Guelmim is one of the regions most frequented by dispersing/wintering Spanish Imperial Eagles in Morocco, and many immature birds were observed in this region during the last years. For example, a young eagle was photographed at NW of Tan-Tan in December 2006 and then again in February 2007 (several observers, *in* Bergier et al. 2011). In October 2010, a juvenile eagle was photographed at SW of the mouth of Oued Bou-Issafen (M. Roost & A. Reich *in* Bergier et al. 2013). In February 2012, a colour-ringed juvenile was photographed at some 78 km south of Guelmim (R. Jäbekk et al. *in* Bergier et al. 2014). And recently a juvenile was photographed on 7 November 2015 at Oued Bou-Issafen by A. Irizi². Given the number of birds electrocuted in the incidents reported here, it's most likely that several eagles have died here over the years since 2001 when the power line was built. It's important to note that this region seems to be an important dispersing/wintering area not only for the Spanish Imperial Eagles but also for non-adults Bonelli's Eagles (Luis García, pers. comm.). Other Spanish naturalist team working in this area has observed many young Bonelli's Eagles and found at least other three electrocuted birds of this species (Luis García, pers. comm.). This team have indicated that there is a high density of fat sand rats (*Psammomys obesus*), which has a similar size of young rabbits (*Oryctolagus cuniculus*), one of the main preys of Imperial, Bonelli's and Golden eagles. Similar observations were made by A. Irizi during his visits to the region. He particularly noted the high abundance of fat sand rat and also Barbary ground squirrel (*Atlantoxerus getulus*) and to a lesser extent Barbary Partridge (*Alectoris barbara*). All constitute potential prey for the wintering eagles.

² A photograph is at this link: <http://moroccanbirds.blogspot.com/2015/11/aquila-adalberti-guelmim.html>, and a short video at this link: <https://youtu.be/VOvFC-9d5WE>

Despite the strong philopatric tendency (i.e. return to the natal area to breed) of the Spanish Imperial Eagle, some good indications in the Iberian Peninsula (the whole Spanish population and especially the Andalusian one is increasing, recent recolonisation of Portugal) have given new hopes that the species may settle and recolonise its former breeding areas in northern Morocco in the future. Unfortunately however, the electrocution incidents at Guelmim not only shows that the unnatural mortality in Morocco is a limiting factor for the conservation of the species in the Iberian Peninsula, but also shows that this will have a negative effect on the possible recolonisation of Morocco in the future. On the other hand, although at present the trend of the Moroccan population of Bonelli's Eagle is not known but probably stable, and given that large number of immature birds frequenting this area in winter as discussed above, these dangerous electricity pylons may cause conservation concerns for this species in the future as well. Therefore we believe it's essential to conduct joint conservation actions for the benefit of the Spanish Imperial Eagle and other raptors as well. And for this aim, we present the following recommendations:

- The need to gather more information about the electrocution of large raptors in Morocco.
- Identification of dangerous electric lines or "death traps" in the wintering/dispersion areas (for Spanish Imperial and Bonelli's eagles) as well as in the breeding areas of other endangered raptors (Egyptian Vulture and Bonelli's Eagle). This could help inform the electricity company to build safer pylons in these regions in the future.
- After the identification of dangerous pylons already installed (as in the case at Guelmim reported here), the need to correct them with an adequate permanent insulation method, because the non-permanent corrections have been shown to deteriorate over the years (González et al. 2007, Martín et al. 2015). By correcting these dangerous pylons, the electricity company not only contributing to the conservation of the endangered raptors, but also saving the costs of the recurring maintenance after each power outage caused by bird electrocution.
- Develop close cooperation between both countries in terms of knowledge exchange about urgent conservation problems (e.g. electrocution, poisoning...) facing these endangered raptors (like organising workshops for the benefit of the Forestry technicians, people from the NGOs sector, staff of the electricity company...).



Figure 3: Electrocuted Spanish Imperial Eagle still on the pylon, Guelmim region, Morocco, 22 October 2015 (photo: Ali Irizi).

Acknowledgments

We would like to thank Mr M'hamed Irizi, the director of the 'Service Provincial des Eaux et Forêts de Guelmim' (HCEFLCD) for the support he provided for the search team at Guelmim during the first visit.

References

- Alonso J. C., Palacín, C., Martín, C. A., Mouati, N., Arhazaf, Z. L. & Azizi, D. 2005. The Great Bustard *Otis tarda* in Morocco: a re-evaluation of its status based on recent survey results. *Ardeola* 52: 79–90.
- Angelov I., Hashim, I. & Oppel, S. 2013. Persistent electrocution mortality of Egyptian Vultures *Neophron percnopterus* over 28 years in East Africa. *Bird Conservation International* 23: 1–6. <http://dx.doi.org/10.1017/S0959270912000123>
- Bergier, P., Franchimont, J. & CHM. 2013. Les oiseaux rares au Maroc. Rapport de la Commission d'Homologation Marocaine, Numéro 18 (2012). *Go-South Bull.* 10: 1–16.
- Bergier, P., Franchimont, J. & CHM. 2014. Les oiseaux rares au Maroc. Rapport de la Commission d'Homologation Marocaine, Numéro 19 (2013). *Go-South Bull.* 11: 1–13.
- Bergier, P., Franchimont, J., Thévenot, M. & MRBC. 2011. Rare birds in Morocco: report of the Moroccan Rare Birds Committee (2007–09). *Bulletin of the African Bird Club* 18: 40–60.
- BirdLife International. 2015. *European Red List of Birds*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Boshoff, A. F., Minnie, J. C., Tambling, C. J. & Michael, M. D. 2011. The impact of power line-related mortality on the Cape Vulture *Gyps coprotheres* in a part of its range, with an emphasis on electrocution. *Bird Conservation International* 2: 311–327. <http://dx.doi.org/10.1017/S095927091100013X>
- Chevallier, C., Hernández-Matías, A., Real, J., Vincent-Martin, N., Ravayrol, A. & Besnard, A. 2015. Retrofitting of power lines effectively reduces mortality by electrocution in large birds: an example with the endangered Bonelli's eagle. *Journal of Applied Ecology* 52: 1465–1473. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12476>
- CMAyOT de la Junta de Andalucía. 2015a. Plan de recuperación del Águila Imperial Ibérica. Accessed on 19 November 2015, Available at: www.juntadeandalucia.es/medioambiente/ (direct link: <http://goo.gl/XMJJxd>)
- CMAyOT de la Junta de Andalucía. 2015b. La población reproductora del Águila Imperial Ibérica supera por primera vez en Andalucía las 100 parejas nidificantes. Accessed on 19 November 2015, Available at: www.juntadeandalucia.es/medioambiente/ (direct link: <http://goo.gl/VFUL83>)
- Donázar, J. A., Palacios, C. J., Gangoso, L., Ceballos, O., González, M. J. & Hiraldo, F. 2002. Conservation status and limiting factors in the endangered population of Egyptian Vulture (*Neophron percnopterus*) in the Canary Islands. *Biological Conservation* 107: 89–97. [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00049-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00049-6)
- Fouarge, J. P. 1992. Observation de deux aigles imperiaux ibériques (*Aquila heliaca adalberti*) dans la region de Chechaouen. *Porphyrio* 4: 25–28.
- Ferrer, M. 2012. *Birds and power lines – From conflict to solution*. ENDESA S.A. and Fundación Migres, Sevilla.
- Ferrer, M. & Hiraldo, F. 1992. Man-induced sex-biased mortality in the Spanish imperial eagle. *Biological Conservation* 60: 57–60.
- Ferrer, M., de La Riva, M. & Castroviejo, J. 1991. Electrocution of raptors on power lines in southwestern Spain. *J. Field Ornithol.* 62:181–190.
- González, L. M. & Oria, J. 2004. Águila Imperial Ibérica *Aquila adalberti*. In: A. Madroño, C. González & J. C. Atienza, (eds). *Libro rojo de las aves de España*. pp. 145–152 Dirección General para la Biodiversidad (MMA)-Sociedad Española de Ornitología (SEO/BirdLife), Madrid.
- González, L. M., Heredia, B., González, J. L. & Alonso, J. C. 1989. Juvenile dispersal of Spanish Imperial Eagles. *J. Field Ornithol.* 60: 369–379.
- González, L. M., Margalida, A., Mañosa, S., Sánchez, R., Oria, J., Molina, J. I., Caldera, J., Aranda, A. & Prada, L. 2007. Causes and spatio-temporal variations of non-natural mortality in the Vulnerable Spanish imperial

- eagle *Aquila adalberti* during a recovery period. *Oryx* 41: 495–502.
<http://dx.doi.org/10.1017/S0030605307414119>
- González, L. M., Oria, J., Sánchez, R., Margalida, A., Aranda, A., Prada, L., Caldera, J. & Molina, J. I. 2008. Status and habitat changes in the endangered Spanish Imperial Eagle *Aquila adalberti* population during 1974–2004: implications for its recovery. *Bird Conservation International* 18: 242–259.
<http://dx.doi.org/10.1017/S0959270908000245>
- Guillaume, C.-P. 2005. Observation de Cigognes blanches *Ciconia ciconia* électrocutées dans le Moyen Atlas. *Go-South Bull.* 2: 34–35.
- Hernández-Matías, A., Real, J., Parés, F. & Pradel, R. 2015. Electrocution threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) in Southern Europe. *Biological Conservation* 191: 110–116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.028>
- Janss, G. F. E. & Ferrer, M. 1998. Rate of birds collision with power lines: effects of conductor- marking and static wire marking. *J. Field Ornithol.* 69: 8–17.
- Janss, G. F. E. & Ferrer, M. 1999. Mitigation of raptor electrocution on steel power poles. *Wildlife Society Bulletin* 27: 263–273.
- Janss, G.F.E. & Ferrer, M. 2000. Common crane and great bustard collision with power lines: collision rate and risk exposure. *Wildlife Society Bulletin* 28: 675–680.
- Janss, G.F.E. & Ferrer, M. 2001. Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. *Bird Conservation International* 11:3–12.
- Janss, G. F. E., Lazo, A. & Ferrer, M. 1999. Use of raptors models to reduce avian collisions with powerlines. *J. Raptor Res.* 33: 154–159.
- López-López, P., Ferrer, M., Madero, A., Casado, E., & McGrady, M. 2011. Solving man-induced large-scale conservation problems: the Spanish Imperial Eagle and power lines. *PLoS ONE* 6(3): e17196.
<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0017196>
- MAGRAMA, 2014. Grupo de trabajo del águila imperial ibérica. Madrid, 25 de noviembre de 2014. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Martín, J., Garrido, J. R., Dwyer, J. & Aniceto, J. J. 2015. Tendidos eléctricos: no podemos bajar la guardia. *Quercus* (356): 78–81.
- Muriel, R., Ferrer, M., Casado, E., Madero, A. & Pérez Calabuig, C. 2011. Settlement and successful breeding of reintroduced Spanish Imperial Eagles *Aquila adalberti* in the Province of Cadiz (Spain). *Ardeola* 58: 323–333. <http://dx.doi.org/10.13157/arla.58.2.2011.323>
- Palma, L. 2012. A preliminary overview of monitoring for raptors in Portugal. *Acrocephalus* 33: 309–313.
- Ramírez, J. 2009. Noticiario ornitológico del Estrecho de Gibraltar 2008. *Migres* 1: 175–190.
- Thévenot, M., Vernon, R. & Bergier, P. 2003. *The Birds of Morocco*. BOU Checklist No. 20. BOU, Tring.
- Tintó, A., Real, J., & Mañosa, S. 2010. Predicting and correcting electrocution of birds in Mediterranean areas. *Journal of Wildlife Management* 74: 1852–1862. <http://dx.doi.org/10.2193/2009-521>
- Torralvo, C.A. Ramírez, J., Onrubia, A., Elorriaga, J., de la Cruz, A., Pérez, B., González, M., Benjumea, R., Yáñez, B., Barrios, L., Arroyo, G.M. & Muñoz, A.-R. 2011. Noticiario ornitológico del Estrecho de Gibraltar 2009. *Migres* 2: 101–121

Chapitre 5 :

Corrélat de l'électrocution persistante et la mortalité des rapaces dans la province de Guelmim-Oued Noun, Maroc

(Article publié : Ostrich - Journal of African Ornithology)

Résumé :

L'électrocution sur les lignes électriques mal conçus est considérée comme l'une des principales causes de mortalité non naturelle pour les oiseaux de grande taille à l'échelle mondiale. L'étude de la mortalité des rapaces sur des lignes de distribution à moyenne tension (22 kV) a été menée au sud-ouest du Maroc. Durant la période 2016–2019, le suivi régulier de 323 pylônes, le long de 53.5 km, a permis de recenser un total de 65 cadavres de rapaces électrocutés. Les espèces les plus touchées sont la Buse féroce et l'Aigle de Bonelli (49.23 % et 29.23 %, respectivement). Le taux d'électrocution moyen était de 0.201 carcasse/pylône. Les pylônes métalliques, les isolateurs suspendus, les composants électriques (transformateurs et sectionneurs) et l'armement ayant une configuration en nappe voûte ont eu la plus forte incidence sur l'électrocution des rapaces. Afin de réduire cette mortalité, aussi bien, pour les rapaces nicheurs résidents que pour les hivernants menacés, tels que l'Aigle de Bonelli et l'Aigle ibérique, des mesures correctives ou de remplacement devraient être appliquées aux pylônes dangereux dans la zone.



Ostrich

Journal of African Ornithology

ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: <https://www.tandfonline.com/loi/tost20>

Correlates of persistent electrocution-related mortality of raptors in Guelmim-Oued Noun province, Morocco

Ali Irizi , Mohamed Aourir , Mohamed Aziz El Agbani & Abdeljebbar Qninba

To cite this article: Ali Irizi , Mohamed Aourir , Mohamed Aziz El Agbani & Abdeljebbar Qninba (2021): Correlates of persistent electrocution-related mortality of raptors in Guelmim-Oued Noun province, Morocco, Ostrich, DOI: 10.2989/00306525.2020.1836059

To link to this article: <https://doi.org/10.2989/00306525.2020.1836059>



Published online: 22 Feb 2021.



Submit your article to this journal [↗](#)



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=tost20>

Correlates of persistent electrocution-related mortality of raptors in Guelmim-Oued Noun province, Morocco

Ali Irizi¹, Mohamed Aourir^{2*} , Mohamed Aziz El Agbani¹ and Abdeljebbar Qninba¹

¹ Institut Scientifique, Mohammed V University, Rabat, Morocco

² Department of Biology, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco

*Correspondence: maourir@gmail.com

Electrocution on poorly designed power pylons is one the most important human-related causes of large bird mortality worldwide. Raptor mortality caused by 22 kV distribution power lines was studied in south-west Morocco. We surveyed 323 pylons (53.5 km) and collected 65 carcasses of electrocuted raptors in the period 2016 to 2019. The species most affected by electrocution were Long-legged Buzzard and Bonelli's Eagle (49.23% and 29.23%, respectively). Average electrocution rate was 0.201 carcasses pylon⁻¹. Metal pylons, suspended insulators, devices and vaulted configuration had the highest electrocution events. Substitution or corrective measures should be applied on existing pylons that pose the greatest risk to resident breeding and threatened wintering raptors, such as Bonelli's Eagle and Spanish Imperial Eagle in this area.

Corrélat de l'électrocution persistante et la mortalité des rapaces dans la province de Guelmim-Oued Noun, Maroc

L'électrocution sur les lignes électriques mal conçus est considérée comme l'une des principales causes de mortalité non naturelle pour les oiseaux de grande taille à l'échelle mondiale. L'étude de la mortalité des rapaces sur des lignes de distribution à moyenne tension (22 kV) a été menée au sud-ouest du Maroc. Durant la période 2016–2019, le suivi régulier de 323 pylônes, le long de 53.5 km, a permis de recenser un total de 65 cadavres de rapaces électrocutés. Les espèces les plus touchées sont la Buse féroce et l'Aigle de Bonelli (49.23% et 29.23%, respectivement). Le taux d'électrocution moyen était de 0.201 carcasse/pylône. Les pylônes métalliques, les isolateurs suspendus, les composants électriques (transformateurs et sectionneurs) et l'armement ayant une configuration en nappe voûte ont eu la plus forte incidence sur l'électrocution des rapaces. Afin de réduire cette mortalité, aussi bien, pour les rapaces nicheurs résidents que pour les hivernants menacés, tels que l'Aigle de Bonelli et l'Aigle ibérique, des mesures correctives ou de remplacement devraient être appliquées aux pylônes dangereux dans la zone.

Keywords: pylon configuration, power lines, South-west Morocco

Introduction

Power lines are one of the major causes of unnatural deaths for birds in the African-Eurasian Regions (e.g. Bevanger 1998; Ferrer et al. 1991; Lehman et al. 2007; Boshoff et al. 2011; Prinsen et al. 2011; Loss et al. 2015; Loss et al. 2016). Avian electrocutions are also reported from the United States, Canada (Lehman et al. 2007; Harness and Wilson 2001; Lehman et al. 2010), the Dominican Republic (Spencer 2016), Argentina (Ibarra and De Lucca 2015; Galmes et al. 2017) and in other parts of the world (Eccleston and Harness 2018). Scientific understanding of the links between power lines and bird mortality, and effectiveness of mitigation measures, has advanced over the past decades (e.g. Bevanger 1994; Jenkins et al. 2010; Loss et al. 2015; Barrientos et al. 2012).

Electrocution is primarily associated with electricity distribution lines (Janss and Ferrer 1999). Depending on pylon design, electrocution usually occurs when a bird, that perches, roosts or nests on power pylon, makes

contact with two energised wires or an energised wire, or by touching only one conductor when it perches on a metal cross-arm (Ferrer et al. 1991; Janss and Ferrer 2001; Lehman et al. 2007). The most threatened groups of birds by electrocution, in Eurasia and Africa, are birds of prey (Ferrer 2012; Prinsen et al. 2011), such as has been documented in the threatened Spanish Imperial Eagle *Aquila Adalberti*, in Doñana National Park (Ferrer et al. 1991; Ferrer and Hiraldo 1992; González et al. 2007; López-López et al. 2011) and in the Bonelli's Eagle *Aquila fasciata*, in both France and Spain (Hernández-Matías et al. 2015), and in Italy (Rubolini et al. 2001).

Raptor electrocutions on power lines are well documented in the Southern Europe region (Schürenberg et al. 2010; Ferrer 2012), though regional research has not been widely conducted in Africa. Sub-Saharan Africa alone supports breeding populations of >20% of all raptor species globally, while also hosting more than 20 regular Palearctic

migratory raptors (Ferguson-Lees and Christie 2001). The expanding network of power distributions lines throughout African countries is exposing ever-greater numbers of birds to the risk of electrocution (Angelov et al. 2013, Amar et al. 2018). In South Africa, at least 14 diurnal raptor species have been electrocuted on power facilities (Boshoff et al. 2011). Previous studies have pointed to electrocution as the primary cause of raptor population declines of Egyptian Vulture *Neophron percnopterus*, in the western Palearctic (Donazar et al. 2002) and the endemic Cape Griffon Vulture *Gyps coprotheres*, in South Africa (Krüger et al. 2004; Boshoff et al. 2011).

In Morocco, the power sector is experiencing a phase of rapid changes and rural electrification programme has grown fast since the 1990s, thereby pushing the rural electrification rate to 98% (Ameqroud 2015). However, there is no legislation demanding the adoption of prevention measures against electrocution and collision with power lines on the national level. Thus, the Moroccan network of power lines has not been equipped with proper mitigating measures. Consequently, electrocution may pose a serious threat to a number of larger species of birds, particularly storks and raptors.

In Morocco, little attention has been paid to birds of prey affected by electrocution and published information on the topic is totally lacking, except the case of an unusually high occurrence of raptor electrocution deaths addressed in south-west Morocco (Amezian et al. 2015; Godino et al. 2016). Because these casualties occurred in a short period in a restricted area, we assume that this exceptional high mortality event was related to prey availability after an exceptionally wet year (2014). Thus, we conducted a long-term survey of dead raptors in the same area. Our objectives were to: (1) assess the impact of electrocution on raptors in a region of SW Morocco, in which mortality was known to be high, and (2) identify the most dangerous pylons where corrective actions should be carried out within this area. In the current study, we discuss the potential impact that electrocution may have on the dispersing/wintering of large raptor species, such as the globally threatened Spanish Imperial Eagles and populations of resident breeding Bonelli's Eagle and Long-legged Buzzard, and we suggest additional mitigation to eliminate or minimise the negative effects of these lethal pylons.

Materials and methods

Study area

The study took place in the south-west Moroccan province of Guelmim-Oued Noun (28°59'24" N, 10°35'60" W; Figure 1). This region was previously identified as having an unusually high occurrence of raptor electrocutions (Amezian et al. 2015; Godino et al. 2016), two 22 kV distribution power lines (power line A and power line B), were sampled. The power line A, which has been in operation since 2001, runs 27.7 km and connects the 'Plage blanche' area on the Atlantic coast (28°57'53.0" N, 10°35'38.2" W) with the national road R1 (28°48'28.9" N, 10°24'26.9" W), 50 km south-west of Guelmim city (Figure 1). The power line B, in operation since 2005, runs 25.5 km and connects the village 'El Fowja' (28°52'54.7" N, 10°30'30.7" W) with the power

line A at the 'Aïn Rahma' village on 'Bou-Issafen' valley (28°52'44.3" N, 10°30'23.7" W). Both three-phase power lines travel over open steppe and undulating landscape with sparse human activity. The topography is characterised by small mountain massifs, ranging from 0 to 650 m asl, separated by undulating rocky plains. The area is typically arid Mediterranean climate, with an average annual rainfall of less than 150 mm and extreme variation in temperatures, notably daily values up to 40 °C during summer, influenced by direct Saharan effects (Le Houérou 1995). The combined effects of direct Saharan influence on the climate and topography result in a dominance of scarcely vegetated steppe landscapes, consisting mostly of thermophilous flora (infra-Mediterranean type) composed of succulent plants (mainly *Euphorbia officinarum*, *Euphorbia obtusifolia*) and shrubs (*Boraginaceae*, *Chenopodiaceae* and *Rubaceae*) (Peltier 1982; Msanda et al. 2002).

These particularly well preserved steppe-lands offer abundant prey items for raptors, including Barbary Partridge *Alectoris barbara*, Bibron's Agama *Agama impalearis*, Barbary Ground Squirrel *Atlantoxerus getulus*, Lesser Egyptian Jerboa *Jaculus jaculus* and Fat Sand Rat *Psammomys obesus*, with a high local density during wet years (Aulagnier 2016; Irizi et al. 2019). The area hosts a population of resident breeding raptors, including Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* (Irizi et al. 2019), Long-legged Buzzard, *Buteo rufinus*, Lanner Falcon *Falco biarmicus*, Golden Eagle *Aquila chrysaetos*, Common Kestrel *Falco tinnunculus* and Pharaoh Eagle-owl *Bubo ascalaphus* (Al and MA pers. obs.). The region is also an important temporary settlement area for dispersing/wintering immature Spanish Imperial Eagles *Aquila adalberti*, (Morandini et al. 2019). The rural population density drastically declined to fewer than 20 inhabitants per km² during the last thirty years (Barthes et al. 2016) and human activity was scarce. The main sector of activity is traditionally rain-fed extensive agriculture and spineless variety of prickly pear cactus cultivation, covering nowadays more than 50% of the total area (Genin et al. 2017).

Field survey

From April 2016 to December 2019, we monitored two distribution power lines of 22 kV voltage, with a total of 323 electric pylons. Surveys were repeated five times during the study period (except during 2018); on 29 April and on 12 November 2016, and repeated on 4 February and 16 January 2017 and 26 November 2019, to search for avian carcasses. During each survey, the whole length of the power line was examined by walking, except where the road was immediately adjacent to a power line. In such a case, we drove the distance between pylons and stopped to inspect the ground beneath each pylon. The 5 m radius surrounding each pylon was searched for any evidence of a bird carcass, including whole birds, parts of a bird, bones or feathers (Janss 2000), while birds that were found under a corridor of 10 to 15 m width on both sides of the power line, were considered to be suspected collisions (Bevanger 1998; Janss 2000). Moreover, we recorded for every single pylon sampled: the location (latitude/longitude) of the structure pylon using Garmin GPS receiver (Model GPS map 60Cx; Garmin International, Olathe, KS, USA),

pylon type (concrete or metal), configuration of the top of the pylon, species name and date of carcass found below a pylon. If the remains of a raptor that were found in the study area could not be determined, the evidence was recorded as 'undetermined'. For each survey, we removed all evidence that we found for preventing duplication of data on subsequent visit. During this work, we were not able to determine removal rate of carcasses by scavengers.

We classified monitored pylons (total pylons = 323) in terms of four technical variables (conductivity, conductors, technical elements and configuration) (Tintó et al. 2010).

We calculated the proportion with which we found raptor species electrocuted and estimated electrocution rates (carcasses pylon⁻¹) for every category of each variable and electrocution rates for all surveyed pylons (carcasses/total pylons) (Table 1, Figure 2).

Results

Occurrence of electrocution among species

We monitored a total of 323 electricity pylons in Guelmim-Oued Noun province (south-west Morocco), where we

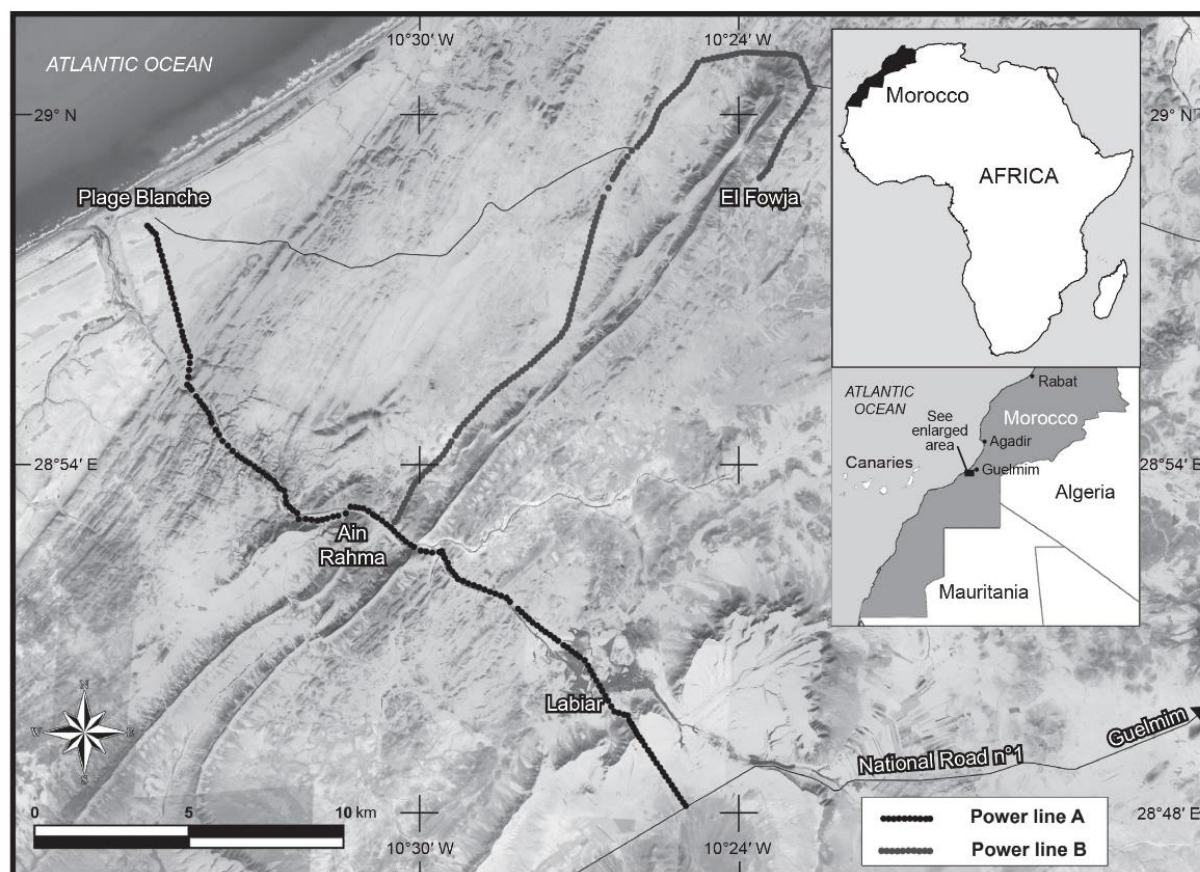


Figure 1: Location of the monitored power lines in the south-west Guelmim-Oued Noun province, Morocco

Table 1: Species and number of raptors found electrocuted in the south-west Guelmim-Oued Noun province, Morocco, April 2016–December 2019

Species	Amezian et al. 2015	Current study			
		Line A	Line B	Total	%
Bonelli's Eagle <i>Aquila fasciata</i>	7	14	5	19	29.23
Long-legged Buzzard <i>Buteo rufinus cirtensis</i>	–	6	26	32	49.23
Golden Eagle <i>Aquila chrysaetos</i>	1	–	1	1	1.53
Spanish Imperial Eagle <i>Aquila adalberti</i>	3	1	1	2	3.7
Lanner Falcon <i>Falco biarmicus</i>	–	–	7	7	10.76
Undetermined	–	4	–	4	6.15
Total	11	25	40	65	100

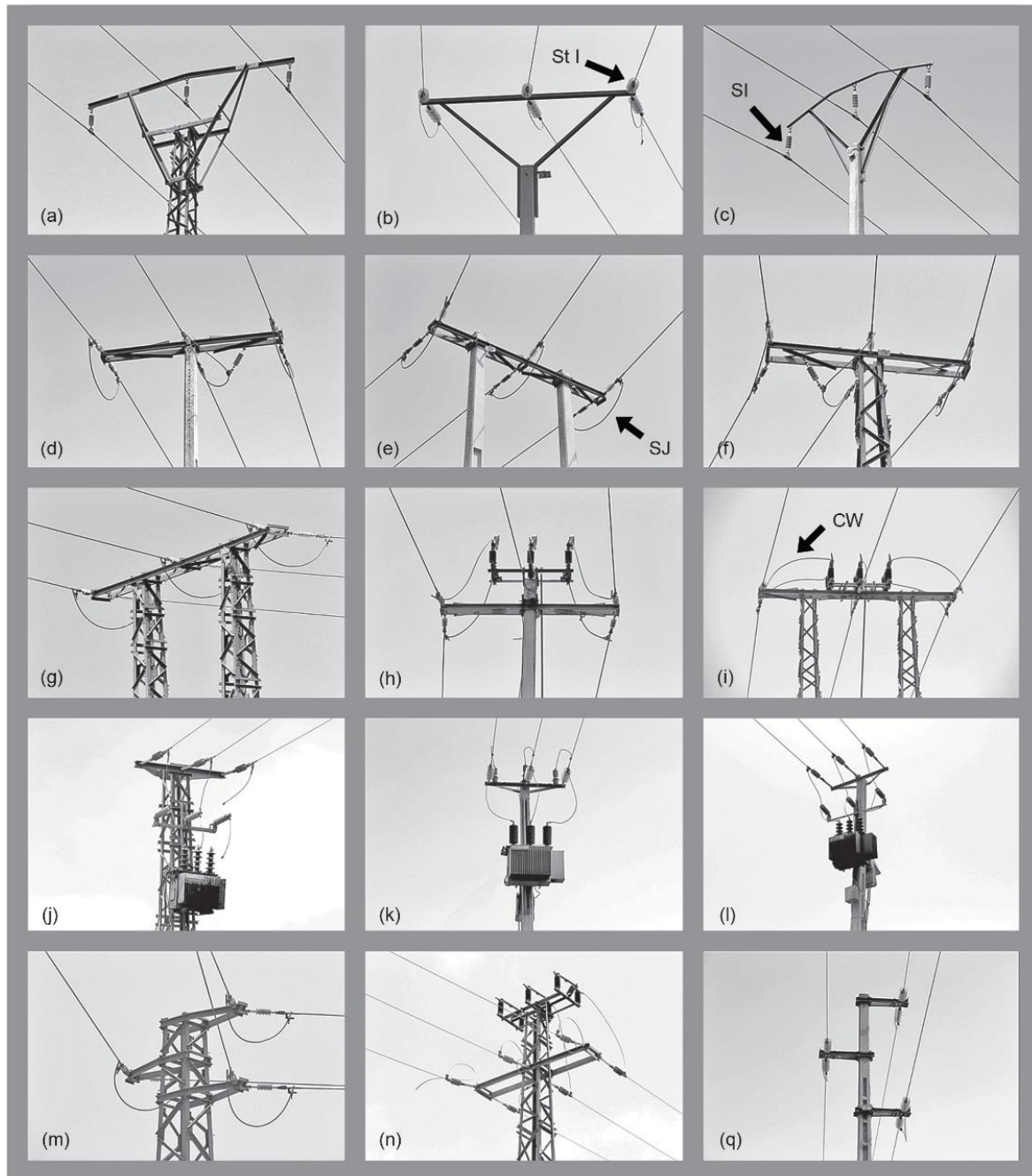


Figure 2: Illustrations of the different categories of power pylons found in the South-west Guelmim-Oued Noun province, Morocco, April 2016–December 2019. (a, b, c) vault, (d, e, f, g, h, i) flat or cross, (m) perpendicular, (q) alternate. Conductors: (a, c) suspended, (b, d, e, f, g) strained (horizontal), (h, i, k) all exposed. Technical elements: (a, b, c, d, e, f, g) only insulators, (h, i, n) connector wires, (j, k, l) devices. SI: suspended insulator; StI: Strained insulator; CW, connector wires; SJ, suspended jumper

encountered a total of 65 carcasses, belonging to five species (Table 1). No deaths were attributed to collision. Raptors carcasses and remains included: Long-legged Buzzard, *Buteo rufinus* (49.23%; $n = 32$), Bonelli's

Eagle *Aquila fasciata* (29.23%; $n = 19$), Lanner Falcon *Falco biarmicus* (10.76%; $n = 7$), Spanish Imperial Eagles *Aquila adalberti* (3.7%; $n = 2$), Golden Eagle *Aquila chrysaetos* (1.53%; $n = 1$) and four unidentified

raptor species (6.15%). Of the casualties, 38.46% ($n = 25$) were found along the line A and 61.53% ($n = 40$) raptor carcasses, belonging to five different known species, were found under electricity pylons along the line B (Table 1).

Occurrence of electrocution by pylon configuration

We distinguish 15 different power pylon types based on the configuration of electrical hardware on support structures (Figure 2), but electrocutions occurred only on seven different pylon designs (Table 2). A total of 65 carcasses were found below 15 (4.6%) of 323 pylons monitored. Average electrocution rate was 0.20 carcasses pylon⁻¹ inspected and average mortality rate was 4.33 carcasses pylon⁻¹. Metal pylons, suspended insulators, devices and vaulted configuration had the highest electrocution events (Table 2). The categories that had the highest electrocution rates (carcasses pylon⁻¹) were metal pylons (1.173), presence of technical element devices (0.250), vault configuration (0.248) and presence of suspended conductors (0.241). Overall, 93.84% of casualties were recorded beneath 246 vault configuration pylons (76.16% of all pylons surveyed). Highest electrocution casualties (78.46%, 51 casualties) were observed on 19 metal vaulted configuration pylons with presence of suspended conductors. Among a total of 65 casualties, including 28 carcasses (43% of all registered deaths) were found beneath a single metal vault-shaped frame pylon, located in prominent position (Figure 3a). However, many of these were judged to be more than several months or years old. Given these findings, metallic vault configuration pylon is identified as critically dangerous in our study area.

The next most dangerous pylon categories, in terms of electrocution rate (carcasses pylon⁻¹), were the presence of connector wires (0.166), all exposed conductors (0.142) and strained (horizontal) insulators (0.108) (Table 2). The lowest electrocution rate values were concrete pylons (0.039 carcasses pylon⁻¹) and flat or cross configuration pylons (0.053 carcasses pylon⁻¹).

Discussion

Our research revealed the persistence of raptor mortality on distribution powerlines over several years in Guelmim-Oued Noun province. However, we did not perform any analysis of carcass removal rate by scavengers (fox *Vulpes vulpes*, African wildcat *Felis silvestris lybica* and African wolf *Canis lupaster*), widely occurring across the area, and thus our results should be taken as a minimum estimate of the actual number of electrocuted birds (the number of the electrocuted birds could be even higher). We recorded 65 casualties, among which the species most affected by electrocution were Long-legged Buzzard and Bonelli's Eagle (49.23% and 29.23%, respectively). Conversely, Lanner Falcons constitute a low percentage of casualties (10.76%), despite their abundance in the area (AI and MA pers. obs.) as did the threatened Spanish Imperial Eagle (3.7%). Such high mortality values, and particularly adult mortality, may have significant negative effects for resident/breeding species on the local scale, as well as for threatened wintering/dispersing species. Indeed, previous studies showed that the impact of electrocution mortality, even low levels, can be especially severe for large raptors and may threaten the overall population viability of a long-lived species, such as Spanish Imperial Eagle and Bonelli's Eagle (Real et al. 2001; Hernández-Matías et al. 2015). The wintering raptor mortality occurring at such high rates at Guelmim-Oued Noun province can be a limiting factor for the conservation of this species in the Iberian Peninsula, but also will have a negative effect on the possible recolonization of Morocco in the future (Amezian et al. 2015; Morandini et al. 2020). Moreover, electrocution in our study area may have a direct negative demographic impact on population of resident raptor species (e.g. Bonelli's Eagles, Long-legged Buzzards, Golden Eagle), because they are breed in this specific area (Irizi et al. 2019).

According to El Khamlichi (2017), more than 40 000 raptors representing 20 species have been recorded

Table 2: Technical description and number of pylons causing raptor electrocutions and the number of carcasses (n) found in total along the two investigated lines in south-west Guelmim-Oued Noun province, Morocco, April 2016–December 2019

Variables and categories	Number of pylons	Pylons (%) ($N/\text{total pylons}$)	Pylons with carcasses	Number of carcasses (n)	Carcasses (%) ($n/\text{total carcasses}$)	Electrocution rate (carcasses pylon ⁻¹) (n/N)	Electrocution rate ($n/\text{total pylons}$)
Conductivity							
Concrete	277	85.76	8	11	16.92	0.039	0.034
Metal	46	14.24	12	54	83.7	1.173	0.167
Conductors							
Suspended	224	69.35	12	54	83.7	0.241	0.167
Strained	92	28.50	7	10	15.38	0.108	0.031
All exposed	7	2.167	1	1	1.54	0.142	0.0031
Technical elements							
Only insulators	313	96.90	18	63	96.92	0.201	0.195
Connector wires	6	1.85	1	1	1.54	0.166	0.0031
Devices	4	1.24	1	1	1.54	0.250	0.0031
Configuration							
Flat or cross	75	23.22	4	4	6.15	0.053	0.012
Vault	246	76.16	16	61	93.84	0.248	0.188
Alternate	2	0.62	0	0	0	0	0

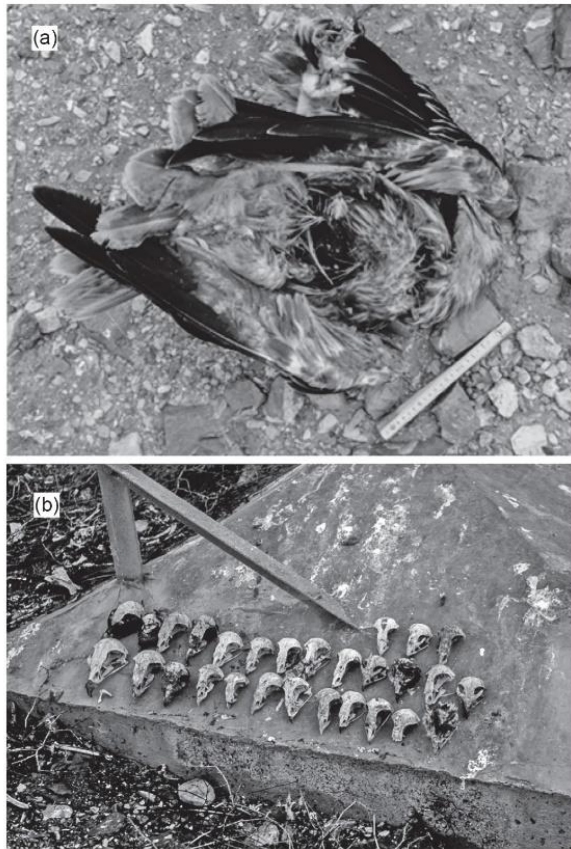


Figure 3: (a) Spanish Imperial Eagle electrocution in the south-west Guelmim-Oued Noun province, Morocco. (b) Remains of raptor species found electrocuted below a single vault-shaped metal pylon in the south-west Guelmim-Oued Noun province, Morocco

passing across the Straits of Gibraltar to western Africa, during the prenuptial migration. For example, dispersal of Spanish Imperial Eagles and Iberian Bonelli's Eagles in Morocco is becoming regular (Iglesias and Alvarez 2016). The wide province of Guelmim-Oued Noun, an area with a high local density of prey (such as the fat sand rat), especially during wet years, attracts many wintering raptor species, mostly attracted by the search for food (Ferrer 1993). Recently, Morandini et al. (2020) identified the Guelmim-Oued Noun province as a temporary settlement area for young Spanish Imperial Eagles in North Africa. Indeed, among raptors affected by electrocution in the Guelmim-Oued Noun province, we found three occurrences of tagged eagles (one Bonelli's Eagle and two Spanish Imperial Eagles, including one ringed in Spain with a satellite transmitter) (Figure 3a). Additionally, Amezia et al. (2015) found three Spanish Imperial Eagles (including the one with a satellite transmitter) in the same area. Moreover, the area hosts a large population of resident breeding (16 active nests) and dispersing immature Bonelli's Eagles (Irizi et al. 2019), as well as juveniles and immature of Long-legged Buzzards and Golden Eagles (AI and MA pers. obs.).

Technical characteristics of power pylons (design and configuration of electrical hardware on support structures) are the most obvious factors contributing to making pylons potentially dangerous for raptors (Tintó et al. 2010; Ferrer 2012). Contrary to what has been reported by Guzman and Castaño (1998) and Ferrer (2012), vaulted configuration pylons, with suspended insulators, were identified as critically dangerous to raptors in our study area. In Catalonia (NE Spain), Tintó et al. (2010) found that vault designs had higher electrocution rates (0.080 carcasses pylon⁻¹), especially pylons with dominant positions in the landscape.

Our results indicate that the metallic pylon in vault-shaped frame and the presence of suspended insulators above the cross-arms are the most dangerous characteristics in electric pylons in our study area. The presence of suspended insulators above the cross-arm seems to be the most impacting factor because of the close distance between the suspended energised wire and the cross-arm, where large perching raptors may be electrocuted by making contact with just one conductor (Bayle 1999; Janss and Ferrer 1999). This type of construction affects also smaller birds, like Lanner Falcon, probably as a result of their high density in this area and the frequency by which these pylons are used. The concrete pylons with a metallic horizontal-shaped frame with a jumper wire below middle insulator are also hazardous, as a result of the greatly reduced clearance between energised middle jumper wire and the possible perch sites and electrocution occurs when raptors perch under the central suspended middle jumper or wire-to cross-arm and wire-to-wire contacts.

Topography and habitat also have a considerable impact on mortality of birds (Tintó et al. 2010; Dwyer et al. 2014). Previous studies conducted in Spain have shown that particular power pylons located in dominant sites and surrounded by low vegetation density (Tintó et al. 2010; Real et al. 2015) had higher electrocution events.

Similarly, we found 28 (43%) carcasses beneath a single vaulted configuration pylon on a single site, located in prominent position with a high availability of Fat Sand Rat (Irizi et al. 2020), in an area with no available natural perches. High prey abundance is identified as an important parameter for local raptor concentrations and a predictor of a higher electrocution risk in open landscapes (Guil et al. 2011; Dwyer et al. 2014). Moreover, power pylons in desert areas (Donázar et al. 2002), grasslands (Harness et al. 2008), or other habitats with few available natural perches (Lehman et al. 2007), are more likely used by raptors to perch on. Because much of the study area was grassland and open steppe land, power pylons are the tallest structure in the landscape and consequently are used as sites for perching, roosting and hunting.

In summary, our results indicate that electrocution of raptors has persisted for several years in South-west Guelmim-Oued Noun province and electrocution incidents occurred in a few dangerous pylon designs. Therefore, mitigating by changing or reconfiguring of the technical characteristics of dangerous infrastructures (e.g. vaulted configuration) to a safe design, are urgently needed in South-west Guelmim-Oued Noun province and across ecosystems in the country. There is good evidence that identifying and correcting dangerous individual pylons can

significantly reduce the number of electrocution casualties (Tintó et al. 2010), but applying this procedure at a large spatial scale is impractical because of the expense time needed (Pérez-García et al. 2016). Conversely, the effectiveness of retrofitting does not always reduce the risk of raptor electrocutions, because avian electrocution risk is distributed unevenly among distribution pylons and not all technical modifications entail equal effectiveness or duration (Tintó et al. 2010). Thus, to minimise avian electrocution it is important to identify and prioritise areas with the highest risk of electrocution among distribution pylons, taking into account a representative sample of casualties and the combination of effects of both pylon design elements and local environmental characteristics of their location. For example, Spain provides good case studies for the assessment and development of methods enabling precise knowledge of electrocution in birds (Tintó et al. 2010; Hernández-Matías et al. 2015; Real et al. 2015). Those methods can subsequently be implemented in other Mediterranean regions, such as Morocco and other North African countries, where birds are frequent victims of a rapidly growing network of poorly designed distribution lines. Additional research is required, at large scales in Morocco, to identify other mortality hotspots and subsequently to undertake mitigation actions on existing power lines that pose the greatest risk to birds in general. Finally, appropriate national legislation should be established both to retrofit already existing high-risk electricity infrastructure and to implement practical measures to ensure safe installation of new power lines eliminating the risk of bird deaths in general.

Acknowledgments — We are grateful to the Direction provinciale du Département des Eaux et Forêts–Guelmim-Oued Noun for the support on the field. Special thanks go to El Houssin, a local villager who in several ways helped us. The authors also thank the anonymous reviewers for their suggestions and constructive comments.

ORCID

Mohamed Aourir: <https://orcid.org/0000-0002-5469-9078>

References

- Amar A, Buij R, Suri J, Sumasgutner P, Virani MZ. 2018. Conservation and ecology of African raptors. In: Sarasola JH, Grande JM, Negro JJ (Eds.), *Birds of Prey: Biology and Conservation in the XXI Century*. New York: Springer-Verlag. pp 419–455. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73745-4_18.
- Amegrou T. 2015. Morocco's power sector transition: achievements and potential. Paper produced in the IAI-OCP Policy Center Partnership. Instituto Affari Internazionali (IAI). <http://www.iai.it/sites/default/files/iaiw1505.pdf>. [Accessed 23 March 2020].
- Amezian M, Irizi A, Errati A, Loran H, El Khamlichi R, Morandini V, González DG, Garrido JR. 2015. Spanish Imperial Eagles and other eagles found electrocuted in Morocco and proposition of correction measures <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.1613292>. [Accessed 23 February 2020].
- Angelov I, Hashim I, Oppel S. 2013. Persistent electrocution mortality of Egyptian Vultures *Neophron percnopterus* over 28 years in East Africa. *Bird Conservation International* 23: 1–6. <https://doi.org/10.1017/S0959270912000123>.
- Aulagnier S. 2016. *Atlantoxerus getulus*. IUCN red list of threatened species. IUCN. <https://doi.org/10.2305/iucn.uk.20163.rlts.t2358a2225.1981.en>. [Accessed 12 February 2020].
- Barrientos R, Ponce C, Palacín C, Martín CA, Martín B, Alonso JC. 2012. Wire marking results in a small, but significant reduction in avian mortality at power lines: a BACI designed study. *PLoS ONE* 7: e32569. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032569>.
- Barthes A, Baudot P, Alifriqui M, Michon G, Genin D, Kamil H, Romagny B, Simenel R. 2016. Innovative dynamics in the arid Moroccan hinterlands: the case of prickly pear, an emerging territorial resource. In: Berriane M, Michon G (Eds.), *Mediterranean terroirs: environment, patrimony and development in Morocco*. Marseille: IRD Editions and AUF. pp 145–158.
- Bayle P. 1999. Preventing birds of prey problems at transmission lines in Western Europe. *The Journal of Raptor Research* 33: 43–48.
- Bevanger K. 1994. Bird interactions with utility structures: collision and electrocution, causes and mitigating measures. *Ibis* 136: 412–425. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1994.tb01116.x>.
- Bevanger K. 1998. Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation* 86: 67–76. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00176-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00176-6).
- Boshoff AF, Minnie JC, Tambling CJ, Michael MD. 2011. The impact of power line-related mortality on the Cape Vulture *Gyps coprotheres* in a part of its range, with an emphasis on electrocution. *Bird Conservation International* 21: 311–327. <https://doi.org/10.1017/S095927091100013X>.
- Donázar JA, Palacios CJ, Gangoso L, Ceballos O, González MJ, Hiraldo F. 2002. Conservation status and limiting factors in the endangered population of Egyptian Vulture (*Neophron percnopterus*) in the Canary Islands. *Biological Conservation* 107: 89–98. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00049-6).
- Dwyer JF, Harness RE, Donohue K. 2014. Predictive model of avian electrocution risk on overhead power lines. *Conservation Biology* 28: 159–168. <https://doi.org/10.1111/cobi.12145>.
- Eccleston DT, Harness RE. 2018. Raptor electrocutions and power line collisions. In: Sarasola JH, Grande JM, Negro JJ (Eds.), *Birds of Prey. Biology and conservation in the XXI century*. Cham: Springer International Publishing. pp 273–302.
- El Khamlichi R. 2017. Recensement des Vautours et autres rapaces en migration pré-nuptiale 2016 sur la partie sud du détroit de Gibraltar, Jbel Moussa, Maroc. *Go-South Bulletin* 13: 213–223 [in French].
- Ferguson-Lees J, Christie D (Eds.). 2001. *Raptors of the world*. London: Christopher Helm.
- Ferrer M, de La Riva M, Castroviejo J. 1991. Electrocution of raptors on power lines in southwestern Spain. *Journal of Field Ornithology* 62: 181–190. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(92\)90799-S](https://doi.org/10.1016/0006-3207(92)90799-S).
- Ferrer M, Hiraldo F. 1992. Man-induced sex-biased mortality in the Spanish Imperial Eagle. *Biological Conservation* 60: 57–60.
- Ferrer M (Ed.). 2012. *Birds and power lines: from conflict to solution*. Sevilla: ENDESA SA and Fundación Migres. <https://www.researchgate.net/publication/344513673.pdf>. [Accessed 23 March 2020].
- Ferrer M. 1993. Juvenile dispersal behaviour and natal philopatry of a long-lived raptor, the Spanish Imperial Eagle *Aquila adalberti*. *Ibis* 135: 132–138. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1993.tb02824.x>.
- Galmes MA, Sarasola JH, Grande JM, Vargas HF. 2017. Electrocution risk for the endangered Crowned Solitary Eagle and other birds in semiarid landscapes of central Argentina. *Bird Conservation International* 28: 403–415. <https://doi.org/10.1017/S0959270917000272>.

- Genin M, Alifriqui M, Fakhech A, Hafidi M, Ouahmane L, Genin D. 2017. Back to forests in pre-Saharan Morocco? When prickly pear cultivation and traditional agropastoralism reduction promote argan tree regeneration. *Silva Fennica* 51: 1618. Advance online publication. <https://doi.org/10.14214/sf.1618>.
- Godino A, Garrido JR, El Khamlichi R, Burón D, Machado C, Amezian M, Irizi A, Numa C, Barrios V. 2016. Identification de la mortalité des rapaces par électrocution dans le sud-ouest du Maroc. Malaga, Spain: UICN, [in Spanish and French].
- González LM, Margalida A, Mañosa S, Sánchez R, Oria J, Molina JL, Caldera J, Aranda A, Prada L. 2007. Causes and spatiotemporal variations of non-natural mortality in the vulnerable Spanish Imperial Eagle *Aquila adalberti* during a recovery period. *Oryx* 41: 495–502. <https://doi.org/10.1017/S0030605307414119>.
- Guil F, Fernández-Olalla M, Moreno-Opo R, Mosqueda I, Gómez ME, Aranda A, Arredondo Á, Guzmán J, Oria J, González LM, et al. 2011. Minimising mortality in endangered raptors due to power lines: the importance of spatial aggregation to optimize application of mitigation measures. *PLoS ONE* 6: e28212. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028212>.
- Guzmán J, Castaño JP. 1998. Electrocutación de rapaces en líneas eléctricas de distribución en Sierra Morena oriental y Campo de Montiel. *Ardeola* 45: 161–169 [in Spanish with English abstract].
- Harness RE, Gombobaatar S, Yosef R. 2008. Mongolian distribution power lines and raptor electrocutions. Conference papers. Rural Electric Power Conference 2008, Washington, DC: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Harness RE, Wilson KR. 2001. Electric-utility poles associated with raptor electrocutions in rural areas. *Wildlife Society Bulletin* 29: 612–623.
- Hernández-Matías A, Real J, Parés F, Pradel R. 2015. Electrocutation threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in southern Europe. *Biological Conservation* 191: 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.028>.
- Ibarra J, De Lucca E. 2015. Águilas Moras (*Geranoaetus melanoleucus*), víctimas de electrocución en Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina. *Notulas Faunísticas* 176: 1–7. <https://www.fundacionazara.org.ar/img/notulas-faunisticas/articulos/notula-176.pdf>. [Accessed 14 February 2019].
- Iglesias JJ, Álvarez E. 2016. Sorprendentes águilas perdiceras: dos ejemplares cruzaron el Estrecho. *Quercus* 361: 30–33. [in Spanish].
- Irizi A, Aourir M, Mouadi J, Aziz El Agbani M, Qninba A. 2020. Prédation de l'Aigle de Bonelli *Aquila fasciata* sur le Fouette-queue du Maroc *Uromastix nigriventris* pendant la saison de reproduction dans l'Anti-Atlas Occidental (Maroc). *Go-South Bulletin* 17: 87–90 [in French].
- Irizi A, Aourir M, Znari M, El Agbani MA, Qninba A. 2019. Spatial distribution and breeding territories of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in the western Anti-Atlas Mountains, Morocco. *Ostrich* 90: 241–246. <https://doi.org/10.2989/00306525.2019.1625456>.
- Janss GFE, Ferrer M. 1999. Mitigation of raptor electrocution on steel power poles. *Wildlife Society Bulletin* 27: 263–273.
- Janss GFE, Ferrer M. 2001. Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. *Bird Conservation International* 11: 3–12. <https://doi.org/10.1017/S0959270901001022>.
- Janss GFE. 2000. Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a species-specific mortality. *Biological Conservation* 95: 353–359. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00021-5](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00021-5).
- Jenkins AR, Smallie JJ, Diamond M. 2010. Avian collisions with power lines: a global review of causes and mitigation with a South African perspective. *Bird Conservation International* 20: 263–278. <https://doi.org/10.1017/S0959270910000122>.
- Krüger R, Maritz A, van Rooyen C. 2004. Vulture electrocutions on vertically configured medium voltage structures in the Northern Cape Province, South Africa. In: Chancellor RD, Meyburg BU (Eds). 2004. *Raptors Worldwide. World Working Group on Birds of Prey and Owls*, Berlin, Germany, and MME/BirdLife Hungary, Budapest, pp 437–441.
- Le Houérou NH (Ed.). 1995. Bioclimat et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique: diversité biologique, développement durable et désertisation. Options méditerranéennes. Série B: études et recherches 10. Montpellier: CIHEAM; Paris: ACCT. [in French with English abstract].
- Lehman R N, Kennedy PL, Savidge JA. 2007. The state of the art in raptor electrocution research: a global review. *Biological Conservation* 136: 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.09.015>.
- Lehman RN, Savidge JA, Kennedy PL, Harness RE. 2010. Raptor electrocution rates for a utility in the intermountain western United States. *The Journal of Wildlife Management* 74: 459–470. <https://doi.org/10.2193/2008-332>.
- López-López P, Ferrer M, Madero A, Casado E, McGrady M. 2011. Solving man-induced large-scale conservation problems: the Spanish Imperial Eagle and power lines. *PLoS ONE* 6: e17196. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0017196>. [Accessed 14 February 2019].
- Loss SR, Will T, Marra PP. 2015. Direct mortality of birds from anthropogenic causes. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 46: 99–120. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-112414-054133>.
- Loss SR. 2016. Avian interactions with energy infrastructure in the context of other anthropogenic threats. *The Condor: Ornithological Applications* 118: 424–432. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-16-12.1>.
- Morandini V, González E, Bildstein K, Ferrer M. 2020. Juvenile dispersal in an uninhabited continent: young Spanish Imperial Eagles in Africa. *Journal of Ornithology* 161: 373–380. <https://doi.org/10.1007/s10336-019-01732-0>.
- Msanda F, El Aboudi A, Peltier JP. 2002. Originalité de la flore et de la végétation de l'Anti-Atlas sud-occidental (Maroc). *Feddes Repertorium* 113: 603–615 [in French]. <https://doi.org/10.1002/fedr.200290008>.
- Peltier JP. 1982. La végétation du bassin versant de l'oued Sous (Maroc). PhD thesis, Université scientifique et médicale de Grenoble, France. [in French].
- Pérez-García JM, Sebastián-González E, Botella F, Sánchez-Zapata JA. 2016. Selecting indicator species of infrastructure impacts using network analysis and biological traits: bird electrocution and power lines. *Ecological Indicators* 60: 428–433. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.07.020>.
- Prinsen HAM, Boere GC, Pires N, Smallie JJ. 2011. Review of the conflict between migratory birds and electricity power grids in the African-Eurasian region. 7th Meeting of the AEWa Standing Committee, 26–27 November 2011, Bergen, Norway CMS technical Series Number XX. Bonn, Germany. https://www.unep-aewa.org/sites/default/files/document/stc_inf_7_9_electrocution_review_0.pdf [Accessed 14 February 2019].
- Real J, Grande JM, Mañosa S, Sánchez-Zapata JA. 2001. Causes of death in different areas for Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* in Spain. *Bird Study* 48: 221–228. <https://doi.org/10.1080/00063650109461221>.
- Real J, Hernández-Matías A, Rollan A, Tintó A. 2015. El águila perdicera en Cataluña: de la amenaza a la conservación aplicaciones a la mitigación de la electrocución. Dirección de Medio Ambiente y Cambio Climático de España y Portugal. Endesa, España [in Spanish].
- Rubolini D, Bassi E, Bogliani G, Galeotti P, Garavaglia R. 2001. Eagle Owl *Bubo bubo* and power line interactions in the Italian Alps. *Bird Conservation International* 11: 319–324. <https://doi.org/10.1017/S0959270901000363>.

- Schuerenberg B, Schneider R, Jerrentrup H. 2010. Implementation of recommendation No. 110/2004 on minimising adverse effects of above-ground electricity transmission facilities (power lines) on birds. Report to the Council of Europe, Convention on the conservation of the European Wildlife and natural habitats. <https://wcd.coe.int/com.instranet>. [Accessed 14 February 2019].
- Spencer R. 2016. Ridgway's Hawks in the Dominican Republic. Presentation at the international conference on overhead lines, Fort Collins, 4–7 April 2016. In: Sarasola JH, Grande JM, Negro JJ (Eds.). *Birds of prey: biology and conservation in the XXI century*. Basel: Springer. pp 273–302.
- Tintó A, Real J, Mañosa S. 2010. Predicting and correcting electrocution of birds in Mediterranean areas. *The Journal of Wildlife Management* 74: 1852–1862. <https://doi.org/10.2193/2009-521>.

Chapitre 6:

Les autres menaces

L'aigle de Bonelli, comme tous les rapaces, est confronté à diverses menaces induites par l'homme telles que la dégradation et la perte d'habitats, le tir et l'empoisonnement illicites, les collisions avec les structures aériennes et l'électrocution sur les lignes électriques. Ces menaces provoquent un taux de mortalité très élevé, particulièrement, chez les immatures hors la période de reproduction (Besnard 2010).

L'intervention sur les menaces est l'action la plus importante de sa conservation. Toutes les menaces n'affectent pas cette espèce ni de la même façon ni de la même gravité. En effet, il est nécessaire d'établir une classification des menaces en fonction de leur importance, afin d'optimiser les mesures de conservation. Cette hiérarchisation des menaces, pour le Maroc, vu les moyens disponibles et contexte national, doit être assez précise pour réussir les plans de conservations. En plus de la hiérarchisation des menaces, la prise en compte des caractéristiques de l'espèce permettra une optimisation des mesures de conservation (PNAAB, 2013).

Ci-dessous les principales menaces affectant l'Aigle de Bonelli. La majorité de ces menaces ont, directement ou indirectement, une origine humaine. Ces menaces sont classées en deux catégories, la première est relative aux menaces relatives à la survie de l'espèce, la deuxième à celles relatives à l'habitat et à la reproduction.

1. Menaces directes

1.1. Les tirs sur les rapaces

Le braconnage de la faune a toujours existé à travers tous les pays. En Espagne, les tirs et le poison sont responsables de 26 % des décès d'Aigle de Bonelli. Leur impact est variable selon les parties du territoire (Real 2001). En ce qui concerne le Maroc, au moins pour les rapaces, on pense que le tir est une menace importante et qui pèse lourdement sur l'espèce comme d'ailleurs sur les autres rapaces.

Grâce à nos guides lors des prospections, qui sont aussi des accompagnateurs de chasseurs, on a eu accès à leurs témoignages concernant cette menace. Ils nous ont, malheureusement, confirmé des cas de tir sur les rapaces.

En plus de ces témoignages, quelques photos de rapaces tués ou blessés, postées sur les réseaux sociaux, laissent entrevoir l'ampleur de ce phénomène (Fig. 59 et 60).



Figure 59 : Aigle de Bonelli adulte blessé par tir et exhibé dans l’Anti-Atlas Occidental (photo postée sur les réseaux sociaux)

Souvent, ces rapaces survolent les chasseurs, soit par curiosité, attirés par le bruit des tirs, soit simplement pour défendre leur territoire en faisant des vols d’intimidations espérant chasser l’intrus. Ces survols des aigles alertent, indirectement, le gibier et fait perdre aux chasseurs l’effet de surprise. Ces comportements territoriaux des Aigles, poussent certains chasseurs à voir dans ces rapaces un dérangement, et même des concourants directes. C’est alors que des chasseurs tirs des balles de sommation ou carrément des tirs mortels sur le rapace.

Si un tel comportement, qui est loin de l’éthique d’un chasseur, est injustifiable, on pense qu’une grande ignorance, à la fois de la biodiversité et des lois en vigueur peuvent l’expliquer sans toutefois le justifier. Cette ignorance est aggravée par un sentiment d’impunité, car ces actes surviennent, souvent, dans des endroits assez loin de présence humaine et par conséquence difficile à documenter ou à verbaliser. Ce constat nous amène à se poser la question sur la suffisance des moyen humains et matériel qui sont alloués, par les gestionnaires nationaux de la biodiversité, pour assurer un contrôle strict et durable.



Figure 60 : Un Aigle royal tué par tir dans l’Anti-Atlas Occidental (photo postée sur les réseaux sociaux)

Le dégât causé par ces tirs, qui survient, en général, pendant la période légale de chasse, est d’autant plus important car ça concerne souvent des adultes. Or, vu que l’Aigle de Bonelli a une stratégie démographique de type « K », la perte des adultes est dramatique et peut être irréversible. Ces incidents montrent l’utilité, dans le cadre des mesures de conservation, de reporter les sites de nidification des espèces sensibles et de les prendre en compte lors des campagnes de chasses ou de battue. Si l’Aigle de Bonelli pourrait relativement supporter la présence humaine, d’autres espèces hautement sensibles aux dérangements, comme le Gypaète Barbu, se sont, désormais, cantonnés uniquement dans des endroits au Maroc où le dérangement est moindre.

Récemment, un Aigle Ibérique, équipé d’une balise GPS, a été récupéré mort, aux environs d’Anzi en 2020. L’endroit où son cadavre a été trouvé a été fréquenté la veille par des chasseurs.

Une mort par tir a été soupçonnée, mais en absence d'une autopsie, pour détecter la présence du plomb ou tout signe d'un tir, cette hypothèse ne pourra être confirmée.

La menace de tir doit être prise en compte, car tous les cas de tirs ne sont pas connus et par conséquent difficilement quantifiables. Elle est d'autant difficile à saisir, car elle pourrait même prendre d'autre forme comme celle de destruction directe des nids par des tirs. L'évaluation de l'importance de cette menace, en absence des données suffisantes ou des statistiques des gestionnaires de la biodiversité, est impossible. Par conséquent et en absence de données suffisantes, et dans une démarche de précaution, cette menace doit être qualifiée d'importante.

1.2. La destruction directe du nid

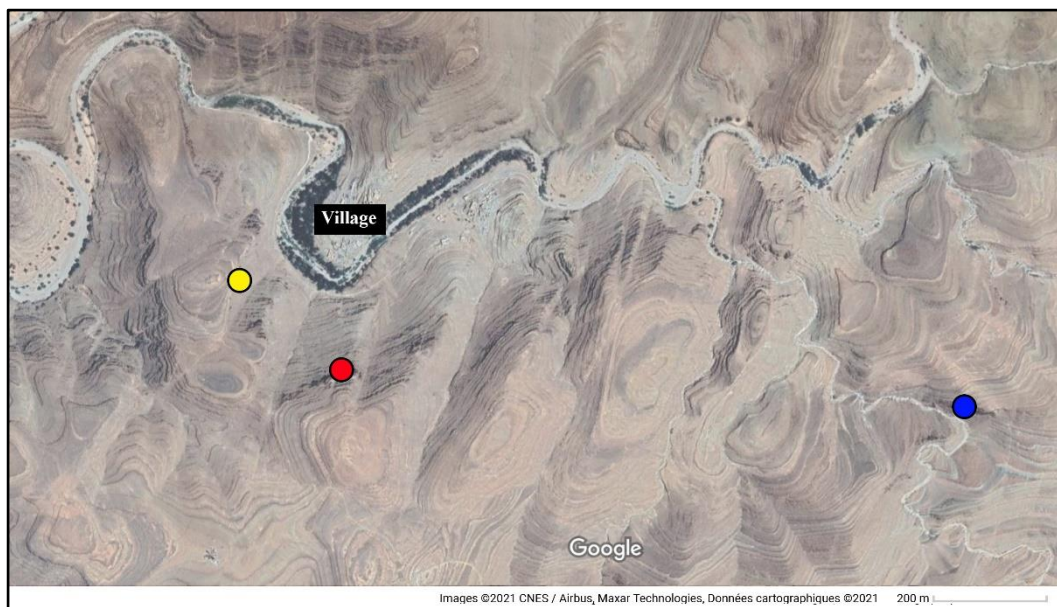
Les rapaces, à cause d'une mauvaise perception de la population, souffrent des persécutions récurrentes. Lors de notre étude, plusieurs cas nous ont été reportés. Les nids des Aigles n'ont pas échappé à ses persécutions, qui se traduisent, par parfois, par leurs destructions.

Un exemple d'un cas de destruction de nid a été observé aux environs de Targamaite. En effet, ce nid a été brûlé par des jeunes du village. À la suite de cet acte, le couple d'Aigle de Bonelli a abandonné leur nid, vers un autre, situé plus haut dans la même falaise (Fig.61). Il est intéressant de noter que, malgré cette destruction, le couple d'Aigle n'a pas, pour autant, quitté définitivement ce site de nidification. Cette persévérance, à rester sur le même site, est due, probablement, à la tolérance de l'Aigle de Bonelli vis-à-vis de la présence humaine et surtout à la grande qualité de ce site de nidification.



Figure 61 : Aire d'un couple d'Aigle de Bonelli incendié (2016, Targamaite). (A. Irizi ©)

Un autre exemple, de destruction directe du nid, est celui d'un nid situé dans une falaise au-dessus du village de Tazghart, au Sud d'Igherm. Cette destruction de cette aire, par des enfants issus du village voisin, est effectuée par des jets de pierres du haut de la falaise. Cette destruction, survenue lors de la période de nidification, a poussé le couple d'Aigle à utiliser un autre nid à environ 2 km à l'Est. Récemment, en 2020, ce couple est revenu nidifier dans une autre falaise au-dessus du village (Fig. 62).



Figures 62 : Déplacement d'un couple d'Aigle suite à la destruction de leur nid : le couple d'Aigle a abandonné leur ancien nid détruit (en rouge) pour un autre en 2019 (en bleu) avant de revenir, à nouveau, à côté de village en 2020. (en jaune) (A. Irizi ©)

La diminution du nombre d'enfants du village, à cause de l'exode rural et la scolarisation loin du village, rend peu probable une nouvelle destruction de ce nid. D'autant plus que la reproduction des Aigles ne coïncide pas avec les vacances scolaires d'été ou le village est de nouveau rempli d'enfants.

Comme pour la menace due au tir, la destruction des nids est difficile à évaluer à cause de données suffisantes. On estime, néanmoins, que les acteurs responsables de ces destructions, jeunes villageois et bergers, sont de moins en moins présents sur les sites de nidification. L'exode rural, dû à plusieurs raisons, a quasiment vidé des villages entiers dans l'Anti-Atlas. La faune, à l'exemple de la gazelle cuvier, a relativement profité de cette situation.

Comme pour le tir, la destruction directe des nids, soit par amusement ou vengeance, est une conséquence d'une certaine ignorance. Si la sensibilisation des chasseurs est possible, grâce aux réseaux de leurs associations, celle des villageois et bergers est plus difficile.

Les rapaces nocturnes, malgré leur mode nocturne, sont particulièrement exposés à la destruction de leurs nids. En plus de l'image que renvoie ses rapaces nocturnes, leurs lieux de reproduction sont relativement accessibles.

1.3. Le piégeage

On n'a pas eu, lors de notre étude, connaissance des cas de piégeage de l'Aigle de Bonelli. Des témoignages des anciennes pratiques de piégeages nous ont été racontés mais difficiles à authentifier. En revanche, l'Aigle Royal, vu qu'il lui arrive d'adopter ponctuellement un comportement charognard, est plus sensible à se faire piéger par la pose d'un appât.

On a eu connaissance, le cadre de notre travail associatif, d'un cas de piégeage lors de la récupération d'un Aigle Royal juvénile blessé à la commune de Tifnoute (novembre 2017). Après une petite enquête, on a appris que cet Aigle a été capturé par l'utilisation d'un piège (El Mendaf en Tamazighte) posé à côté d'un appât (Fig.63). Le poseur du piège est un berger qui s'est fait prendre une brebis par un Aigle Royal. Cet acte de piégeage, selon le berger, est une pure vengeance et une élimination d'une menace future. Cet Aigle Royal juvénile, qui est probablement issu d'un nid en activité au-dessus de village de berger, n'a, malheureusement, pas survécu à ses blessures.



Figure 63 : Deux types de pièges artisanaux (El Mendaf) encore utilisés pour le piégeage de certaines espèces de la faune. (A. Irizi ©)

Dans la zone entre Issafen et Tata on a eu connaissance, grâce aux bergers, d'une technique assez rudimentaire mais implacable pour piéger l'Aigle Royal. Cette technique se résume, en

plus de la pose d'un appât, à l'installation de tout un mécanisme pour faire poser l'Aigle et l'acheminer vers le piège (Fig.64). Cet acheminement vers l'appât passe, évidemment, par l'emplacement exact du piège. Pour s'assurer que l'aigle n'importe pas le piège, ce dernier est solidement attaché à un ancrage. On se permet de détailler cette technique de piégeage, malgré le risque de s'en inspirer, car on pense que ce type de pratiques est de moins en moins répandues.

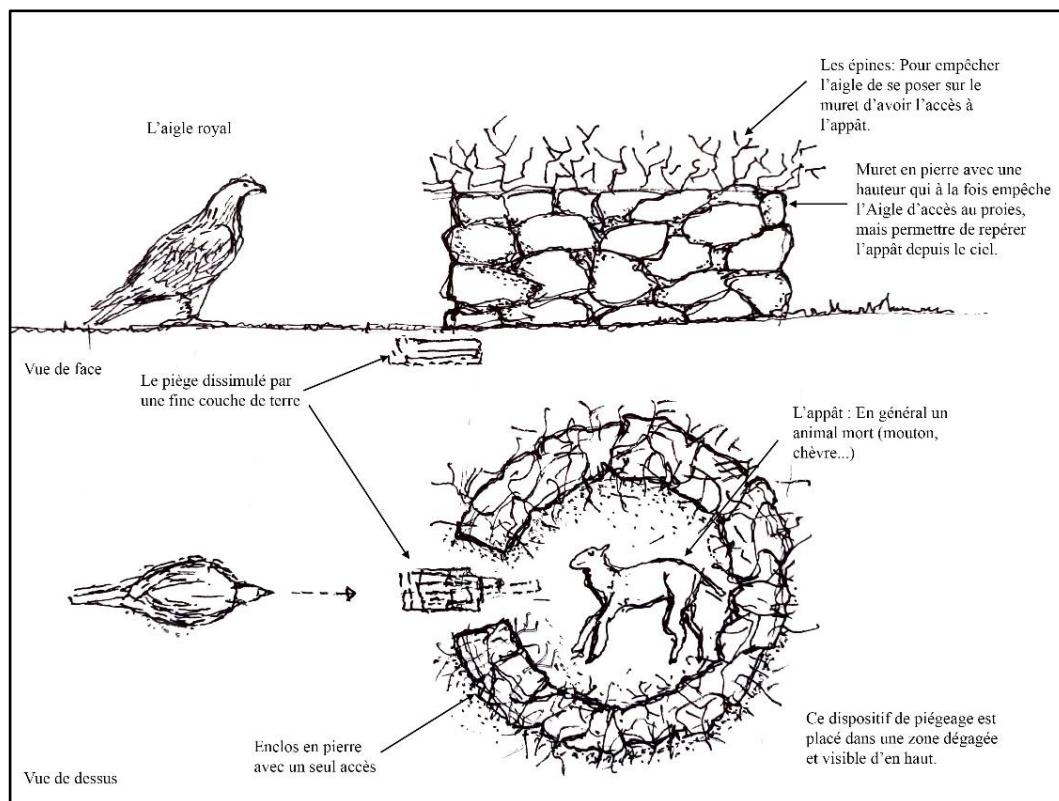


Figure 64 : Illustration d'une technique de piégeage. (A. Irizi ©)

1.4. L'empoisonnement

Comme pour le piégeage, on n'a pas eu de cas d'emprisonnement d'Aigle de Bonelli. En conclusion, même si l'Aigle de Bonelli peut se nourrir occasionnellement de charognes (Avella, 1977), cependant, il est resté moins affecté par la menace que représente l'empoisonnement.

L'industrialisation et la modernisation au cours du XXème siècle a entraîné l'augmentation de l'utilisation de divers produits toxiques. Ces derniers ont fortement contribué à la menace et au déclin de diverses populations de rapaces dans le monde entier. (Pinasseau, 2015)

Jusqu' à 1980, des campagnes d'empoisonnement massives ont été réalisées au Maroc (Cuzin 2019). Ces pratiques sont encore d'actualité, mais de façon plus discrète voir de façon illégale (Cuzin 2019). Plusieurs agents toxiques sont utilisés lors des empoisonnements et intoxications.

Certains d'entre eux provoquent une mortalité aiguë tandis que d'autres sont provoquent de perturbations peu visibles en modifiant entre autres la reproduction, l'immunité, le système endocrinien...Ce sont généralement ces derniers qui ont les effets délétères les plus importants car ils perturbent la dynamique de la population tout entière. (Pinasseau, 2015)

Le seul cas d'une intoxication de rapace, documenté lors de notre étude, concerné un Aigle Royal récupère affaibli lors d'une battue (Fig.65). Cet Aigle n'a, malheureusement, pas survécu faut d'une réaction en temps utile.



Figure 65 : Aigle Royal trouvé dans un état d'intoxication lors d'une battue (2017, Guelmim). (A. Irizi ©)

En revanche, les témoignages recueillis des pratiques d'empoisonnement lors de notre étude, sont surtout celles qui ciblent le loup. Cette utilisation de poison, à croire nos guides de sorties, est surtout l'œuvre des nomades. En effet, pour protéger leur bétail, certains nomades n'hésitent pas à placer autour de leurs campements des appâts empoisonnés. Le cas le plus impressionnant, documenté lors de notre étude, c'est l'empoisonnement de cinq loups, deux renards et un Aigle royal à Imi Izgharen au niveau d'oued Tzounete au sud d'Amtoudi. Les cadavres ont été découverts en partie enterrés pour dissimuler cet acte.

Ces empoisonnements ont un impact sur toute la faune sauvage à travers la chaîne alimentaire, et notamment sur les rapaces (PNAAB, 2013). Au Maroc, les espèces de rapaces qui ont un régime alimentaire plus ou moins charognard et donc sensible aux empoisonnements sont :

le Gypaète barbu, le Vautour percnoptère, le Vautour fauve (éteint en tant que nicheur), l'Aigle royal et l'Aigle ravisseur. (Cuzin 2019)

Bien que l'Aigle de Bonelli soit un chasseur et ne fasse pas partie des espèces nécrophages (les plus touchées par l'empoisonnement d'appâts carnés), il lui arrive d'adopter ponctuellement un comportement charognard. Il peut aussi s'intoxiquer en ingérant une proie affaiblie par l'une de ces substances toxiques (PNAAB, 2013).

2. Menaces indirectes

Ces menaces ont plus d'impact sur les sites de reproduction et les sites de chasse. Perturber ces zones est susceptible d'entraver le bon déroulement d'une reproduction et par conséquent son succès.

2.1.Dérangement près de l'aire de nidification

Par dérangement par l'homme, on désigne l'accès public facile aux falaises de nidification à pied (escalade,) et des activités associées (Ex. Randonnée, chasse, pique-nique, VTT, routes, pistes, visites régulières, battues, vol à voile, parapente, etc.) et toutes autres sortes de dérangements qui leur sont associés. Sachant que la mesure des niveaux de perturbation est difficile à qualifier et quantifier.

Cette menace, est devenue plus importante avec le développement des activités de pleine nature et du tourisme. Toutes ces activités sont susceptibles d'occasionner un dérangement, même involontaire, dans un site de nidification, notamment quand ces activités se déroulent trop près de l'aire des aigles.

Malgré une relative tolérance de l'Aigle de Bonelli à la proximité de l'activité humaine, le dérangement, ne peut être toléré qu'à un certain degré (Carrete 2002). L'impact de ce dérangement devient important, particulièrement, durant la période sensible de couvaison et d'élevage des jeunes, entre février et juin, et en général durant tout le cycle de reproduction qui s'étend de décembre à août (PNAAB 2013).

En effet, ces dérangements affectent le succès de reproduction, par l'abandon, même temporaire des parents de l'aire de nidification. Les conséquences d'une absence des parents du nid, pour une certaine durée, peuvent être :

- La mort des embryons par manque de protection thermique.

- Les Aiglons, avant d'avoir un plumage qui les protégerait, seront exposés aux froids ou à la chaleur. Les parents par leur présence physique adaptent des comportements pour protéger leur nichée des changements de température.
- L'aire est laissée sans protection face aux éventuels prédateurs.
- Les parents ne peuvent plus assurer convenablement l'alimentation des Aiglons.

Dans certains cas, en présence d'un dérangement important et persistant, le couple peut définitivement abandonner le nid. Des études ont confirmé, grâce à la télémétrie, que dans les conditions normale le site de nidification est fréquenté toute l'année de nuit comme de jour. (Bosch et al. 2010).

Les principales sources de dérangements des sites de nidification, qui peuvent concerner notre zone d'étude, sont :

2.2. Activité des bergers et transhumance

En général, les activités de bergers et de la transhumance n'affectent pas les sites de reproduction des Aigle de Bonelli. Cependant, le dérangement d'un nid de nidification voire sa destruction pouvait avoir comme origine, directe ou indirecte, une information donnée par un berger.

Construction de gîtes « Aazib » : certains nids sont localisés dans des falaises à proximité voir au-dessus des enclos en pierres (Azib) où les bergers abriter leurs les troupeaux pour la nuit. Certains nids (Fig.66) continuent, malgré son emplacement au-dessus d'un enclos de mouton, d'être utilisé alternativement avec d'autres nids.

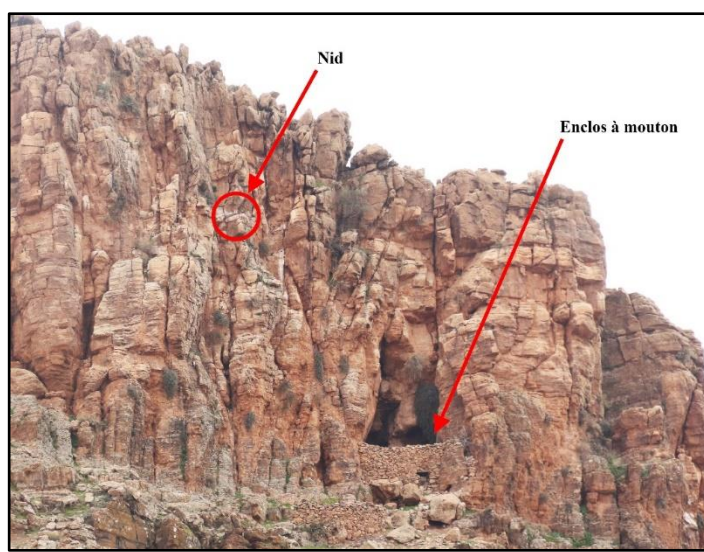


Figure 66 : Nid d'Aigle de Bonelli à proximité d'un enclos de mouton (Touflaiz 2017). (A.

Irizi ©)

2.3. Construction des nouvelles routes

La multiplication des pistes, de chemins et sentiers, ou à moindre mesure le développement de l'urbanisation, accentuent considérablement la pression anthropique sur des sites de nidification qui devient de plus en plus accessibles. Comme tous les rapaces, l'Aigle de Bonelli ne demeure pas moins extrêmement vulnérable aux dérangements sur ses terrains de chasse et en particulier aux abords du site de nidification. À cause de l'impact néfaste de certaines nouvelles routes, Les Aigles de Bonelli en sont alors parfois réduits à délaisser des sites de nidification favorables pour d'autres nettement moins intéressants et plus vulnérables.

Lors de notre étude, la désertion de certains sites de nidification, par l'Aigle de Bonelli, a été observée à la suite de la création ou l'aménagement de pistes à proximité de son site de nidification. Ci-dessous deux exemples :

- Le nid à proximité de la source Boutboukalt (29.805036, -9.378664). La route existante a été réaménagée en 2018 en modifiant légèrement l'ancien tracé (Fig.67). Le nouveau tracé en face de nid d'Aigle de Bonelli a été surélevé par rapport à l'ancienne route ce qui nécessitait des travaux importants de terrassement et donc une nuisance considérable. Un autre paramètre, plus aggravant, a été la longue durée des travaux ponctuée par des arrêts et reprises.

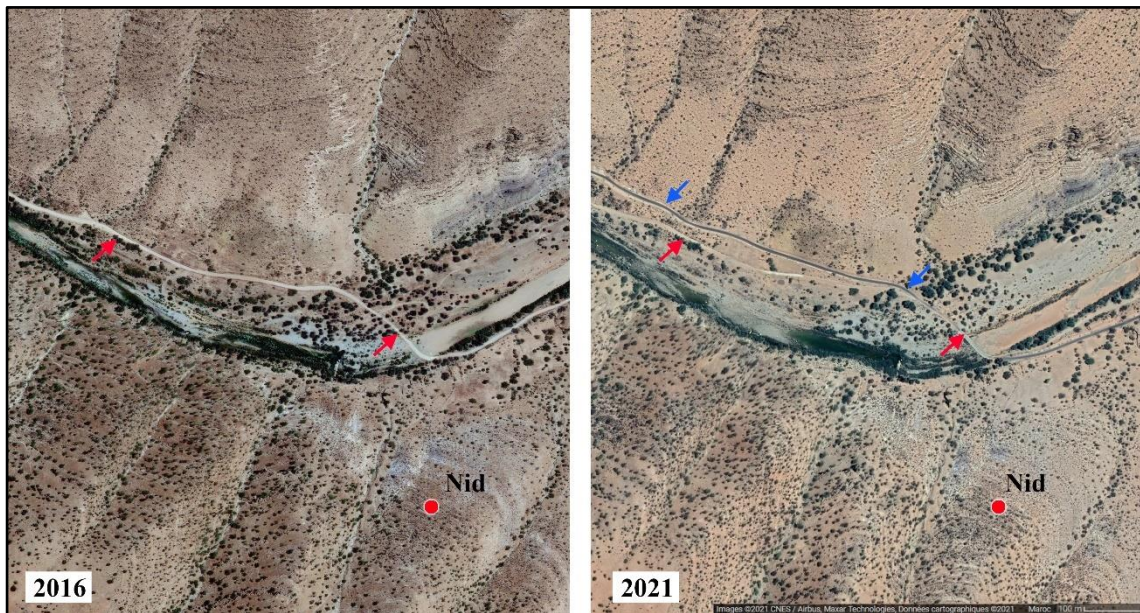


Figure 67 : A gauche, l'ancienne route (2016) et à droite la nouvelle route (2021) avec un tracé plus haut que l'ancien. (A. Irizi ©)

- L'aménagement de l'ancienne route entre Ait Abdellah et l'est d Imi Mkourn entre 2017 et 2018, à cause au moins l'abandon d'un nid par l'Aigle de Bonelli La configuration de la route aménagée à proximité du nid à amplifier cette nuisance (30.087273, -8.944730). La dénivelée entre le niveau de route et le nid n'était pas très importante et la proximité des falaises d'un côté et de l'autre de l'oued a certainement amplifié les nuisances sonore (effet canyon). Il est à noter que la nidification de l'Aigle de Bonelli est maintenue le long d'oued Sakar mais dans des endroits où l'impact de la route, à la fois en termes de proximité et de bruit, est moindre.

Des anciens sites exceptionnels, avec une densité de nids par falaise remarquable sont aussi affectés par la construction de route. Ces endroits par leur orientation et leur emplacement en face de terrain de chasse immense à proximité constituent des sites de nidification de qualité (Fig.68).

Le premier site porte, localement, le nom ASDER qui signifie latéralement amazigh lieu de nidification (29.394860, -9.902240). Les témoignages sur place, et les vestiges des anciens nids, ont confirmé l'utilisation fréquente de ce site par les Aigles. De nos jours, ce site est désormais déserté par les Aigles, toutefois une buse maintient une nidification dans cet endroit. Le dérangement de ce site est accentué par une fréquentation accrue d'un mausolée et du prolongement d'une route vers la source.

Le deuxième site est mieux préservé (29.452086, -9.403917), d'une part, car la route à proximité n'est pas goudronnée et difficilement praticable et d'autre part les falaises abritant les nids sont inaccessibles. Lors de notre visite sur les lieux, un couple d'aigles Royaux nous a, longtemps, survolé, confirmant encore la présence des grands rapaces dans ce site.



Figure 68 : A gauche, le premier site et à droite la deuxième, avec en rouge la route et en vert les falaises de nidification (2021). (A. Irizi ©)

Néanmoins, on rencontre des sites de nidification avec une reproduction réguliers à proximité de routes assez fréquentées. La distance à vol d'oiseau entre le nid et la route est loin d'être le seul critère à prendre en compte. C'est plutôt l'addition de plusieurs paramètres particuliers qui génèrent une nuisance à même de pousser les Aigles à abandonner leur site de nidification. Les nidifications à proximité des routes peuvent, en les étudiant, inspirer les futurs projets de routes pour atténuer leurs impacts environnementaux.

La prise en compte en amont de l'impact du futur tracé d'une route sur la faune est nécessaire. Les études d'impacts permettront, à priori, de proposer des mesures adéquates pour maintenir, autant que possible, l'équilibre d'avant les travaux.

2.4. Les activités sportives et récréatives

Les activités de plein air au Maroc prennent de plus en plus d'importance. En effet, la disponibilité des équipements de loisir à des prix abordables permis, désormais, à une partie de la population, de se donner à ces activités. Parmi ces activités, celles dédiées au tourisme de montagne ont particulièrement connu un développement important. Et justement, c'est ce type d'activités qui sont susceptibles d'engendrer des dérangements dans les sites de nidification (l'escalade, la randonnée et la chasse...).

2.4.1. L'escalade

Le Maroc, par sa richesse de paysages, offre plusieurs sites exceptionnels pour la pratique de l'escalade. Des sites comme les gorges de Taghia, celles de Todra, Oukaïmeden et Imiter sont souvent visités par les amoureux de cette discipline.

De tout l'Anti-Atlas, ce sont les secteurs de Tafraout et Idaougnidif qui sont prisés pour l'activité d'escalade. En effet, c'est dans le massif de Lkest (les deux versants), et celui de Tskra (face nord) où se concentre quasiment tous les itinéraires proposés aux escaladeurs. Cet engouement des escaladeurs est valorisé par un accès facile et une bonne logistique offerte par le village de Tafraout. Certains guides d'escalade, pour ces deux massifs, offrent, pas moins de 1500 itinéraires d'ascension couvrant 79 falaises (Fig. 69).

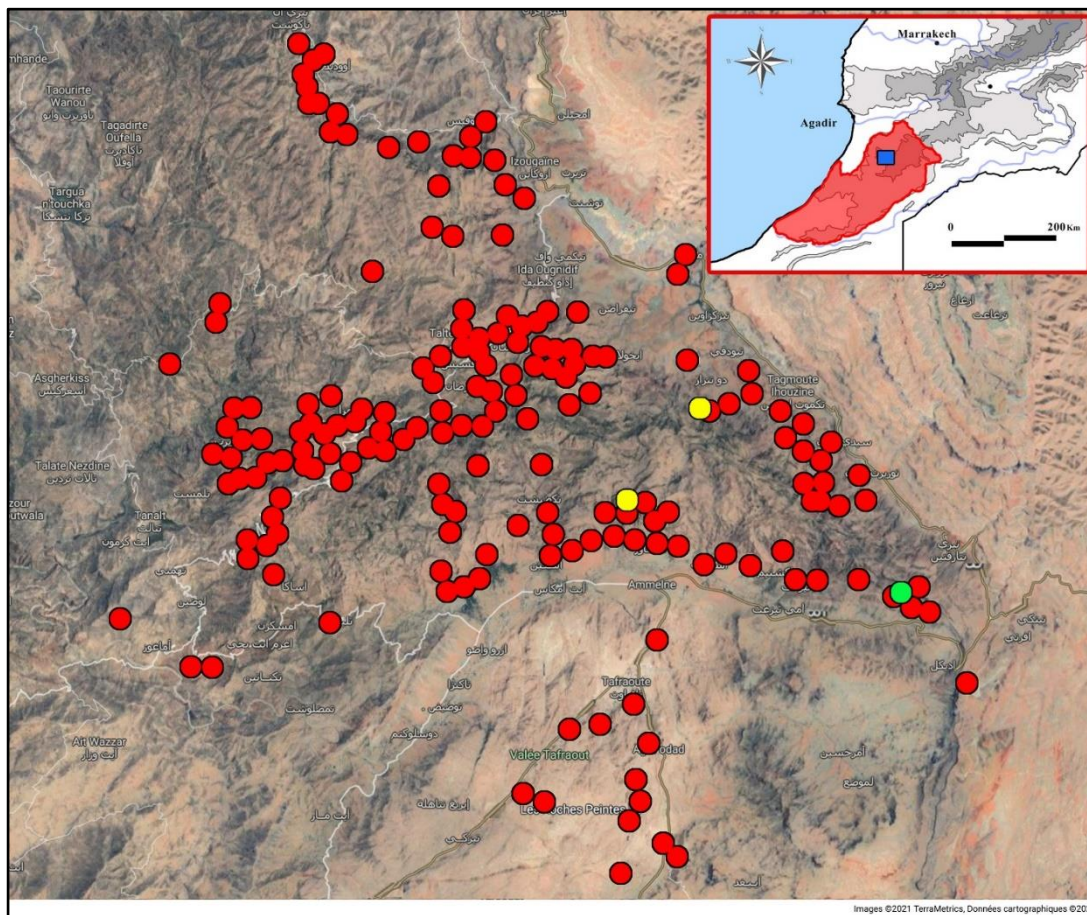


Figure 69 : Superposition d'une carte de repérage de pistes d'escalades dans le massif de Lkest et Taskra, issue d'un site spécialisé, avec la localisation de deux nids d'Aigle de Bonelli (en jaune) et celui d'un Aigle Royal (en vert). (A. Irizi ©)

Ayant procédé à des prospections au niveau du massif Lkest, on est bien placés pour témoigner de la richesse exceptionnelle de ce massif au niveau des paysages et de la biodiversité. Et justement, cette richesse et en partie préservée grâce à une topographie inaccessible et très accidentée. Justement, c'est cette caractéristique qui attire des nombreux escaladeurs internationaux.

Ce qui rend cette activité particulièrement nuisible, c'est sa proximité du cœur de site de nidification. Un grimpeur escaladant une falaise abritant un nid, est perçu par les Aigle comme un intrus et une menace éminente. Des photos prises de près d'Aigle de Bonelli ont été postées par des escaladeurs, la proximité de l'Aigle ne peut être expliqué que par un comportement de défense de son aire. C'est une preuve que plusieurs de ces itinéraires d'escalades proposés se trouvent en plein cœur des sites de nidification des plusieurs espèces de rapaces.

Cette menace prend toute son importance en prenant en considération les dates proposées pour les séjours d'escalade. En effet, pour éviter les grandes chaleurs d'été, les organisateurs de

ces séjours proposent des périodes allant de septembre à mai. Or, la majorité de cette période coïncide avec la période de reproductions des rapaces et par conséquent la période la plus susceptible de les déranger.

2.4.2. La chasse

En absence d'un recensement des lieux de nidification des aigles et de Zones de Sensibilité autour des nids, L'activité des chasseurs pendant la période de chasse ou lors des battues peut représenter une source de dérangement non négligeable.

La battue, à l'inverse de la chasse, n'est pas limitée à une période particulière ni dans une zone précise avec par définition un effectif de chasseurs conséquent. Par conséquent, la nuisance sonore générée par les tirs des chasseurs et les cris des rabatteurs est considérable.

Les fréquences des battues dans les mêmes endroits, car souvent, le problème de sanglier n'est qu'atténuer par cette pratique, conjugué à des battues en pleine saison de reproduction des Aigles pourrait être fatal au maintien d'un couple dans son site de nidification.

2.5. L'exploitation minière

L'exploitation minière a une incidence sur l'environnement et les biotopes associés par le biais de la suppression de la végétation ainsi que le sol de couverture, le déplacement de la faune, le dégagement de polluants et la génération de bruit. L'exploitation minière provoque des dommages directs et indirects sur la faune. Les impacts proviennent principalement de la perturbation, du déplacement et de la redistribution de la surface du sol. Certains impacts sont de court terme et sont limités au site de la mine ; d'autres peuvent avoir des répercussions profondes et des effets de long terme. L'effet le plus direct sur la faune est la destruction ou le déplacement des espèces dans les zones d'excavation et d'accumulation des déchets miniers.

Les espèces mobiles de la faune, comme le gibier, les oiseaux et les prédateurs, quittent ces zones. Les animaux plus sédentaires, comme les invertébrés, de nombreux reptiles, les rongeurs fouisseurs et les petits mammifères, peuvent être plus sévèrement affectés. Les exigences de l'habitat de nombreuses espèces animales ne leur permettent pas de s'adapter aux changements créés par la perturbation du terrain. Ces modifications réduisent l'espace vital. Le degré auquel les animaux tolèrent la concurrence humaine pour l'espace varie. Certaines espèces tolèrent très peu de perturbation (ELAW, 2010).

L'Anti-Atlas, grâce à sa géologie, offre plusieurs opportunités à l'exploration minière. Dans notre zone d'étude, de nombreuses mines, souterraines ou à ciel ouvert, sont soit en cours d'exploitation ou abandonnées.

La période de nos prospections a coïncidé avec le démarrage des travaux de projet cuprifère de Tizert, d'une superficie de 2 664 km², situé dans les communes territoriales d'Imi N'tayert et Oualqadi, à proximité d'Igherm. Cette mine est exploitée par la société Akka Gold Mining, filiale de Managem. Grâce à ce projet, Managem prévoit de doubler sa production en Cuivre à horizon 2021 (Fig.70).



Figure 70 : Photo d'une partie de la zone couverte par la mine de Tizert. (A. Irizi ©)

Le choix de prospecter cette zone est dû à la présence de canyons et falaises propices à des nidifications des rapaces. Effectivement, la nidification de l'Aigle Royal a été confirmée grâce à la découverte d'une aire.

Il est fort peu probable, vu, le dérangement important constaté lors de notre visite à la fois au niveau du bruit et de rejet de poussière, que la nidification des rapaces puisse se maintenir dans cette zone.

L'importance de la mine de cuivre de Tizert a suscité l'intérêt de la prospection minière dans tout l'Anti-Atlas occidental. En 2021, le groupe minier britannique, Altus Strategies, a également entamer les projets d'Azrar (85 km²) et de Tata (143 km²), situés respectivement à environ 43 km et 50 km à l'Est et au Sud-Est de la mine de Tizert.

L'impact environnemental de cette ruée minière dans l'Anti-Atlas pourrait être considérable, si les mesures, rigoureuses, de suivi et de contrôle ne sont pas prises.

Conclusion générale et perspectives

1. Conclusions générales

L'Aigle de Bonelli est à la fois un oiseau emblématique de l'Anti-Atlas occidental et aussi, par sa place dans la chaîne alimentaire, un bon indicateur de la santé de nos écosystèmes. En effet, sa position au sommet de la chaîne alimentaire le rend assez sensible à l'abondance des proies, aux modifications d'habitat et persécutions humaines. Suivre la population de l'Aigle de Bonelli, et les rapaces en général, permet d'évaluer les changements que subit notre environnement.

Comme d'autres rapaces, l'Aigle de Bonelli souffre de croyances populaires qui sont traduites par de nombreuses persécutions. Une telle conception ne correspond plus du tout à ce que nous savons de l'équilibre naturel et du rôle des prédateurs. Par sa nature de reproduction, sa maturité sexuelle tardive, et un taux de mortalité élevée chez les oiseaux immatures, toutes les persécutions directes ou indirectes ont un impact, non-négligeable, sur l'avenir de cette espèce.

La thèse que nous avons conduite est une contribution à l'étude de l'écologie de l'Aigle de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental. Le principal objectif étant de fournir une base appropriée pour l'orientation et la priorisation et l'orientation de futures stratégies de conservation de cette espèce au Maroc. Pour ce faire, nous avons quantifié, à la fois, les territoires de reproduction, estimé l'abondance des couples nicheurs et dressé une carte de distribution spatiale des nids. De plus, nous avons caractérisé les falaises de nidification et la typologie des nids. La position altitudinale et autres caractéristiques altimétriques des nids ont été mesurées et leurs l'orientations ont été déterminées. Par ailleurs, nous avons inventorié les principales menaces auxquelles l'espèce fait, globalement, face dans notre zone d'étude. À cet égard, un suivi régulier et une évaluation de la mortalité par électrocution de l'Aigle de Bonelli, au même titre que pour d'autres espèces de rapaces, ont été faits dans la région de Guelmim-Oued Noun. En outre, nous avons mené, dans cette même région, une étude préliminaire du régime alimentaire de l'espèce, durant la saison de reproduction.

L'inventaire que nous avons fait au niveau de la zone d'étude, nous a permis de recenser 28 territoires de nidification, 45 falaises supportant 45 nids, dont 40 sont toujours actifs. Nos résultats montrent, également, que la population nicheuse des Aigles de Bonelli dans l'Anti-Atlas occidental est relativement importante, ce qui pourrait en faire l'une des plus importantes zones où les Aigles de Bonelli continuent à reproduire, au Maroc et surtout à limite pré-saharienne de son aire de distribution historique, au sud de la méditerranée occidentale.

L'importance de l'Anti-Atlas occidental serait attribuée à la qualité des habitats de reproduction favorables à l'espèce qui se matérialisent par une abondance et une bonne distribution des falaises à la nidification adéquates, sans oublier les habitats de nourrissages relativement bien conservés.

En effet, nos résultats montrent que l'espèce est bien établie dans les montagnes de l'Anti-Atlas, l'altitude ($1077,06 \pm 361,23$ m moyenne) des sites de nidification varie considérablement à travers l'Anti-Atlas occidental, allant de $1\,210.5 \pm 440.16$ m dans la zone Tafraout-Aït Baha au plus basses (693.62 ± 387.31 m) dans la région de Guemlim. En revanche, 55% ($n = 22$ nids) se concentrent dans le seul secteur de Tafraout sur des altitudes allant de 1000 à 1980 m. La distribution des territoires de reproduction dans l'ensemble de la zone d'étude et plus particulièrement dans la zone de Tafraout, trouve son explication dans la forte variabilité des précipitations, en affectant l'abondance et la disponibilité des proies principales de l'Aigle de Bonelli. Nos résultats sont similaires aux données rapportées dans le Haut Atlas, où l'altitude de nidification de l'espèce ne dépasse pas 1 800 à 2 000 m, sauf le cas d'un couple nicheur trouvé à Jbel Ayachi à 2100 m (Bergier 1987). L'échelle de distribution altimétrique des territoires de nidification l'Aigle de Bonelli recoupe celle obtenue dans l'ensemble des populations espagnoles.

La densité minimale de couples nicheurs a été estimée à 1,14 couples/100 km² et une distance moyenne entre les nids actifs, les plus proches était de $14,12 \pm 9,90$ km. Certains couples nicheurs voisins peuvent être distants de 2,65 km au nord-ouest de la zone d'étude (Tafraout-Taroudant), alors qu'elle est de 37,8 km dans les zones présahariennes du sud-ouest (Tata et Guelmim). Cependant, nous considérons que cette densité des couples nicheurs est sous-estimée, étant donné que nos prospections sont loin d'être systématiques dans toute la zone et que seules certaines falaises faciles d'accès ont fait l'objet d'un suivi. Ces résultats sont similaires ceux qui ont été rapportés au niveau de certaines populations de la péninsule Ibérique.

Les caractéristiques physiques (microhabitat) des falaises de nidification peuvent influencer positivement ou négativement la sélection de ces sites pour la nidification de l'Aigle de Bonelli. Dans l'Anti-Atlas occidental, la proximité des activités humaines des falaises supportant le nid ne constitue pas un frein à la nidification de l'espèce. Nous avons recensé plusieurs falaises supportant un nid actif à proximité des villages et/ou routes ; ces nids sont régulièrement utilisés par l'espèce, confirmant que les aigles sont, généralement, fidèles à leur site. Cette tolérance à la présence humaine, signalée en Espagne et au Portugal est bien connue chez l'espèce, a été.

Dans la zone d'étude, l'habitat de reproduction, contrairement à celui des subadultes, est lié à la présence de falaises. Tous les nids utilisés par l'Aigle de Bonelli sont construits dans des

falaises rocheuses, principalement dans les vallées fluviales et aucun nid n'a été trouvé sur les arbres. Il est bien établi que la productivité de la reproduction des rapaces est tributaire de la qualité du site de nidification et est fonction de ses caractéristiques physiques et biotiques. Ce travail rapporte les premières données sur les caractéristiques des falaises de nidification (microhabitat de nidification) des Aigles de Bonelli au sud-ouest du Maroc. Nos résultats montrent que l'espèce préfère nidifier, principalement dans les gorges des rivières, sur les parois de falaises nues et abruptes et que la majorité des nids sont installés dans les cavités (creux et peu profond se trouvant dans la paroi d'une falaise) sont, suivi par les nids installés sur les rebords de falaises (plate-forme apparente sur la façade d'une falaise) munis ou non d'une petite saillie. Ces deux typologies supposent que les surplombs ne constituent pas une condition à l'installation du nid. Le choix des cavités pourrait être lié au grand succès de reproduction de ce type nids, grâce à leur avantage anti-prédateurs aériens et la protection contre les intempéries, alors que la question de la thermorégulation des poussins passe au second degré chez cette espèce clairement thermophile. En effet, l'analyse des données relatives à l'exposition des falaises indique que les falaises majoritairement exposées N-NE et NE-E supportent environ 60 % des nids, indiquant que la direction de l'exposition de la falaise portant ne semble pas conditionner le choix de l'emplacement du nid. Par ailleurs, nous avons constaté que dans l'ensemble de l'aire d'étude, des hauteurs des nids par rapport au sol est très variable, comprises entre 75 et 551 mètres et que la hauteur de l'emplacement d'un nid par rapport à la hauteur totale de la falaise portant le nid obéit à un ratio égal à 1/3, c'est-à-dire situé aux deux tiers supérieurs d'une falaise.

Malgré son caractère préliminaire et limité à la saison de reproduction, uniquement, dans une partie de la zone d'étude (région de Guelmim-oued Noun), l'étude du régime alimentaire basée sur l'analyse des pelotes de réjection, les observations des restes de proies dans certains nids et les observations directes proies prélevées par des adultes, viennent confirmer le caractère généralement opportuniste de l'Aigle de Bonelli et son adaptation à la disponibilité en proies dans cet habitat présaharien, globalement peu productif. En effet, le Rat des sables diurne *Psammomys obesus* représente la principale proie (82.1 %) du régime alimentaire. Au cours de cette étude, la prédation de l'Aigle de Bonelli sur le Fouette-queue du Maroc *Uromastix nigriventris* a été observée pour la première fois. L'espèce semble donc capable de se spécialiser sur les proies les plus abondantes et les plus faciles à capturer, à une période donnée, ce qui est un atout pour sa survie.

Comme pour toute espèce longévive, la mortalité des adultes a de profondes répercussions sur la dynamique de la population. Dans notre zone d'étude, la région de Guelmim-Oued Noun, a été identifiée comme un point noir de mortalité par électrocution de l'Aigle de Bonelli. Le suivi, à long terme de la mortalité de l'espèce dans cette région, nous a permis de confirmer le caractère

mortel de deux lignes éclectiques, aussi bien pour l'Aigle de Bonelli que pour d'autres espèces de rapaces. La surabondance de proies, principalement du Rat des sables, pendant les années humides, qui attire de nombreux rapaces juvéniles lors de la dispersion, favorise leur électrocution dans la région de Guelmim-oued Noun.

Cette recherche a permis d'identifier, cartographier et caractériser techniquement les pylônes les plus dangereux pour les rapaces. Les pylônes munis d'un support métallique et un armement en nappe-voûte se sont avérés très mortels pour cette espèce de rapaces.

Le présent travail, unique en son genre au Maroc et en Afrique du Nord, du point de vue de l'espèce cible, mais également de l'étendue de la zone d'étude. Aussi, on estime que cette thèse est une contribution importante d'une part sur une meilleure connaissance de l'Aigle de Bonelli à la limite sud-ouest de son aire de répartition au sud de méditerranée et d'autre part, la mise en évidence de l'électrocution comme la principale menace qui pèse sur cette espèce. L'ensemble des résultats obtenus sont à prendre en considération dans les projets d'aménagement, de gestion et de conservation aussi bien de l'Aigle de Bonelli que d'autres espèces de rapaces au Maroc.

Cependant notre thèse est loin d'être parfaite, car tout n'a pas été facile lors de cette étude et d'innombrables difficultés ont entravé notre chemin de recherche.

2. Limites et difficultés

Le travail sur les grands rapaces, vu leur rareté et leur inaccessibilité, est relativement difficile. Des contraintes ont surgi dès le début de notre étude à la fois au niveau des données disponibles ainsi qu'au niveau de la collecte des données sur le terrain. Parmi ces limites, on peut citer :

- Absence de données suffisantes sur l'Aigle de Bonelli au Maroc et quasiment pas de données dans notre zone d'étude. La plupart des données disponibles se résument à des observations faites par les ornithologues. Ce manque d'informations historiques nous a privé de se prononcer sur l'évolution de la population de cette espèce dans cette zone. Cette absence de données est constatée même chez les gestionnaires de la biodiversité.

- La prospection pour les retrouver des lieux de nidification de l'Aigle de Bonelli a représenté un investissement conséquent, à la fois au niveau du temps et des frais engagés. Il faut, pour chaque sortie, toute une logistique de déplacement avec une voiture tout terrain. Prévoir un déplacement de plusieurs jours, c'est imposer plusieurs fois à cause de l'éloignement et la difficulté d'accès à certains sites de nidification. Sans compter des déplacements infectieux à cause quelquefois de la météo ou tout simplement de l'impossibilité d'avoir des données

exploitables. Des difficultés similaires rencontrées lors de la prospection le long des lignes de moyennes tensions.

- L'inaccessibilité de la plupart des nids nous a privé de collecte plus de restes de proies et par conséquent de mieux apprécier le régime alimentaire de ce rapace. Même pour le peu de restes récupérés, c'était difficile, voire impossible d'identifier certaines proies à partir d'une simple plume ou d'un petit morceau de peau.

- L'absence d'un réseau étatique ou associatif organisé pour avoir des informations pratiques lors des prospections. L'organisation d'une sortie, dans un nouveau territoire est souvent compliquée et peu rentable sans des informations préalables.

- Une partie des informateurs locaux, notamment les bergers, ne distinguent plus les espèces de rapaces. Ce constat nous a fait perdre du temps au début, car pour certains bergers les rapaces, ce sont tous les mêmes avec une silhouette sombre. On a organisé des déplacements en espérant avoir une donnée supplémentaire. Mais une fois sur place, c'est un simple nid d'une buse qu'on a en face (la donnée a été évidemment répertoriée.).

3. Perspectives de recherches

La multiplication des études sur d'autres territoires nationaux permettra de dresser une situation plus fine de l'Aigle de Bonelli au Maroc. Dans cette perspective, et à la lumière des résultats obtenues lors de nos travaux, il nous semble nécessaire d'avancer quelques pistes d'études pour améliorer nos connaissances sur cette espèce. Ces études seront nécessaires pour un plan de gestion futur de l'Aigle de Bonelli.

- Initier des plans de suivi des populations, dans lesquels sont prises les données suivantes : occupation des territoires, âge des individus reproducteurs, productivité...Etc. Ces plans doivent être maintenus sur une longue période pour avoir une visibilité sur la dynamique de population de l'espèce. L'objectif est de savoir si la tendance de la population des couples reproducteurs est à l'augmentation ou plutôt à la baisse.

- Mener des recherches plus approfondies sur l'écologie de la reproduction de l'espèce pour évaluer le succès de la reproduction et l'impact des changements de l'habitat et de l'occupation des sols sur la productivité de l'espèce.

- Mener des études sur l'écologie trophique de l'Aigle de Bonelli. La collecte des restes de proies pourrait se faire systématiquement pour tous les nids accessibles. Une logistique pour accéder aux nids doit être prévue en s'associant, par exemple, avec les associations des spéléologues ou des alpinistes. La collaboration, aussi, avec des spécialistes pour reconnaître l'ensemble des restes des proies à partir des plumes ou peau est nécessaire.

- Les études sur la dispersion des juvéniles doivent être coordonné au niveau national. Une coordination transfrontalière doit être aussi assurée avec notamment l'Espagne, vu que des individus erratiques traversent souvent le détroit. Cette coordination nationale et internationale permettra d'obtenir les meilleures performances possibles à partir des données collectées et d'essayer de connaître les taux d'immigration et d'émigration dans les différentes populations. Ces études sur les mouvements des juvéniles doivent être assez long pour permettre de suivre les juvéniles jusqu'à leur intégration à la population reproductrice.

- L'utilisation des systèmes d'information géographique est fortement recommandée. En absence de données suffisantes issues de terrain, un outil SIG permettra de gagner du temps et de faire des économies. En effet, les modèles prédictifs peuvent être élaborés avec des données topographiques (pente, exposition, dénivelée...), statut de terrain, ainsi que des données socioéconomiques pour définir les sites favorables à l'Aigle de Bonelli .

- Cartographier les zones de dispersions des juvéniles. Cela permettra de mieux connaître les caractéristiques singulières de ces zones. Les données collectées sur ces zones permettront l'élaboration d'un modèle de cartographie prédictive des zones d'installation temporaire pour les jeunes pendant la dispersion.

Du point de vue de la conservation :

- Opter pour des programmes de baguage et de pose des balises GPS. Cette technique donnera la possibilité d'avoir énormément des données dont celles sur les déplacements d'individus, sur l'utilisation des adultes de leur territoire. Il faut rappeler que le premier point noir d'électrocution a été en partie découvert grâce à l'électrocution d'un Aigle Ibérique suivi par GPS.

- Au niveau du volet de l'électrocution, l'identification et la correction des pylônes individuels dangereux peuvent participer à réduire considérablement le taux d'électrocution parmi les grands oiseaux et les rapaces en particulier. Dans une perspective d'optimisation, à la fois du temps et des coûts, il est important d'identifier et de hiérarchiser les zones avec des risques

d'électrocution les plus élevés. Une action urgente et pilote, sur les lignes mortelles déjà identifiées, doit se faire. Cette action est nécessaire, à la fois, pour éliminer le risque sur ces lignes et évaluer la bonne installation de ces dispositifs. (Temps nécessaire à leur installation, estimation de l'intervention, leur durabilité ..etc.)

- Une campagne de sensibilisation de tous les intervenants concernés est nécessaire (ONE, Eaux et forêts, Autorité locales, Société civile,). Cette sensibilisation permettra des remontées d'information sur les nouveaux incidents d'électrocution et participera, à long terme, pour une solution.

- Il est urgent d'imposer, pour les nouvelles installations électriques, l'utilisation des pylônes électriques sans danger pour les oiseaux (à la fois au niveau de l'électrocution et la collision). Cette obligation pourrait être intégrée, par exemple, lors de la phase des études d'impact.

- Il est nécessaire, après la localisation des sites de nidifications, de limiter toute activité humaine qui pourrait entraîner un échec de la reproduction. Des mesures doivent être effectuées en particulier dans la période critique de la période de reproduction.

- Une réglementation doit imposer la pose des dispositifs avifaune sur les infrastructures électriques mortelle. Cette obligation doit en urgence être activée, en urgence, pour participer à résoudre le problème de l'électrocution causée par certaines installations électriques existantes. Actuellement, l'ONE (Office national d'électricité), malgré les dégâts causés par son réseau n'est pas nullement inquiet dans la mesure où un vide juridique sur la question de l'électrocution subsiste.

- Une collaboration étroite avec les associations et fédérations des chasseurs est primordiale pour endiguer le phénomène de braconnage. En effet, l'ignorance et le sentiment d'impunité poussent certains chasseurs à avoir des comportements destructeurs vis-à-vis de la faune et des rapaces en particulier. Des programmes des formations et de sensibilisation, en partenariat avec la fédération des chasseurs, sont nécessaires soit, juste, après l'obtention du permis d'arme.

Bibliographie :

Amezian M, Irizi A, Errati A, Loran H, El Khamlichi R, Morandini V, González DG, Garrido JR. (2015). Spanish Imperial Eagles and other eagles found electrocuted in Morocco and proposition of correction measures = m9.fgshare.1613292. [Accessed 23 February 2020].

Aimassi, Giorgio. (2015). The original description of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* Vieillot (Aves: Accipitridae). Zoological Bibliography. 4. 1-14.

Anctil, Alexandre & Franke, Alastair & Bêty, Joël. (2013). Heavy rainfall increases nestling mortality of an Arctic top predator: experimental evidence and long-term trend in peregrine falcons. *Oecologia*. 174. 10.1007/s00442-013-2800-y.

Allan, D.G. (1989). Strychnine poison and the conservation of avian scavengers in the Karoo, South Africa. *South African Journal of Wildlife Research* 19: 102–106.

Arroyo B, Ferreiro E, Garza V. (1995). El águila perdicera (*Hieraaetus fasciatus*) en España. Censo, distribución, reproducción y conservación. Colección técnica. Madrid: ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación [in Spanish].

Avella F. J.. (1977). *Hieraaetus fasciatus* alimentándose de carroña. *Ardeola*, 24: 212-215

Azafzaf, H., Feltrup-Azafzaf, C., Dlensi, H. & Isen-mann, P. (2015). Nouvelles données sur l'avifaune de Tunisie (2005–2014) [New bird records in Tunisia (2005–2014)]. *Alauda* 83: 7-28.

Balbotin J., (2005). Identifying suitable habitat for dispersal in Bonelli's eagle : an important issue in halting its decline in Europe. *Biological Conservation* 126 : 74-83.

Barthes A, Baudot P, Alifriqui M, Michon G, Genin D, Kamil H, Romagny B, Simenel R. (2016). Innovative dynamics in the arid Moroccan hinterlands: the case of prickly pear, an emerging territorial resource. In: Berriane M, Michon G (Eds.), *Mediterranean terroirs: environment, patrimony and development in Morocco*. Marseille: IRD Editions and AUF. pp 145–158.

Barreau, D.; Lensne, L, (1982). Premier bilan d'observations ornithologiques dans la région de Marrakech. 1980-81. *Bull. Fac. Sci. Marrakech*, 1 : 8-16.

Bayle P., (1987). Découverte des restes d'un Aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus* juvénile dans une aire de Hibou Grand-duc *Bubo bubo* en Provence. *Faune de Provence (CEEP)* 8 : 49-53.

Bayle P. & J. Boutin, (1985). État général des connaissances sur l'Aigle de Bonelli (*Hieraaetus fasciatus*) (Vieillot, 1822) en Provence. *Contrat de plan environnement Etat Région*. 32p.

Bennett P.M., Owens I.P.F. (1997). Variation in extinction risk among birds: chance or evolutionary predisposition? *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, 264 : 401-408

Bannerman, D. et J. (1953). A second journey in Morocco sahara (in 1952) and over the Great Atlas. *Ibis*, 95 : 128-139.

- Bergier, P., Thévenot, M. & Qninba, A. (2017).** Oiseaux du Sahara Atlantique Marocain. Société d'Études Ornithologiques de France. , Paris.
- Bergier, P. (1987).** Les rapaces diurnes du Maroc: statut, répartition et ecologie. [The diurnal raptors of Morocco, status, distribution & ecology]. Centre d'etudes sur les ecosystemes de Provence, Aix-en-Provence.
- Bergier P, & Naurois R. (1985).** Note sur la reproduction de l'Aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus* en Afrique du Nord-Ouest. *Alauda* 53: 257–262.
- Bernardino, J., Bevanger, K., Barrientos, R., Dwyer, J.F., Marques, A.T., Martins, R.C., Shaw, J.M., Silva, J.P., Moreira, F., (2018).** Bird collisions with power lines: state of the art and priority areas for research. *Biol. Conserv.* 222, 1–13.
- Besnard A., (2010).** Analyse de viabilité de la population française d'Aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) Rapport à destination de la DREAL Languedoc-Roussillon. CEFÉ-CNRS. 28 p.
- Bevanger, K. (1999).** Estimating bird mortality caused by collision and electrocution with power lines; a review of methodology. In *Birds and power lines. Collision, electrocution and breeding*: 29–56. Ferrer, M. & Janss, G.F.E. (Eds). Madrid: Quercus.
- BirdLife International. (2021)** Species factsheet: *Aquila fasciata*. Downloaded from <http://www.birdlife.org> on 05/06/2021.
- BirdLife International. (2015).** *Aquila fasciata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T22696076A60132541. Downloaded on 19 April 2020.
- Blasco, A. (1984) :** Aigle royal contre Aigle de Bonelli. *Bull. C.R.O.P.*, 6: 56.
- Börger L, Dalziel BD, Fryxell J. (2008).** Are there general mechanisms of animal home range behaviour? A review and prospects for future research. *Ecol Lett* 11:637–650
- Bosch, Rafel & Real, Joan & Tint, Albert & L. Zozaya, Elena & Castell, Carles. (2010).** Home-ranges and patterns of spatial use in territorial Bonelli's Eagles *Aquila fasciata*. *Ibis*. 152. 10.1111/j.1474-919X.2009.00985.x.
- Boudda, A., G. Choubert, (1972),** Sur la limite inférieure du Cambrien au Maroc: C. R. de l'Académie des Sciences, Paris, Serie II 275 (1), p. 5-8.
- Bourque, H., (2016).** Le cuivre de l'Anti-Atlas , un problème complexe: synthèse des occurrences cuprifères de la boutonnière de Bou Azzer El Graara et nouvelles données d'exploration. Colloque RIG, Montpellier, France.
- Brosset A. (1961).** Écologie des oiseaux du Maroc oriental. *Travaux de l'Institut scientifique chérifien, série zoologie* 22: 1–150.
- Bruggeman, Jason & Swem, Ted & Andersen, David & Kennedy, Patricia & Nigro, Debora. (2015).** Dynamics of a recovering Arctic bird population : The importance of climate, density dependence, and site quality. *Ecological Applications*. 25. 150416112020000. 10.1890/14-1591.1.

- Buhot, D.** (1983) : Deux mois d'observation d'un couple d'Aigles de Borielli (*Hieraaetus fasciatus*) (Vieillot) en Israël. *Alauda*, 51: 92-108.
- Caro, Jesus & Ontiveros, Diego & Pleguezuelos, Juan.** (2011). The feeding ecology of Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) floaters in southern Spain : Implications for conservation. *European Journal of Wildlife Research*. 57. 729-736. 10.1007/s10344-010-0480-z.
- Carrascal, L. M., Seoane, J.** (2009). Factors affecting large-scale distribution of the Bonelli's eagle *Aquila fasciata* in Spain. *Ecological Research*. 24. 565-573. 10.1007/s11284-008-0527-8.
- Carrete, M., Sánchez -Zapata, J.A., Tella, J.L., Gil- Sánchez, J.M. & Moleo´ n, M.** (2006). Components of breeding performance in two competing species: habitat heterogeneity, individual quality and density-dependence. *Oikos* 112: 680–690.
- Carrete M, Sánchez-Zapata JA, Calvo JF, Lande R.** (2005). Demography and habitat availability in territorial occupancy of two competing species. *Oikos* 108: 125–136.
- Carrete M, Sánchez-Zapata JA, Martínez JE, Sánchez MA, Calvo JF.** (2002). Factors influencing the decline of a Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* population in southeastern Spain: demography, habitat or competition?. *Biodiversity and Conservation* 11: 975–985.
- Carrete M, Sánchez-Zapata JA, Martínez JE, Palazón JA, Calvo JF.** (2001). Spatial patterns of distribution of Bonelli's Eagles (*Hieraaetus fasciatus*) and Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) in southeastern Spain. *Ardeola* 48: 175–182.
- Cheyland G.** (1978). Première synthèse sur le statut actuel et passé du Vautour percnoptère *Neophron percnopterus* et de l'Aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus* en Provence. *Bulletin du C.R.O.P. (Faune de Provence)* 1 : 4-16.
- Cheyland, G.** (1973). Notes sur la compétition entre l'Aigle royal *Aquila chrysaetos* et l'Aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus*. *Alauda* 41 (3) : 203-212.
- Choubert, G. Faure-Muret, A.** (1980). 1. Anti-Atlas (Morocco). *Earth-Science Reviews* V16, pp 87-113.
- Clark B & Davies R.** (2018). *African Raptors*. Bloomsbury Publishing Plc.
- Collias, N. E., and E. C. Collias.** (1984). *Nest building and bird behavior*. Princeton Univ. Press, Princeton, NJ.
- Collinge, Sharon.** (2001). Spatial ecology and biological conservation - Introduction. *Biological Conservation - BIOL CONSERV*. 100. 1-2. 10.1016/S0006-3207(00)00201-9.
- Cotton, N.** (2002). L'Aigle de Bonelli (*Hieraaetus Fasciatus*) en France et sa reproduction en captivité en Ardèche. Thèse présentée à l'Université Claude-Bernard – Lyon I.
- Cramp, S. and Simmons, K.E.L.** (1980) *The Birds of the Western Palearctic. Handbook of the birds of Europe, the middle east and north africa*, 2. 258-264.
- CSEC, Conseil Supérieur de l'Eau et du Climat,** (2001). la 9ème session. Agadir les 21-22 juin 2001.

- Cugnasse, J.M.** (1984). L'Aigle de Bonelli *Hieraetus fasciatus*, en Languedoc-Roussillon. Nos Oiseaux 37: 223-232.
- Cuzin, F.** (2019). Synthèse sur l'état des connaissances des oiseaux de proie du Maroc. Atelier d'évaluation des menaces et des besoins de conservation pour les oiseaux de proie du Maroc Rabat, 23-24 janvier 2020 . IUCN, Rabat.
- Cuzin F.** (2003). Les grands Mammifères du Maroc méridional (Haut Atlas, Anti Atlas et Sahara): distribution, écologie et conservation. Thèse Doctorat E.P.H.E., Montpellier, 340p.
- Del Hoyo, J. & N.J. Collar,** (2014). HBW and BirdLife International Illustrated Checklist of the Birds of the World. Volume 1: Non-passerines. 1-903. – Lynx Edicions, Barcelona.
- Del Hoyo J, Elliott A, Sargatal J** (eds). (1994). Handbook of the birds of the world, vol. 2: New World vultures to guinea fowl. Barcelona: Lynx Edicions.
- Delannoy H.** (1988) – Précipitations saisonnières au Maroc cisatlantique et téléconnexions dans la circulation atmosphérique. *Bulletin de l'Association de Géographes Français* 5, 393-406.
- Destombes J., Hollard H. & Willefert S.** (1985). Lower Paleozoic rocks of Morocco, In: C.Holland Ed., Lower Paleozoic rocks of northwestern and western Africa. –Wiley and sons Pub., NewYork, 91-336.
- Destre R.** (1984). Les oiseaux de Tafilalet: étude biogéographique et écologique. Thèse spécialité écologie terrestre, Université Montpellier 2, France.
- Diego Jerez et al.** (2016). Records at Melilla and in Eastern Morocco, Go South.
- Donazar J.A., Cortés-Aviz & A., Fargallo J.A., Margalida A., Moleón M., Morales-Reyes Z., Moreno-Opo R., Pérez-García J.M., Sánchez-Zapata J.A., Zuberogoitia I., Serrano D.** (2016). Roles of raptors in a changing world: from flagships to providers of key ecosystem services. *Ardeola*, 63 : 181-234.
- Donazar, J., Hiraldo, F., & Bustamante, J.** (1993). Factors Influencing Nest Site Selection, Breeding Density and Breeding Success in the Bearded Vulture (*Gypaetus barbatus*). *Journal of Applied Ecology*, 30(3), 504-514. doi:10.2307/2404190
- Dray, Stéphane & Péliissier, Raphaël & Couteron, Pierre & Fortin, M. & Legendre, P. & Peres-Neto, Pedro & Bellier, Edwige & Bivand, Roger & Blanchet, F. Guillaume & Ceres, M. & Dufour, Anne-Béatrice & Heegaard, Einar & Jombart, T. & Munoz, François & Oksanen, Jari & Thioulouse, Jean & Wagner, Helene.** (2012). Community ecology in the age of multivariate multiscale spatial analysis. *Ecological Monographs*. 82. 257-275. 10.1890/11-1183.1.
- ELAW.** (2010). Guide pour l'évaluation des projets EIE du domaine minier, 1 ère édition, version française, Environmental Law Alliance Worldwide (ELAW), Eugene, Etats-Unis d'Amérique, 118p.
- Fasce, & Fasce, L.** (1987). L'Aigle reale en Italie. En L'Aigle Royal en Europe pp.23-32. Maison de la Nature. Briançon.
- Ferguson-Lees J. & Christie D. A.** (2001). Raptors of the World. Christopher Helm, London.

- Fernandez C.**, (1987). Seasonal variation in the feeding habitus of a pair of Golden Eagles in Navarra. In: Michel S. (ed.), *L'Aigle Royal (Aquila chrysaetos) en Europe*. Actes du Premier Colloque International sur l'Aigle royal en Europe, 13-15 Juin 1986, Arvieux: 107-117
- Ferrer, M.**, (2012). *Birds and Power Lines: from Conflict to the Solution*. Migres Foundation, Seville, p. 187
- Forsman, D.** (2016). *Flight identification of Raptors of Europe, North Africa and the Middle East*. Bloomsbury, Christopher Helm. Barcelona.
- Frier, J.** (1976). Contribution à l'étude de la faune ardéchoise. L'Aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus* (Vieillot). 07 NATURE 3: GOA/CORA 07.
- García, Victor & Moreno-Opo, Rubén & Tintó, Albert.** (2013). Sex Differentiation of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in Western Europe using Morphometrics and Plumage Colour Patterns. *Ardeola: revista ibérica de ornitología*. 60. 261-277. 10.13157/arla.60.2.2013.261.
- Gil-Sánchez JM, Moleón M, Otero M, Bautista J.** (2004). A nine-year study of successful breeding in a Bonelli's Eagle population in southeast Spain: a basis for conservation. *Biological Conservation* 118: 685–694
- Gil-Sánchez, J., Molino, F., Valenzuela, G. & Moleón, m.** (2000). Demografía y alimentación del Águila-azor perdicera *Hieraaetus fasciatus* en la provincia de Granada. *Ardeola* 47(1): 69-75.
- Gil-Sánchez JM,** (1999). Nest-site overlap and coexistence between Bonelli's Eagle (*Hieraaetus fasciatus*) and Peregrine Falcon (*Falco peregrinus*) in an area of sympatry. *Ardeola*. 46. 31-37.
- Gil-Sánchez JM,** (1998). Prey selection by Bonelli's Eagles (*Hieraaetus fasciatus*) during the breeding season in Gra-nada (Southeastern Spain). *Ardeola*. 45. 151-160.
- Gil-Sánchez JM, Molino F, Valenzuela G.** (1996). Nest-site selection by Bonelli's Eagle (*Hieraaetus fasciatus*) in Granada (southeastern Spain). *Ardeola* 43: 189–197.
- Gil-Sánchez J. M., Molino, F. and Valenzuela, G.**(1994). Parámetros reproductivos y alimentación del Águila Real (*Aquila chrysaetos*) y del Águila Perdicera (*Hieraaetus fasciatus*) en la provincia de Granada. *Aegypius*, 12: 47-51.
- Godino, A., Garrido, J.R., El Khamlichi, R., Burón, D., Machado, C., Amezian, M., Irizi, A., Numa, C.;Barrios, V.** (2016). Identificación de mortalidad por electrocución de aves rapaces en el sudoeste de Marruecos. IUCN, Malaga.
- Haas, W.** (1969). Observations ornithologiques dans le nord-ouest de l'Afrique. *Alauda*, 37 :28-37.
- Heim de Balsac, H.; Mayaud, N.** (1962). *Les oiseaux du nord-ouest de l'Afrique*. [The birds of north-west Africa]. Paul Lechevalier, Paris.
- Heim de Balsac H, Heim de Balsac T.** (1954). De l'oued Sous au fleuve Sénégal. Oiseaux reproducteurs. Particularités écologiques. Distribution. *Alauda* 22: 145–205.

Hernández-Matías A., Real J. & Pradel R., (2011b). Analyse démographique des populations d'Aigle de Bonelli de France, Catalogne et d'autres régions de la péninsule ibérique : Recrutement territorial et dispersion des Aigles de Bonelli en France et Catalogne. In Scher O. & Lecacheur M. (eds.), 2011. La conservation de l'Aigle de Bonelli. Actes du colloque international, 28 et 29 janvier 2010, Montpellier. CEN L-R, CEEP, CORA-FS & DREAL LR. 20-22.

Hernandez-Matias, Antonio & Real, Joan & Parés, Francesc & Llacuna, Santiago. (2016). Siblicide in Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*). Journal of Raptor Research. 50. 125-128. 10.3356/rapt-50-01-125-128.1.

Inácio, A.R. (1999). Hábitos alimentares de *Hieraaetus fasciatus* em Sintra. Instituto da Conservação da Natureza-Parque Natural de Sintra-Cascais: 10 p.

Iglesias, J.J., Llamas, A. & Álvarez, E. (2018). Uso del espacio del águila de Bonelli: supervivencia, dispersión y asentamiento durante el LIFE Bonelli . In: Equipo de LIFE Bonelli (ed.), Recuperación integral de las poblaciones de águila de Bonelli en España. Seminario Internacional (septiembre de 2017), pp. 131-151. Sangüesa-Navarra.

Irizi, A. Aourir, M., Znari, M. El Agbani M.A. & Qninba ,A. (2019). Spatial distribution & breeding territories of Bonelli's Eagle *Aquila fasciata* in the western Anti-Atlas Mountains, Morocco. Ostrich DOI: 10.2989/00306525.2019.1625456.

Isenmann, P., Gaultier, T., El Hili, A., Azafzaf, H., Dlensi, H. & Smart, M. (2005). Oiseaux de Tunisie - Birds of Tunisia. SEOF Editions, Paris.

Isenmann, P. & Moali, A. (2000). Oiseaux d'Algérie - Birds of Algeria. Société d'Études Ornithologiques de France, Paris.

Izquierdo Rosigue, A., Marín Cantarino, C. & Rico Alcaraz, L. (1997). 'Factores técnicos y ambientales implicados en la electrocución de aves en los tendidos eléctricos'. Informes de la Construcción 49(451):49-55.

Janss, Guyonne & Ferrer, Miguel. (1999). Mitigation of raptor electrocution on steel power poles. Wildlife Society Bulletin. 27. 263-273.

Jeannette D., Benziane F. et Yazidi A. (1981) Lithostratigraphie et datation du Protérozoïque de la boutonnière d'Ifni (Anti-Atlas, Maroc). Précambrien Res., 14, 363 – 378.

Jiang L, Chen J, Wang P, Ren Q, Yuan J, Qian C, et al. (2015) The Mitochondrial Genomes of *Aquila fasciata* & *Buteo lagopus* (Aves, Accipitriformes): Sequence, Structure & Phylogenetic Analyses. PLoS ONE 10(8): e0136297. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136297>

Jiguet F., Crochet P.-A., Dubois P.-J., Le Marechal P., Pons J.-M. & Yesou P., (2007). Décisions récentes prises par la Commission de l'Avifaune Française en 2006-2007. 11^{ème} rapport de la CAF. Ornithos 14 (2) : 108-115.

Jordano, P. (1981). Relaciones interespecíficas y coexistencia entre el Águila Real (*Aquila chrysaetos*) y el Águila Perdicera (*Hieraaetus fasciatus*) en sierra Morena central. Ardeola 28:67–87 (in Spanish).

Jourdain, F.C.R. (1929). Notes ornithologiques sur le Maroc et l'Algérie, en 1928. *Alauda*, 1 :173-178.

Le Houérou NH (Ed.). (1995). Bioclimat et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertisation. Options méditerranéennes. Série B: études et recherches 10. Montpellier: CIHEAM; Paris: ACCT.

López-López, Pascual & García-Ripollés, Clara & Giménez, José & Urios, Vicente. (2016). A Case of Predation of a Eurasian Eagle-Owl by a Bonelli's Eagle. *Journal of Raptor Research*. 50. 422-424. 10.3356/JRR-16-26.1.

Lourenço, R., V. Penteriani, M.M. Delgado, M. Marchibartolozzi, & J.E. Rabac, A. 2011a. Kill before being killed: an experimental approach supports the predator removal hypothesis as a determinant of intraguild predation in top predators. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 65:1709–1714.

Mainwaring, Mark & Hartley, Ian & Lambrechts, Marcel & Deeming, Denis. (2014). The design and function of birds' nests. *Ecology and Evolution*. 4. 10.1002/ece3.1054.

Magrini, M., Ragni, B. & Amertano, L. (1987). L'Aigle Royal dans la partie centrale des Appennins. pp29-32. In S. Michel (ed.) *L'Aigle Royal en Europe*. Actes du Premier Colloque International : Arvieux

Mañosa, Santi. (2001). Strategies to identify dangerous electricity pylons for birds. *Biodiversity and Conservation*. 10. 1997-2012. 10.1023/A:1013129709701.

Mañosa, S., Real, J., Codina, J. (1998). Selection of settlement areas by juvenile Bonelli's eagle in Catalonia. *J. Raptor Res.*, 32 (3): 208-214.

Martín, Justo & Barrios, Violeta & Clavero, Helena & López, José. (2019). Les oiseaux et les réseaux électriques en Afrique du Nord: guide pratique pour l'identification et la prévention des lignes électriques dangereuses. 10.2305/IUCN.CH.2019.09.fr.

Martínez, José & Zuberogoitia, Iñigo & Gómez, Ginés & Escarabajal, Jose & Cerezo, Ester & Jiménez-Franco, María & Calvo, José. (2014). Attack success in Bonelli's Eagle *Aquila fasciata*. *Ornis Fennica*. 90.

Martínez J.A., Calvo J.F., Martínez J.E., Zuberogoitia I., Zabala J. & redpath S.M., (2008). Breeding performance, age effects and territory occupancy in a Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* population ? *Ibis* 150 : 223-233.

Martínez, J.E., Sanchez, M.A., Carmona, D. & Sanchez, J.A. (1994). Régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus* durant la période de l'élevage des jeunes (Murcia, Espagne). *Alauda* 62(1): 53-58.

Mathieu R. & J-P. Choisy. (1982). L'Aigle royal dans les Alpes méridionales françaises de 1964 à 1980. *Le Bièvre* 4 :1-32.

M'Barki, Lhassan & Abioui, Mohamed & Mohammed, Benssaou. (2017). Géomorphosité marocain : Le paysage granitique de Tafraout au Maroc, des géomorphosites emblématiques. *Dynamiques environnementales*. 333-336. 10.4000/dynenviron.589.

Mc Garigal, Kevin & Wan, Ho Yi & Zeller, Katherine & Timm, Brad & Cushman, Samuel. (2016). Multi-scale habitat selection modeling : a review and outlook. *Landscape Ecology*. 31. 10.1007/s10980-016-0374-x.

Meade-Waldo, E.G.B. (1905). A trip to the forest of Marmora, Morocco. *Ibis* : 161-164.

Mearns, R., Newton, I., (1988). Factors affecting breeding success of peregrines in south Scotland. *Journal of Animal Ecology* 57, 903–916.

Meyburg, B.-U. (1974) . Sibling aggression and mortality among nestling eagles. *Ibis* 116: 224-228.

Michard & Hassenforder, (1987). La tectonique panafricaine et varisque de l'Anti-Atlas dans le massif du Kerdous (Maroc). Grenoble : atelier national de reproduction des thèses.

Moleón, Marcos & Sebastián-González, Esther & Sánchez-Zapata, José & Real, Joan & Pires, Mathias & Jose María, Gil & Bautista, Jesús & Palma, Luis & Bayle, Patrick & Guimarães, Paulo & Beja, Pedro. (2012). Changes in intrapopulation resource use patterns of an endangered raptor in response to a disease-mediated crash in prey abundance. *Journal of Animal Ecology*. 81. 1154-1160. 10.1111/j.1365-2656.2012.02006.x.

Moleón, Marcos & Bautista, Jesús & Sánchez-Zapata, José & Jose María, Gil. (2009). Diet of non-breeding Bonelli's Eagles *Hieraetus fasciatus* at settlement areas of southern Spain. *Bird Study*. 56. 142-146. 10.1080/00063650802648069.

Monadjem, Ara & Botha, Andre & Murn, Campbell. (2012). Survival of the African white-backed vulture *Gyps africanus* in north-eastern South Africa. *African Journal of Ecology*. 51. 87-93. 10.1111/aje.12009.

Moreno-Rueda, Gregorio & Pizarro, Manuel & Ontiveros, Diego & Pleguezuelos, Juan. (2009). The Coexistence of the Eagles *Aquila chrysaetos* and *Hieraetus fasciatus* Increases with Low Human Population Density, Intermediate Temperature, and High Prey Diversity. *Annales Zoologici Fennici*. 46. 283-290. 10.5735/086.046.0405.

Morvan R., (2010). Vivre avec l'Aigle de Bonelli. Éditions Hesse, Espagne. 93 p.

Morvan, Rozen & Frédéric, Larrey & Thomas, Roger & Cyril Girard. (2007). Aigle de Bonelli : Méditerranéen méconnu Relié

Morvan R. (1985). Contribution à la connaissance de quelques comportements chez l'Aigle de Bonelli (hierauu) durant la période de reproduction dans son site de nidification (Hérault). *Le Guèpier*, 3,3-33.

Msanda F, El Aboudi A, Peltier JP. (2002). Originalité de la flore et de la végétation de l'Anti-Atlas sud-occidental (Maroc). *Feddes Repertorium* 113: 603–615 [in French]. <https://doi.org/10.1002/fedr.200290008>.

Msanda F, El Aboudi A, Peltier J -P .(2005). Biodiversité et biogéographie de l'arganeraie marocaine *Cahiers Agricultures* 14:357-364

- Mullié, W.C. & Meininger, P.L..** (1985). The decline of birds of prey in Egypt. Pp. 61-82 in Newton, I. & R.D. Chancellor [Eds.] Conservation Studies on Raptors, Proceedings of the Second World Conference on Birds of Prey, Thessaloniki, 1982. ICBP Technical Publication No. 5., ICBP, Cambridge, UK
- Mure M..** (2003). Approche par suivi visuel du domaine vital de l'Aigle de Bonelli *Hieraetus fasciatus* en Ardèche. Mémoire EPHE. Laboratoire Biogéographie Écologie des Vertébrés de l'EPHE. 116 p.
- Mure, M..** (2002). Approche par suivi visuel du domaine vital de l'Aigle de Bonelli *Hieraetus fasciatus* en Ardèche. *Alauda* 70(1): 57-68.
- Newton I .** (1998). Population limitation in birds. Academic, London
- Newton, I.** (1989). Sparrowhawk. Pages 279–296 in Lifetime Reproduction in Birds (I. Newton, Ed.). Academic Press, London.
- Newton I (ed.)..** (1979). Population ecology of raptors. Berkhamsted: Buteo Books.
- O'Connor, R. J..** (1984), *The Growth and Development of Birds*, John Wiley and Sons, New York.
- Ontiveros, D.** (2016). Águila perdicera – Aquila fasciata. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Morales, M. B. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>
- Ontiveros, Diego & Caro, Jesus & Pleguezuelos, Juan.** (2008). Possible functions of alternative nests in raptors: The case of Bonelli's Eagle. *J. Ornithol.* 149. 253-259. 10.1007/s10336-007-0268-4.
- Ontiveros, Diego & Pleguezuelos, Juan & Caro, Jesus.** (2005). Prey density, prey detectability and food habits: the case of Bonelli's Eagle and the conservation measures. *Biological Conservation*. 123. 19-25. 10.1016/j.biocon.2004.10.004.
- Ontiveros, Diego & Pleguezuelos, Juan.** (2003). Influence of climate on Bonelli's eagle's (*Hieraetus fasciatus* V. 1822) breeding success through the Western Mediterranean. *Journal of Biogeography*. 30. 755 - 760. 10.1046/j.1365-2699.2003.00860.x.
- Ontiveros, Diego & Pleguezuelos, Juan.** (2003). Physical, environmental and human factors influencing productivity in Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* in Granada (SE Spain). *Biodiversity and Conservation*. 12. 1193-1203. 10.1023/A:1023056102216.
- Ontiveros, Diego & Pleguezuelos, Juan.** (2003). Factors influencing productivity in Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* in SE Spain. *Ecologia mediterranea*. 29. 111. 10.3406/ecmed.2003.1539.
- Ontiveros, D. & Pleguezuelos, J.M.** (2000). Influence of prey densities in the distribution & breeding success of Bonelli's eagle (*Hieraetus fasciatus*) : management implications. *Biological Conservation* 93: 19-25.

- Ontiveros, D.** (1999). Selection of nest cliff by Bonelli's eagle (*Hieraaetus fasciatus*) in southeastern Spain. *J. Raptor Res.*, 33: 110-116.
- Orta, J., Kirwan, G.M., Christie, D.A. & Boesman, P.** (2013). Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*). In: delHoyo, J., Elliott, A., Sargatal, J., Christie, D.A. & de Juana, E. (eds.) 2013. *Handbook of the Birds of the World Alive*. Lynx Edicions, Barcelona. (retrieved from <http://www.hbw.com/node/53165> on 21 January 2015).
- Owens I.P.F., Bennett P.M..** (2000). Ecological basis of extinction risk in birds: Habitat loss versus human persecution & introduced predators. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 97: 12144-12148.
- Peltier JP.** (1982). La végétation du bassin versant de l'oued Sous (Maroc). PhD thesis, Université scientifique et médicale de Grenoble, France.
- Pérez-García, Juan & Margalida, Antoni & Afonso, Iván & Ferreiro, Ernesto & Gardiazábal, Andrea & Botella, Francisco & Sánchez-Zapata, José.** (2013). Interannual home range variation, territoriality and overlap in breeding Bonelli's Eagles (*Aquila fasciata*) tracked by GPS satellite telemetry. *Journal of Ornithology*. 154. 63-71. 10.1007/s10336-012-0871-x.
- Phipps SJ, McGregor HV, Gergis J, Gallant AJE, Neukom R, Stevenson S, Ackerley D, Brown JR, Fischer MJ, van Ommen TD.** (2013). Paleoclimate data-model comparison and the role of climate forcings over the past 1500 years. *J Clim* 26:6915–6936
- PNAAB (Plan national d'actions en faveur de l'Aigle de Bonelli 2014-2023).** (2013). Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la mer 172 p.
- Pinasseau M..** (2015). *Les intoxications des rapaces dues aux activités humaines en France*. Thèse de doctorat. Université Paul-Sabatier de Toulouse.
- Pompidor, J.P. and J.M. Cugnasse.** (1990). Une ponte de remplacement chez l'Aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus*. *Alauda* 58:141.
- Ponchon C..** (2011). World distribution and dynamic of the Bonelli's eagle Mediterranean population *Aquila fasciata*. In: Scher O, Lecacheur M (eds), *La conservation de l'Aigle de Bonelli: Actes du colloque international*, 28 et 29 janvier 2010, Montpellier, France. Montpellier: Conservatoire des Espaces Naturels du Languedoc-Roussillon. pp 14–15.
- Qninba, A., Cuzin, F., El Agbani, M. A., & Thévenot, M..** (2013). Le peuplement d'oiseaux nicheurs du Jbel Saghro (Anti-Atlas, Maroc), un îlot montagnard méditerranéen en bordure du Sahara, 30-31 N / 5-6 W. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Vie* 35: 119-129.
- Ravayrol A..** (2008). L'aigle et le grand-duc. *Bonelli Info* 11 : 3.
- Real J., Grande J-M., Manosa S., Sanchez-Zapata J-A..** (2001). Causes of death indifferent areas for Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus* in Spain. *Bird Study* 48 : 221-228.
- Real J, Mañosa S..** (1997). Demography and conservation of western European Bonelli's Eagle (*Hieraaetus fasciatus*) populations. *Biological Conservation* 79: 59–66.

- Real, J. & Mañosa, S.** (1990). Eagle Owl (*Bubo bubo*) predation on juvenile Bonelli's Eagles. *J. Raptor Res.* 24: 69–71.
- Real, J.** (1987). Evolución cronológica del régimen alimenticio de una población de *Hieraaëtus fasciatus* en Catalunya: factores causantes, adaptación y efectos. *Suplemento Ricerca Biologica Selvaggina*, 12: 185-205.
- Real, Joan.** (1983). Dades sobre la biologia de l'àliga cuabarrada ("*Hieraaetus fasciatus*"[Vieill.]) a la Serralada Pre-Litoral Catalana. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*; Núm.: 49. 49.
- Resano-Mayor, Jaime & Bayle, Patrick & Real, Joan & Hernandez-Matias, Antonio & Vincent-Martin, Nicolas & Ravayrol, Alain.** (2012). Analyse du régime alimentaire de l'Aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus* (Vieillot, 1822) pendant la saison de reproduction 2010 en France. *Nature de Provence*. 1. 95-101.
- Resano-Mayor, Jaime & Hernandez-Matias, Antonio & Real, Joan & Parés, Francesc.** (2012). Using Stable Isotopes To Determine Dietary Patterns In Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*) Nestlings. *Journal of Raptor Research*. 45. 342-352. 10.3356/JRR-11-13.1.
- Riser J.,** (1988). « Anti-Atlas », Encyclopédie berbère [En ligne], 5 , document A235, mis en ligne le 01 décembre 2012, consulté le 04 avril 2020. URL : <http://journals.openedition.org/encyclopedieberbere/2522>
- Riser J.** (1996). Le bassin de Tarfaya (Maroc atlantique, 28 ° N.) : Paléoenvironnements, Paléoanthropologie, Préhistoire, l'Harmattan, Paris, 284 p.
- Rollier, A.-J.** (1993). Déplacement et adaptation au site de l'Aigle de Bonelli. Etude de cas dans l'Aude en 1992. *Feuille de liaison 33 GRIVE* : 17-18.
- Sanz, A., Minguéz, E., Anadón, J.D. & Hernández, V.J.** (2005). Heterogeneous use of space in three breeding territories of Bonelli's Eagle *Hieraaetus fasciatus*. *Ardeola* 52: 347–350.
- Schmitt, M.** (1978). Stromatolites from the Tiout section, Precambrian–Cambrian boundary beds, Anti-Atlas, Morocco. *Geological Magazine*. 115. 95 - 100. 10.1017/S0016756800041145.
- Seriot J.** 1986 Statut et biologie de trois espèces de grands rapaces dans le parc naturel régional du Haut languedoc. *Le Guêpier*, 4, 19-29
- Sergio F., Caro T., Brown D., Clucas B., Hunter J., Ketchum J., McHugh K., Hiraldo F.** (2008). Top predators as conservation tools: ecological rationale, assumptions, & efficacy. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 39 : 1-19.
- Shirihai, H.; Yosef, R.; Alon, D.; Kirwan, G. M.; Spaar, R.** (2000). Raptor migration in Israel & the Middle East: a summary of 30 years of field research. *International Birding & Research Center in Eilat, Eilat, Israel*.
- Simeon, D. & J. L. Wilhelm.** (1988). Essai sur l'alimentation annuelle de l'aigle de Bonelli *Hieraaetus fasciatus* en Provence. *Alauda*, 56 :226-23

Smith, K.D. (1965). On the birds of Morocco. *Ibis*, 107 : 493-526.

Soulaimani A. (1998). Interactions socle/couverture dans l'Anti-Atlas occidental (Maroc) : riftinfini-Protérozoïque et orogénèse hercynienne, thèse d'État, université Cadi-Ayyad, Marrakech, Maroc, 215 p.

Tapia, Luis & Kennedy, Patricia & Mannan, B. (2007). Habitat sampling-Raptor Research and Management Techniques Manual.

Thévenot, M., Vernon, R. & Bergier, P. (2003). The birds of Morocco: an annotated checklist. British Ornithologists' Union, Tring, U.K.

Thiollay, Jean-Marc. (2007). Raptor declines in West Africa: Comparisons between protected, buffer and cultivated areas. *Oryx*. 41. 322 - 329. 10.1017/S0030605307000809.

Thiollay, Jean-Marc. (2006). Severe decline of large birds in the Northern Sahel of West Africa: A long-term assessment. *Bird Conservation International - BIRD CONSERV INT.* 16. 10.1017/S0959270906000487.

Thiollay J.-M. & Bretagnolle V. (2004). Rapaces nicheurs de France : distribution, effectifs et conservation. Éditions Delachaux & Niestlé, Paris. 176 p.

Tilman, D. and Kareiva, P. (Eds.). (1997). Spatial Ecology: The Role of Space in Population Dynamics and Interspecific Interactions. Princeton University Press, Princeton.

Tucker G.M. & HEATH J.M. (1994). Birds in Europe. Their Conservation Status. BirdLife International, Cambridge

IUCN. (2020). Premier recensement national des rapaces rupicoles diurnes au Maroc - Programme ATLAS Rapport des résultats 2019. IUCN Centre for Mediterranean Cooperation

Vaucher C.A. (1971). Notes sur l'éthologie de l'Aigle de Bonelli. *Nos oiseaux*, 31 (6), 101-111.

Velando, Alberto & Márquez, José. (2002). Predation risk and nest-site selection in the Inca tern. *Canadian Journal of Zoology-revue Canadienne De Zoologie - CAN J ZOOL.* 80. 1117-1123. 10.1139/z02-091.

Vincent-Martin N & Ponchon C. (2013). Quelques éléments pour l'aide à l'identification de l'âge des Aigles de Bonelli *Aquila fasciata* (Vieillot, 1822). *Nature de Provence - CEN PACA*, 2 : 71-78

Viñuela, Javier & Sunyer, Carlos. (1992). Nest orientation and hatching success of Black Kites (*Milvus migrans*) in Spain. *Ibis*. 134. 340 - 345. 10.1111/j.1474-919X.1992.tb08013.x.

Virani, M., C. Kendall, P. Njoroge, and S. Thomsett. (2011). Major declines in the abundance of vultures and other scavenging raptors in and around the Masai Mara ecosystem, Kenya. *Biological Conservation* 144:746–752.

Wang, Magnus & Grimm, Volker. (2007). Home range dynamics and population regulation: An individual-based model of the common shrew *Sorex araneus*. *Ecological Modelling - ECOL MODEL.* 205. 397-409. 10.1016/j.ecolmodel.2007.03.003.

Wightman, Catherine & Fuller, Mark. (2006). Influence of Habitat Heterogeneity on Distribution, Occupancy Patterns, and Productivity of Breeding Peregrine Falcons in Central West Greenland. *The Condor*. 108. 270-281. 10.1093/condor/108.2.270.

Annexes

Annexe 1 : La fiche de prospection

Fiche de saisie des données par l'observateur

MENTIONS CONCERNANT L'OBSERVATEUR

Observateur : Tél/Mail: Date : Heure :
Province : Commune : Lieu-dit : Village:

MENTIONS CONCERNANT L'OBSERVATION D'UN INDIVIDU

Coordonnées GPS – Latitude : Longitude : Altitude (en m):

Espèce supposée : Année: Age présumé :

Sexe présumé : Nombre d'individus :

Caractéristiques du plumage :
.....
.....

Comportements clés observés :
.....
.....

MENTIONS CONCERNANT L'OBSERVATION D'UN NID

Coordonnées GPS – Latitude : Longitude : Altitude (en m) :

Emplacement/support : Forme du nid : Exposition :

Diamètre approximatif : Hauteur du nid approximative :

Hauteur de la falaise : Hauteur du nid par rapport à la falaise :

Hauteur totale de la falaise : Estimation de la pente en bas de la falaise :

Distance avec un nid actif de même espèce Nombre de nids dans la falaise:

Distance d'une route goudronnée : Distance d'une route non goudronnée :

Distance d'un village habité: Distance d'un village non habité:

Distance des champs cultivés : Difficultés d'accès au nid possible :

En cas de présence des aiglons:

Nombre de jeunes: Estimation d'âge:

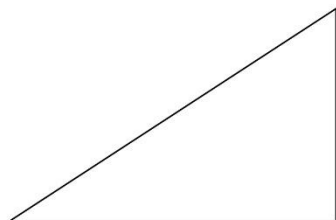
MENTIONS CONCERNANT L'ENVIRONNEMENT D'OBSERVATION / NID

Nature du terrain (forêt, champ, bordure de lac) :

Type de végétation : Densité du couvert végétal:

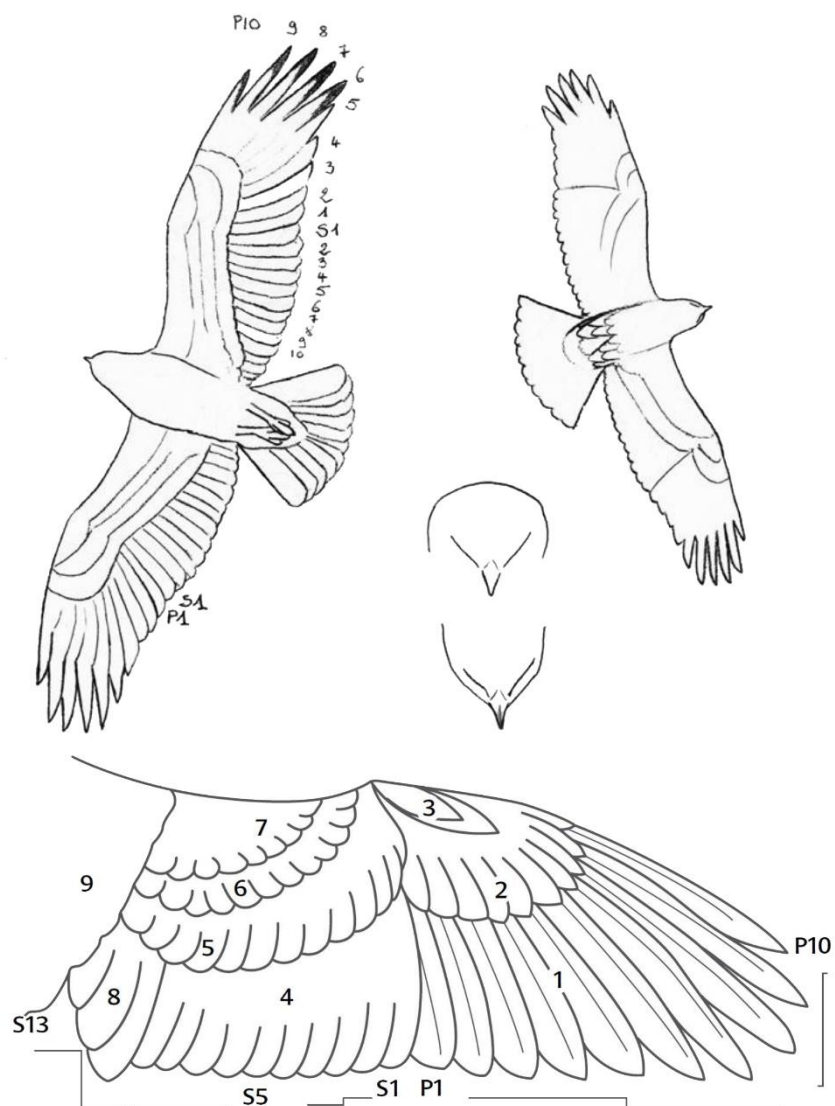
Faune existantes :

CROQUIS DE LA FALAISE ET ESTIMATION HAUTEUR



Coordonnées GPS du point de mesure : Latitude : Longitude :

PLUMAGE ET FORME



OBSERVATIONS COMPLEMENTAIRES

Annexe 2 : Rapport technique « Identification de la mortalité des rapaces par électrocution dans le sud-ouest du Maroc.



Identificación de mortalidad por electrocución
de aves rapaces en el sudoeste de Marruecos

Identification de la mortalité des rapaces
par électrocution dans le sud-ouest du Maroc

A. Godino, J.R. Garrido, R. El Khamlichi, D. Burón, C. Machado, M. Amezian, A. Irizi, C. Numa, V. Barrios



Identificación de mortalidad por electrocución
de aves rapaces en el sudoeste de Marruecos

Identification de la mortalité des rapaces
par électrocution dans le sud-ouest du Maroc

ACERCA DE LA UICN

La UICN es una Unión de Miembros compuesta por Estados soberanos, agencias gubernamentales y organizaciones de la sociedad civil. La UICN pone a disposición de las entidades públicas, privadas y no gubernamentales, los conocimientos y las herramientas que posibilitan, de manera integral, el progreso humano, el desarrollo económico y la conservación de la naturaleza.

Creada en 1948, la UICN se ha convertido en la red ambiental más grande y diversa del mundo. La UICN cuenta con la experiencia, los recursos y el alcance de sus más de 1 300 organizaciones Miembro y los aportes de alrededor de 15 000 expertos. La UICN es uno de los principales proveedores de datos, evaluaciones y análisis sobre conservación. Su extensa y diversa membresía hacen de la UICN una incubadora y un repositorio confiable de las mejores prácticas y herramientas de conservación, así como de las directrices y estándares internacionales.

La UICN proporciona un espacio neutral en el que actores diversos, incluyendo gobiernos, ONGs, científicos, empresas, comunidades locales, grupos indígenas, organizaciones religiosas y otros pueden trabajar juntos para crear e implementar soluciones a los retos ambientales y lograr un desarrollo sostenible.

La UICN trabaja con diversos socios y simpatizantes para llevar a la práctica un amplio y diverso portafolio de proyectos de conservación en todo el mundo. Estos proyectos, que combinan los últimos avances científicos con los conocimientos tradicionales de las comunidades locales, procuran detener y revertir la pérdida de hábitats, restaurar los ecosistemas y mejorar el bienestar humano.

<http://www.iucn.org/es/>

Centro de Cooperación del Mediterráneo de UICN

El Centro de Cooperación del Mediterráneo de UICN abrió sus puertas en Málaga en el año 2001 con el apoyo del Ministerio de Medio Ambiente, la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía y AECID. Su misión es influir, fomentar y ayudar a las sociedades del Mediterráneo a conseguir tanto la conservación como el uso sostenible de los recursos naturales como el desarrollo sostenible, trabajando con los miembros de la UICN y colaborando con todos aquellos que comparten los objetivos de la UICN.

<http://www.iucn.org/mediterraneo>

AU SUJET DE L'UICN

L'UICN est une union de Membres unique, composé de gouvernements et d'organisations de la société civile. Elle offre aux organisations publiques, privées et non-gouvernementales les connaissances et les outils permettant au progrès humain, au développement économique et à la conservation de la nature de se réaliser en harmonie.

Créée en 1948, l'UICN s'est agrandie au fil des ans pour devenir le réseau environnemental le plus important et le plus diversifié au monde. Elle compte avec l'expérience, les ressources et le poids de ses 1 300 organisations Membres et les qualités de ses 15 000 experts. Elle est l'un des principaux fournisseurs de données, d'évaluations et d'analyses sur la conservation. Sa taille lui permet de jouer le rôle d'incubateur et de référentiel fiable de bonnes pratiques, d'outils et de normes internationales.

L'UICN offre un espace neutre où diverses parties prenantes – gouvernements, ONG, scientifiques, entreprises, communautés locales, groupes de populations autochtones, organisations caritatives et autres – peuvent travailler ensemble pour élaborer et mettre en œuvre des solutions pour lutter contre les défis environnementaux et obtenir un développement durable.

Travaillant de concert avec de nombreux partenaires et soutiens, l'UICN met en œuvre un portefeuille vaste et divers de projets liés à la conservation dans le monde. Associant les connaissances scientifiques les plus pointues et le savoir traditionnel des communautés locales, ces projets visent à mettre un terme à la disparition des habitats, à restaurer les écosystèmes et à améliorer le bien-être des populations.

<http://www.iucn.org/fr/>

Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'UICN

Le Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'UICN a ouvert ses portes en octobre 2001, grâce au soutien principal du ministère espagnol de l'Environnement, du gouvernement régional d'Andalousie (Junta de Andalucía) et de l'Agence espagnole de coopération internationale pour le développement (AECID). La mission de l'UICN-Med est d'influencer, encourager et aider les sociétés méditerranéennes pour la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles de cette région, en travaillant avec les Membres de l'UICN et en collaborant avec tous ceux qui partagent les objectifs de l'UICN.

www.iucn.org/mediterranee

Identificación de mortalidad por electrocución de aves rapaces en el sudoeste de Marruecos

Identification de la mortalité des rapaces par électrocution dans le sud-ouest du Maroc

A. Godino¹, J.R. Garrido^{2,5}, R. El Khamlichi³, D. Burón², C. Machado⁴, M. Amezian³, A. Irízi³, C. Numa⁶, V. Barrios⁶

¹ IUCN SSC Vulture Specialist Group.

Groupe CSE/UICN de spécialistes des vautours.

² Agencia Andaluza de Medio Ambiente y Agua, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía.

Agence pour l'Environnement et l'Eau, ministère régional de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire, Junta de Andalucía.

³ Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc.

Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc (GREPOM).

⁴ AMUS-Acción por el Mundo Salvaje.

AMUS (Acción por el Mundo Salvaje).

⁵ IUCN SSC Bird Red List Authority.

Autorité pour la Liste rouge CSE/UICN dédiée aux oiseaux.

⁶ Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN.

Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'UICN.

Identificación de mortalidad por electrocución de aves rapaces en el sudoeste de Marruecos

Identification de la mortalité des rapaces par électrocution dans le sud-ouest du Maroc

Afonso Godino, José Rafael Garido, Rachid El Khamilchi, Daniel Burón, Catarina Machado, Mohamed Amezian, Ali Irizi, Catherine Numa, Violeta Barrios

La presentación del material en esta publicación y las denominaciones empleadas para las entidades geográficas no implican en absoluto la expresión de una opinión por parte de la UICN o de otra organización participante sobre la situación jurídica de un país, territorio o zona, o de sus autoridades, o acerca de la demarcación de sus límites o fronteras.

Los puntos de vista que se expresan en esa publicación no reflejan necesariamente los de la UICN o de otra organización participante.

La terminologie géographique employée dans cet ouvrage, de même que sa présentation, ne sont en aucune manière l'expression d'une opinion quelconque de la part de l'UICN ou des autres organisations concernées sur le statut juridique ou l'autorité de quelque pays, territoire ou région que ce soit, ou sur la délimitation de ses frontières.

Les opinions exprimées dans cette publication ne reflètent pas nécessairement celles de l'UICN ou des autres organisations concernées.

Publicado por: UICN, Málaga, España
Publié par : UICN, Malaga, Espagne

Derechos reservados: © 2016 Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales
Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros fines no comerciales sin permiso escrito previo de parte de quien detenta los derechos de autor con tal de que se mencione la fuente.
Se prohíbe reproducir esta publicación para la venta o para otros fines comerciales sin permiso escrito previo de quien detenta los derechos de autor.

Droits d'auteur : © 2016 Union Internationale pour la conservation de la nature et de ses ressources
La reproduction de cette publication à des fins non commerciales, notamment éducatives, est permise sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur à condition que la source soit dûment citée.
La reproduction de cette publication à des fins commerciales, notamment en vue de la vente, est interdite sans autorisation écrite préalable du détenteur des droits d'auteur.

Citación: Godino, A., Garrido, J.R., El Khamilchi, R., Burón, D., Machado, C., Amezian, M., Irizi, A., Numa, C. y Barrios, V. (2016). *Identificación de mortalidad por electrocución de aves rapaces en el sudoeste de Marruecos*. Málaga, España: UICN. 76 pp.

Citation : Godino, A., Garrido, J.R., El Khamilchi, R., Burón, D., Machado, C., Amezian, M., Irizi, A., Numa, C. et Barrios, V. (2016). *Identification de la mortalité des rapaces par électrocution dans le sud-ouest du Maroc*. Malaga, Espagne : UICN. 76 pp.

ISBN: 978-2-8317-1794-4

Fotografía de la cubierta: C. Machado & A. Godino
Photo couverture :

Diseño: Simétrica S.L.
Mise en page :

Traduction en français : Alexa Dubreuil-Storer (IDFP Translation Services), Royaume-Uni

Disponible en: Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN
Disponible auprès de : Calle Marie Curie, 22
29590 Campanillas
Málaga, España
Tel.: +34 952028430
Fax: +34 952028145
uicnmed@uicn.org
<http://www.uicn.org/resources/publications>

Esta publicación ha sido posible gracias a la generosidad de la Fundación MAVA.

Le présent ouvrage a pu être publié grâce à un soutien financier de la Fondation MAVA.

Índice

Table des matières

Introducción	7	Introduction	7
Objetivos	9	Objectifs	9
Identificación y mortalidad de aves en líneas eléctricas	10	Identification et mortalité des oiseaux au niveau des lignes électriques	10
Área de estudio y metodología	10	Zone étudiée et méthodologie	10
Descripción de las líneas eléctricas y mortalidad	12	Description des lignes électriques et mortalité	12
Línea A	12	Ligne A	12
Línea A1	14	Ligne A1	14
Línea A2	14	Ligne A2	14
Línea B	14	Ligne B	15
Línea B1	15	Ligne B1	15
Línea B2	15	Ligne B2	15
Línea C	16	Ligne C	16
Línea D	16	Ligne D	16
Línea E	18	Ligne E	19
Línea F	19	Ligne F	19
Línea F1	19	Ligne F1	19
Línea F2	19	Ligne F2	19
Línea F3	19	Ligne F3	22
Línea G	22	Ligne G	22

Análisis y discusión de resultados	23	Analyse des résultats et discussion	23
Índices de Mortalidad por Apoyo (IMAp) ...	23	Indices de mortalité par pylône (IMAp)	23
Especies afectadas y estructura de edades de los individuos electrocutados	27	Espèces affectées et structure de l'âge des individus électrocutés	29
Índice de Peligrosidad de los Apoyos (IPAp)	32	Indice de Dangerosité par Pylône (IPAp)	32
Conclusiones y recomendaciones	39	Conclusions et recommandations	39
Agradecimientos	41	Remerciements	41
Bibliografía	42	Bibliographie	42
Anexo fotográfico	45	Annexe photographique	45
Anexo cartográfico	57	Annexe cartographique	57

Introducción

En el marco del Seminario “Conservación transfronteriza de rapaces amenazadas en el Mediterráneo”, celebrado en Málaga durante los días 10-12 de noviembre de 2015 y organizado por el Centro de Cooperación del Mediterráneo de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), se expuso y debatió la situación de las aves rapaces en el Mediterráneo, así como la importancia que para la conservación global de estas especies tiene el fomento de la conexión de las poblaciones del Norte de África con las existentes en el sur de Europa.

Una de las conclusiones obtenidas en este seminario fue la falta de información existente en la actualidad sobre el estado de conservación y tendencias poblacionales de gran parte de estas especies en el Norte de África, así como de las amenazas que puedan estar afectando su viabilidad a medio y largo plazo.

Por otro lado, se puso de manifiesto que la experiencia obtenida en España, y especialmente en Andalucía, para la gestión y conservación de poblaciones de aves rapaces en las últimas tres décadas, con resultados muy positivos en un gran número de especies (águila imperial ibérica *Aquila adalberti*, búitre negro *Aegypius monachus*, quebrantahuesos *Gypaetus barbatus*, cernícalo primilla *Falco naumanni*, etc.), podría ser una excelente base para intentar promover acciones destinadas a la conservación y mejora de las poblaciones amenazadas existentes en el Norte de África. Para ello se consideró muy importante realizar el intercambio de experiencias entre todas las entidades involucradas en la conservación de este grupo de aves en las dos orillas del Mediterráneo: administraciones públicas, centros de investigación, organizaciones no gubernamentales (ONG), etc.

Con la base de esta necesaria colaboración e intercambio técnico y de gestión de poblaciones de estas especies entre todos los países implicados surgió la propuesta de realizar una sesión práctica de identificación de amenazas para las aves rapaces en Marruecos.

En este contexto, en octubre de 2015 se detectaron tres águilas imperiales ibéricas electrocutadas entorno a la localidad de

Introduction

À l'occasion du séminaire sur « La conservation transfrontalière des rapaces menacés en Méditerranée » du 10 au 12 novembre 2015 à Malaga, organisé par le Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), la situation des rapaces en Méditerranée a été exposée et discutée, ainsi que l'importance de l'interaction entre les populations présentes dans le nord de l'Afrique et le sud de l'Europe pour la conservation globale de ces espèces.

L'une des conclusions de ce séminaire a fait ressortir le manque d'informations actuellement disponibles sur le statut de conservation et les tendances des populations d'une grande partie de ces espèces en Afrique du Nord, ainsi que les menaces susceptibles d'affecter leur viabilité à moyen et long terme.

D'autre part, ce séminaire a mis en évidence l'expérience acquise en Espagne et en particulier en Andalousie, au cours des trois dernières décennies, en matière de gestion et de conservation des populations de rapaces, avec des résultats très positifs pour un grand nombre d'espèces (aigle ibérique *Aquila adalberti*, vautour moine *Aegypius monachus*, gypaète barbu *Gypaetus barbatus*, faucon crécerellette *Falco naumanni*, etc.) ; cette expérience pourrait ainsi constituer un excellent point de départ pour tenter de promouvoir des actions en faveur de la conservation et de l'amélioration des populations menacées, présentes en Afrique du Nord. Pour cela, il a été jugé fondamental de procéder à un échange d'expériences entre toutes les entités œuvrant pour la conservation de ce groupe d'oiseaux sur les deux rives de la Méditerranée : administrations publiques, centres de recherche, organisations non gouvernementales (ONG), etc.

En raison de cette nécessité de collaborer et d'échanger entre tous les pays concernés, tant au niveau technique qu'en matière de gestion des populations de ces espèces, il a été proposé d'organiser une réunion pratique pour identifier les menaces pesant sur les rapaces au Maroc.

Dans ce contexte, trois aigles ibériques électrocutés ont été retrouvés en octobre 2015 aux environs de la localité de Guelmim

Guelmim, en el suroeste de Marruecos, gracias al seguimiento de una de ellas que portaba un emisor satelital realizado por la Estación Biológica de Doñana, adscrita al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (EBD-CSIC), dentro del programa de reforzamiento de la población gaditana de la especie que lleva a cabo la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (CMAYOT) (Amezian *et al.*, 2015; Morandini *et al.*, 2016). Tras este descubrimiento, realizado sobre el terreno por miembros del Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc (GREPOM), representante de BirdLife en Marruecos, y técnicos de la administración marroquí pertenecientes al Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification (HCEFLCD) del Reino de Marruecos, se planteó realizar una prospección inicial de este territorio para caracterizar el posible riesgo para las grandes rapaces de los tendidos eléctricos presentes. Para ello y bajo la coordinación del Centro de Cooperación del Mediterráneo (UICN-Med), se constituyó un grupo de trabajo entre entidades de ambos lados del Estrecho (CMAYOT y la ONG AMUS por el lado español, junto a GREPOM/BirdLife Morocco por el lado marroquí) para identificar sobre el terreno y evaluar una amenaza (la electrocución es una de las principales causas de mortalidad no natural en aves rapaces a escala mundial) sobre una especie amenazada a nivel global (el águila imperial ibérica está catalogada como "Vulnerable" en la Lista Roja de Especies Amenazadas de UICN). Esta especie utiliza un espacio transfronterizo (España-Marruecos) en el que esa amenaza puede comprometer la viabilidad de un proyecto de reintroducción en el sur de España por elevadas mortalidades de los ejemplares liberados en Marruecos, teniendo en cuenta además que el riesgo de electrocución de aves no ha sido evaluado hasta la fecha en Marruecos (Amezian *et al.*, 2015).

Este trabajo constituye así una excelente oportunidad para desarrollar la colaboración e intercambio de experiencias propuestas en el Seminario "Conservación transfronteriza de rapaces amenazadas en el Mediterráneo" e implementa, en menos de tres meses desde su propuesta, las recomendaciones de Amezian *et al.* (2015) tras la identificación del problema.

(sud-ouest du Maroc). Ces derniers ont été repérés grâce à l'émetteur par satellite porté par l'un d'entre eux dans le cadre du suivi réalisé par la Station biologique de Doñana (rattachée au Conseil supérieur de recherche scientifique, EBD-CSIC) pour le programme de renforcement de la population de l'espèce à Cadix, mis en œuvre par le ministère régional de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (CMAYOT) de la Junta de Andalucía (Amezian *et al.*, 2015 ; Morandini *et al.*, 2016). Suite à cette découverte, faite sur le terrain par des membres du Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc (GREPOM), représentant BirdLife au Maroc, et par des techniciens de l'administration marocaine relevant du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification (HCEFLCD) du Royaume du Maroc, il a été suggéré de réaliser une prospection initiale de ce territoire pour définir le risque potentiel des lignes électriques actuelles pour les grands rapaces. Pour cela, un groupe de travail a été constitué en réunissant des entités des deux côtés du détroit (le CMAYOT et l'ONG AMUS du côté espagnol, et le GREPOM/BirdLife Morocco du côté marocain), dont la coordination a été assurée par le Centre de Coopération pour la Méditerranée (UICN-Med). Son objectif a été d'identifier et d'évaluer sur le terrain une menace (les électrocutions étant l'une des principales causes de mortalité non naturelle chez les rapaces à l'échelle mondiale) pesant sur une espèce menacée au niveau global (l'aigle ibérique étant classé « Vulnérable » dans la Liste rouge des espèces menacées de l'UICN). Cette espèce utilise un espace transfrontalier (Espagne-Maroc) dans lequel cette menace peut compromettre la viabilité d'un projet de réintroduction dans le sud de l'Espagne par une forte mortalité des spécimens remis en liberté au Maroc, en tenant compte également du fait que, jusqu'à présent, le risque d'électrocution pour les oiseaux n'a pas été évalué au Maroc (Amezian *et al.*, 2015).

Ainsi, ce travail constitue une excellente opportunité pour développer la collaboration et l'échange d'expériences, comme cela a été proposé lors du séminaire sur « La conservation transfrontalière des rapaces menacés en Méditerranée », et mettre en œuvre les recommandations d'Amezian *et al.* (2015), moins de trois mois après avoir été proposées suite à l'identification de ce problème.

Objetivos

- Identificación de la línea eléctrica donde se ha producido la electrocución del águila imperial ibérica y de las líneas eléctricas del entorno.
- Evaluación de la peligrosidad del tipo o tipos de apoyos presentes en estas líneas eléctricas.
- Formación de personal técnico de Marruecos en metodologías para la prospección de mortalidad de aves por electrocución en líneas eléctricas: planificación de recorrido, descripción de apoyos, evaluación de peligrosidad potencial de los apoyos, recogida de cadáveres.
- Difusión entre agentes locales, regionales y nacionales de la problemática de la electrocución y la conservación de las aves rapaces amenazadas.
- Proponer medidas de aislamiento para minimizar los riesgos de electrocución.

Objectifs

- Identification de la ligne électrique où s'est produite l'électrocution de l'aigle ibérique porteur d'un émetteur par satellite, et des lignes électriques à proximité.
- Évaluation de la dangerosité du ou des type(s) de pylônes présents sur ces lignes électriques.
- Formation de personnel technique marocain aux méthodologies permettant la prospection de la mortalité des oiseaux par électrocution au contact de lignes électriques : planification du parcours, description des pylônes, évaluation de la dangerosité potentielle des pylônes et ramassage des cadavres.
- Sensibilisation des agents locaux, régionaux et nationaux à la problématique de l'électrocution et de la conservation des rapaces menacés.
- Proposition de mesures d'isolation pour réduire au minimum les risques d'électrocution.

Identificación y mortalidad de aves en líneas eléctricas

ÁREA DE ESTUDIO Y METODOLOGÍA

La zona de estudio se encuentra en el sudoeste de Marruecos, en la región de Guelmim-Oued Noun, entre las localidades de Guelmim y Tan-Tan (Figura 1), y fue visitada en una expedición de campo entre los días 10-15 de enero de 2016. Se trata de una zona de reciente electrificación, desarrollada ya en el siglo XXI. Los tendidos eléctricos recorridos son de distribución de la energía con apoyos metálicos, los más propensos a producir la electrocución en aves (Garrido y Martín, 2015). La electrocución se produce por el contacto de las aves con dos cables conductores o por contacto de un cable conductor con un elemento de derivación a tierra, como es la estructura de metal del apoyo, de modo que se cierra el circuito eléctrico y la electricidad atraviesa el cuerpo del ave produciendo la muerte prácticamente en el 100% de los casos (Garrido y Martín, 2015; Pérez-García *et al.*, 2015).

Para la detección de aves electrocutadas y evaluación de los apoyos, dos equipos formados por 2-4 personas recorrieron las líneas eléctricas en vehículo o a pie, según la dificultad del terreno. Para todos los apoyos se obtuvieron coordenadas geográficas, una descripción del tipo de apoyo basado en Ferrer (1996) y SIECE (2015) (algunos de los apoyos detectados no están descritos en estos trabajos debido a los diferentes tipos utilizados en cada país) y el número de individuos electrocutados por especie.

Para las aves o restos encontrados bajo los apoyos se identificó la especie en todos los casos y en el caso de restos óseos de grandes águilas, la identificación se realizó en base a García Matarranz (2013). Solo fue posible datar la edad en aquellos cadáveres encontrados completos o en restos (ala, cola) con características que permitían asignar un grupo de edad (adulto o juvenil).

Al final del presente informe se presenta un anexo fotográfico que incluye, entre otras imágenes, la caracterización de los diferentes tipos de apoyos siguiendo la nomenclatura propuesta por Ferrer (1996). De igual modo, en el anexo cartográfico se puede

Identification et mortalité des oiseaux au niveau des lignes électriques

ZONE ÉTUDIÉE ET MÉTHODOLOGIE

La zone étudiée se trouve dans le sud-ouest du Maroc, dans la région de Guelmim-Oued Noun, entre les localités de Guelmim et de Tan-Tan (Figure 1), et a été visitée lors d'une expédition sur le terrain du 10 au 15 janvier 2016. Il s'agit d'une zone dont l'électrification est récente et s'est développée au XXI^e siècle. Les lignes parcourues servent à acheminer de l'électricité par l'intermédiaire de pylônes métalliques, et sont les plus susceptibles de provoquer l'électrocution des oiseaux (Garrido et Martín, 2015). L'électrocution d'un oiseau se produit quand celui-ci entre simultanément en contact avec deux câbles conducteurs ou bien avec un câble conducteur et un élément de dérivation relié à la terre, tel que la structure en métal du pylône. Il s'en suit un court-circuit et le courant électrique traverse le corps de l'oiseau, entraînant la mort de celui-ci dans pratiquement 100 % des cas (Garrido et Martín, 2015 ; Pérez-García *et al.*, 2015).

Deux équipes de 2-4 personnes ont été constituées pour la détection des oiseaux électrocutés et l'évaluation des pylônes, lesquelles ont parcouru les lignes électriques à bord de véhicules ou à pied, en fonction de la difficulté du terrain. Les données suivantes ont été obtenues pour tous les pylônes : coordonnées géographiques, description du type de pylône selon Ferrer (1996) et la SIECE (2015) (certains pylônes observés n'ont pas été décrits dans le cadre de ces travaux, chaque pays utilisant différents types de pylônes), nombre d'individus électrocutés par espèce.

Concernant les oiseaux ou les restes retrouvés au pied des pylônes, l'espèce a pu être identifiée dans tous les cas et, s'agissant des ossements de grands aigles, l'identification a été effectuée en se basant sur García Matarranz (2013). L'âge a pu être déterminé uniquement pour les cadavres complets ou bien lorsque les restes (aile, queue) ont permis de déterminer l'appartenance à une classe d'âge (adulte ou juvénile) à partir de leurs caractéristiques.

Une annexe photographique est fournie à la fin de ce rapport et présente, notamment, les caractéristiques des différents types de



Figura 1. Localización de las líneas eléctricas recorridas.
Figure 1. Emplacement des lignes électriques parcourues.



Figura 2. Valle del Oued Boussafane, una de las zonas con mayor mortalidad detectada.
Figure 2. Vallée de l'Oued Boussafane, l'une des zones où la plus forte mortalité a été détectée.

consultar la ubicación e información del trazado de las líneas y posición de los apoyos, en mapas con base de ortoimágenes de Mapbox Satellite y escala entre 1:8.000 y 1:10.000, y sistema de referencia coordenadas geográficas WGS 84. Este informe está complementado con los archivos digitales de la base de datos completa de los apoyos y de la cartografía digital en formato propietario de Google Earth (KML), tanto de las líneas como de los apoyos.

DESCRIPCIÓN DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS Y MORTALIDAD

Línea A

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 11 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo A-001 (Latitud 28.964712° Longitud -10.593945°) junto a una edificación rural y transcurrió en dirección SE a lo largo de la cuenca del Oued Boussafane (Figura 2) hasta el apoyo A-140 (Latitud 28.834619° Longitud -10.433046°) en la localidad de El-Abiar. La longitud total recorrida en esta línea eléctrica ha sido de 24.237 m, con un total de 140 apoyos inspeccionados (Figura 5).

El número total de aves electrocutadas detectadas en esta línea eléctrica ha sido de 46 individuos (0,32 aves/apoyo) pertenecientes a cinco especies diferentes (Tabla 1, Figura 3). La distribución de individuos electrocutados por especies es la siguiente: cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) (n = 2), águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) (n = 3), águila real (*Aquila chrysaetos*) (n = 4), águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*) (n = 32) y busardo moro (*Buteo rufinus*) (n = 5) (Figura 6 y Anexo cartográfico). Es destacable que, durante este muestreo, se han detectado de manera evidente dos individuos de águila imperial ibérica electrocutadas en esta línea eléctrica, si bien se ha incluido un tercer individuo que fue detectado en una primera inspección de esta línea en octubre de 2015

pylônes selon la nomenclature proposée par Ferrer (1996). De même, une annexe cartographique permet de consulter l’emplacement et le détail du tracé des lignes, ainsi que la position des pylônes, grâce à des cartes s’appuyant sur des ortho-images de Mapbox Satellite (à une échelle comprise entre 1:8 000 et 1:10 000) et sur un système de référence de coordonnées géographiques WGS 84. Le présent rapport est complété par les archives numériques extraites de la base de données complète des pylônes et de la cartographie numérique au format propriétaire (KML) de Google Earth, tant pour les lignes que pour les pylônes.

DESCRIPTION DES LIGNES ÉLECTRIQUES ET MORTALITÉ

Ligne A

Cette ligne électrique a été parcourue le 11 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône A-001 (latitude 28,964712°, longitude -10,593945°), près d’un bâtiment rural, et s’est poursuivi en direction du sud-est le long du bassin versant de l’Oued Boussafane (Figure 2), jusqu’au pylône A-140 (latitude 28,834619°, longitude -10,433046°) dans la localité d’El-Abiar. La longueur totale parcourue sur cette ligne électrique a été de 24 237 m, avec un total de 140 pylônes inspectés (Figure 5).

Le nombre total d’oiseaux électrocutés retrouvés sur cette ligne électrique a été de 46 individus (0,32 oiseau/pylône), appartenant à cinq espèces différentes (Tableau 1, Figure 3). La répartition des individus électrocutés par espèce était la suivante : cigogne blanche (*Ciconia ciconia*) (n = 2), aigle ibérique (*Aquila adalberti*) (n = 3), aigle royal (*Aquila chrysaetos*) (n = 4), aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) (n = 32) et buse féroce (*Buteo rufinus*) (n = 5) (Figure 6 et annexe cartographique). Il convient de noter que, dans le cadre de cet échantillonnage, deux aigles ibériques électrocutés sur cette ligne électrique ont été clairement identifiés, mais un

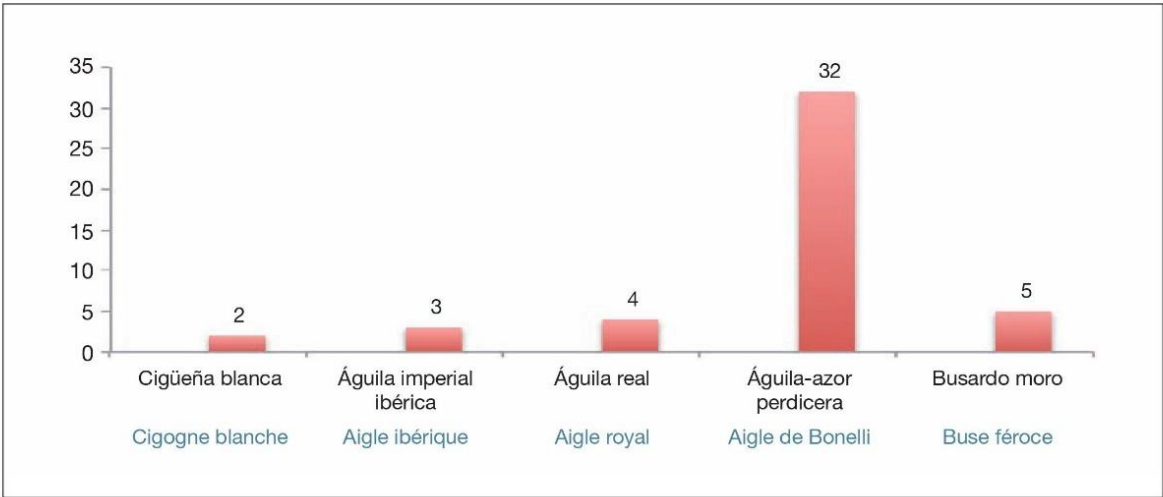


Figura 3. Mortalidad detectada por especies de aves electrocutadas en la Línea A.
Figure 3. Mortalité par espèce d'oiseaux électrocutés sur la Ligne A.

Tabla 1. Distribución por edades de los cadáveres/restos de aves encontrados electrocutados en la Línea A.

	Adulto	Juvenil	Indeterminado
Cigüeña blanca	2		
Águila imperial ibérica		3	
Águila real	1	3	
Águila-azor perdicera	5	18	9
Busardo moro	1		4
TOTAL	9	24	13

(Amezian *et al.*, 2015) y del que durante la inspección de enero sólo aparecieron algunas plumas (Tabla 2), posiblemente porque haya sido predado o desplazado por predadores terrestres en el tiempo transcurrido entre los dos muestreos.

En relación a la edad de los individuos en el momento de la electrocución, se ha podido identificar la clase de edad en 33 de las 46 aves encontradas (Tabla 1). El 52,17% ($n = 24$) de los individuos detectados son juveniles, el 19,56% ($n = 9$) son adultos y el restante 28,26% ($n = 13$) pertenece a aves en las que no pudo asignarse la edad debido al mal estado del cadáver o los restos, lo que imposibilitó obtener esta información. Si el análisis de grupos de edades se realiza solo sobre cadáveres en los que se ha podido identificar la edad, la fracción de individuos juveniles asciende al 72,73% del total de aves electrocutadas.

Las aves electrocutadas encontradas en esta línea eléctrica se detectaron en 26 de los 140 apoyos inspeccionados. De estos 26 apoyos, en el 65,38% ($n = 17$) se encontró un cadáver, en el 15,38% ($n = 4$) dos cadáveres, en el 3,84% ($n = 1$) tres cadáveres, en el 7,69% ($n = 2$) cuatro cadáveres y en el restante 7,69% ($n = 2$) se encontraron cinco cadáveres.

Se han identificado seis tipos diferentes de apoyos donde se han producido electrocuciones en esta línea (ver Anexo fotográfico):

- **P-16** ($n = 1$). Seccionador tripolar en cabecera.
- **P-10** ($n = 5$). Apoyo de tres fases en plano horizontal con cadena de amarre y puentes por debajo.
- **P-10 Pórtico** ($n = 2$). Apoyo de tres fases en plano horizontal con cadena de amarre y puentes por debajo, con cruceta soportada por dos vástagos en pórtico.
- **P-02** ($n = 10$). Tres fases en dos planos horizontales, con la central ligeramente elevada con aisladores suspendidos en forma de bóveda.
- **P-02 a)** ($n = 6$). Tres fases en dos planos horizontales, con la central ligeramente elevada con aisladores suspendidos.

Tableau 1. Répartition en fonction de l'âge des oiseaux électrocutés (cadavres/restes) sur la Ligne A.

	Adultes	Juveniles	Indéterminé
Cigogne blanche	2		
Aigle ibérique		3	
Aigle royal	1	3	
Aigle de Bonelli	5	18	9
Buse féroce	1		4
TOTAL	9	24	13

troisième individu a aussi été inclus dans le décompte. En effet, ce dernier avait été repéré sur cette ligne pour la première fois en octobre 2015 (Amezian *et al.*, 2015) mais il ne restait plus que quelques plumes lors de l'inspection en janvier 2016 (Tableau 2), cet individu ayant probablement été consommé ou déplacé par des prédateurs terrestres dans l'intervalle de temps séparant les deux échantillonnages.

Concernant l'âge des individus au moment de leur électrocution, il a été possible d'identifier la classe d'âge de 33 oiseaux sur les 46 retrouvés (Tableau 1). Parmi les individus retrouvés, 52,17 % ($n = 24$) étaient des juvéniles, 19,56 % ($n = 9$) étaient des adultes, et les 28,26 % ($n = 13$) restants correspondaient à des oiseaux pour lesquels il n'a pas été possible de déterminer l'âge en raison du mauvais état du cadavre ou des restes. En limitant l'analyse des groupes d'âge aux seuls cadavres pour lesquels il a été possible d'identifier l'âge des oiseaux, la proportion d'individus juvéniles augmente, atteignant 72,73 % du total des oiseaux électrocutés.

Les oiseaux électrocutés sur cette ligne électrique ont été retrouvés au niveau de 26 pylônes sur les 140 inspectés. Sur ces 26 pylônes, un cadavre a été retrouvé sur 65,38 % d'entre eux ($n = 17$), deux cadavres sur 15,38 % d'entre eux ($n = 4$), trois cadavres sur 3,84 % d'entre eux ($n = 1$), quatre cadavres sur 7,69 % d'entre eux ($n = 2$) et cinq cadavres sur les 7,69 % restants ($n = 2$).

Six types de pylônes différents au niveau desquels des électrocutions ont eu lieu concernant cette ligne ont été identifiés (voir Annexe photographique) :

- **P-16** ($n = 1$). Sectionneur tripolaire au sommet.
- **P-10** ($n = 5$). Pylône à trois phases sur un seul plan horizontal, avec chaîne d'ancrage et câbles de liaison en dessous.
- **P-10 Portique** ($n = 2$). Pylône à trois phases sur un seul plan horizontal, avec chaîne d'ancrage et câbles de liaison en dessous, et traverse soutenue par deux mâts en portique.

dos en forma de bóveda y con el vértice del vástago por encima de la base de la cruceta.

- **P-02 con derivación** (n = 2). Tres fases en dos planos horizontales, con la central ligeramente elevada con aisladores suspendidos en forma de bóveda, con otra línea eléctrica que parte del mismo vástago y por debajo de la base de la bóveda.

Cabe destacar que durante la realización de los recorridos se observaron varios ejemplares de águila-azor perdicera y de águila imperial ibérica durmiendo en apoyos de tipo **P-10** (Figuras 37 y 38 del Anexo fotográfico). El águila imperial ibérica observada portaba un emisor satélite y es un ejemplar liberado durante 2015 en el proyecto de reintroducción en Andalucía.

Línea A1

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 11 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo A-31 de la Línea A (Latitud 28.919705° Longitud -10.577903°), desde donde la Línea A1 es derivada y se dirige en dirección O hasta llegar a un pequeño núcleo rural. La longitud total recorrida en esta línea es de 116 m y consta de tres apoyos (Figuras 5 y 6).

Se detectó el cadáver de un águila-azor perdicera juvenil en el último apoyo A1-003 (Latitud 28.920168° Longitud -10.578783°) inspeccionado. Este apoyo no tenía corriente en el momento de la inspección, pues los cables estaban desconectados en el apoyo anterior A1-002, por lo que dicha desconexión ha tenido que ser reciente.

El tipo de apoyo donde se produjo esta electrocución es **P-15**, seccionador tripolar en vástago con puentes inferiores al final de la línea.

Línea A2

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 12 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en un apoyo A-66 de la Línea A (Latitud 28.885297° Longitud -10.540700°), desde donde la Línea A2 se dirige en dirección SO durante 30 m hasta el único apoyo existente en esta línea, A2-001 (Latitud 28.885085° Longitud -10.540909) (Figuras 5 y 6).

En este único apoyo se detectó el cadáver de un individuo adulto de cigüeña blanca y de un individuo juvenil de águila-azor perdicera.

El apoyo donde se electrocutaron estas dos aves es de tipo **P-16**, seccionador tripolar en cabecera y transformador en vástago al final de la línea.

Línea B

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 11 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en un apoyo en mitad de la línea (Latitud 28.911722° Longitud -10.487332°) y transcurrió en dirección sudoeste hasta conectar con la Línea A en el

- **P-02** (n = 10). Trois phases sur deux plans horizontaux, la phase centrale étant légèrement en hauteur, avec des isolateurs suspendus depuis une traverse en forme de voûte.
- **P-02 a)** (n = 6). Trois phases sur deux plans horizontaux, la phase centrale étant légèrement en hauteur, avec des isolateurs suspendus depuis une traverse en forme de voûte, et le sommet du mât situé au-dessus de la base de la tête du pylône.
- **P-02 avec dérivation** (n = 2). Trois phases sur deux plans horizontaux, la phase centrale étant légèrement en hauteur, avec des isolateurs suspendus depuis une traverse en forme de voûte, et une autre ligne électrique partant du même mât, en dessous de la base de la voûte.

Il convient de souligner que, sur les parcours empruntés, plusieurs spécimens d'aigles de Bonelli et d'aigles ibériques ont été observés en train de dormir sur des pylônes de type **P-10** (Figures 37 et 38 de l'Annexe photographique). L'aigle ibérique observé était équipé d'un émetteur par satellite et il s'agissait d'un spécimen remis en liberté en 2015 dans le cadre du projet de réintroduction en Andalousie.

Ligne A1

Cette ligne électrique a été parcourue le 11 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône A-31 de la Ligne A (latitude 28,919705°, longitude -10,577903°), à partir du lieu où la Ligne A1 est dérivée et se dirige vers l'ouest, et se poursuit jusqu'à un petit noyau rural. La longueur totale parcourue sur cette ligne a été de 116 m, avec trois pylônes inspectés (Figures 5 et 6).

Le cadavre d'un aigle de Bonelli juvénile a été retrouvé sur le pylône A1-003 (latitude 28,920168°, longitude -10,578783°), le dernier pylône inspecté. Ce pylône n'était pas sous tension lors de l'inspection, les câbles étant déconnectés sur le pylône précédent (A1-002), ce qui avait dû se produire récemment.

Le pylône où a eu lieu l'électrocution est de type **P-15**, avec un sectionneur tripolaire sur le mât du pylône et des câbles de liaison suspendus en fin de ligne.

Ligne A2

Cette ligne électrique a été parcourue le 12 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône A-66 de la Ligne A (latitude 28,885297°, longitude -10,540700°), à partir du lieu où la Ligne A2 se dirige vers le sud-ouest, sur une distance de 30 m, jusqu'à atteindre le pylône A2-001 (latitude 28,885085°, longitude -10,540909), le seul pylône de cette ligne (Figures 5 et 6).

Les cadavres d'une cigogne blanche adulte et d'un aigle de Bonelli juvénile ont été retrouvés au niveau de cet unique pylône.

Le pylône où ces deux oiseaux ont été électrocutés est de type **P-16**, avec un sectionneur tripolaire au sommet et un transformateur sur le mât en fin de ligne.

apoyo A-086 (Latitud 28.881838° Longitud -10.508501°). La Línea B continúa en dirección NE desde el punto de inicio del recorrido. La longitud total recorrida en esta línea eléctrica ha sido de 3.935 m, con un total de 26 apoyos inspeccionados (Figura 5 y Figura 6).

El número total de aves electrocutadas detectadas en esta línea eléctrica ha sido de dos individuos (0,07 aves/apoyo) pertenecientes a dos especies diferentes: águila imperial ibérica (n = 1) y águila-azor perdicera (n = 1) juvenil. Para el águila imperial ibérica sólo se encontraron restos óseos y la identificación se realizó en base a medidas biométricas (García Matarranz, 2013), no siendo posible determinar la edad.

Los dos apoyos donde se encontraron estas dos aves son del tipo **P-09**, que consta de tres fases en dos planos horizontales con la central elevada sobre los laterales, tensionadas por cadenas de amarre a ambos lados de la cruceta en forma de bóveda y con puentes por debajo.

Línea B1

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 11 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo B-09 de la Línea B (Latitud 28.893452° Longitud -10.502150°), desde donde la Línea B1 es derivada y se dirige en dirección O durante 78 m hasta el único apoyo de esta línea, B1-001 (Latitud 28.893416° Longitud -10.502944°) en un pequeño núcleo rural (Figuras 5 y 6).

En el único apoyo de esta línea no se detectó mortalidad alguna de aves.

Línea B2

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 11 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo B-022 de la Línea B (Latitud 28.906475° Longitud -10.490781°) y transcurrió en dirección O hasta finalizar la línea en el apoyo B2-005 (Latitud 28.908348° Longitud -10.495391°). La longitud total recorrida en esta línea eléctrica ha sido de 518 m, con un total de seis apoyos inspeccionados (Figura 5).

El número total de aves electrocutadas detectadas en esta línea eléctrica ha sido de cinco individuos (0,83 aves/apoyo) pertenecientes a cinco especies diferentes. La distribución de individuos electrocutados (Figura 6) por especies es la siguiente: águila real (n = 1), águila-azor perdicera (n = 1), busardo moro (n = 1) y halcón bormi (*Falco biarmicus*) (n = 2).

En relación a la edad de los individuos en el momento de la electrocución, todos los individuos eran juveniles, con la excepción del busardo moro, del cual no se pudo determinar la edad.

Las aves electrocutadas encontradas en esta línea eléctrica se detectaron en tres de los seis apoyos de los que consta.

Se han identificado tres tipos diferentes de apoyos donde se han producido electrocuciones en esta línea:

Línea B

Esta línea eléctrica a été parcourue le 11 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau d'un pylône situé au milieu de la ligne (latitude 28,911722°, longitude -10,487332°) et s'est poursuivi en direction du sud-ouest jusqu'à l'intersection avec la Ligne A, au niveau du pylône A-086 (latitude 28,881838°, longitude -10,508501°). La Ligne B se poursuit en direction du nord-est, jusqu'au point de départ du parcours. La longueur totale parcourue sur cette ligne électrique a été de 3 935 m, avec un total de 26 pylônes inspectés (Figures 5 et 6).

Le nombre total d'oiseaux électrocutés retrouvés sur cette ligne électrique a été de deux individus (0,07 oiseau/pylône), appartenant à deux espèces différentes : un aigle ibérique (n = 1) et un aigle de Bonelli (n = 1) juvénile. Concernant l'aigle ibérique, seuls des ossements ont été retrouvés et l'identification a été effectuée en se basant sur des mesures biométriques (García Matarranz, 2013), sans pouvoir déterminer l'âge de l'oiseau.

Les deux pylônes où ces deux oiseaux ont été retrouvés sont de type **P-09**, lequel est composé de trois phases sur deux plans horizontaux, la phase centrale étant en hauteur par rapport aux phases latérales, tendues par des chaînes d'ancrage des deux côtés de la traverse en forme de voûte et avec des câbles de liaison en dessous.

Línea B1

Cette ligne électrique a été parcourue le 11 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône B-09 de la Ligne B (latitude 28,893452°, longitude -10,502150°), à partir du lieu où la Ligne B1 est dérivée et se dirige vers l'ouest, sur une distance de 78 m, jusqu'à atteindre le pylône B1-001 (latitude 28,893416°, longitude -10,502944°), le seul pylône de cette ligne, au sein d'un petit noyau rural (Figures 5 et 6).

Aucune mortalité concernant les oiseaux n'a été détectée au niveau du seul pylône que comprend cette ligne.

Línea B2

Cette ligne électrique a été parcourue le 11 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône B-022 de la Ligne B (latitude 28,906475°, longitude -10,490781°) et s'est poursuivi en direction de l'ouest, jusqu'à la fin de la ligne au niveau du pylône B2-005 (latitude 28,908348°, longitude -10,495391°). La longueur totale parcourue sur cette ligne électrique a été de 518 m, avec un total de six pylônes inspectés (Figure 5).

Le nombre total d'oiseaux électrocutés retrouvés sur cette ligne électrique a été de cinq individus (0,83 oiseau/pylône), appartenant à cinq espèces différentes. La répartition des individus électrocutés (Figure 6) par espèce est la suivante : aigle royal (n = 1), aigle de Bonelli (n = 1), buse féroce (n = 1) et faucon lanier (*Falco biarmicus*) (n = 2).

Concernant l'âge des individus au moment de leur électrocution, tous étaient des juvéniles sauf la buse féroce, pour laquelle il n'a pas été possible de déterminer l'âge.

- **P-11 + P-16** ($n = 1$). Tres fases en un mismo plano horizontal con las dos cadenas exteriores con puentes por encima y un seccionador tripolar en cabecera.
- **P-15** ($n = 1$). Fin de línea con seccionador tripolar en vástago del poste. Puentes inferiores.
- **P-02** ($n = 1$). Tres fases en dos planos horizontales, con la central ligeramente elevada con aisladores suspendidos en forma de bóveda.

Línea C

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 12 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo C-21 (Latitud 28,849976° Longitud -10,508530°) en el interior de un pequeño núcleo rural, desde donde se dirige en dirección NE hasta llegar a unirse con la Línea A en el apoyo A-105 (Latitud 28,867759° Longitud -10,483713°). La longitud total de esta línea es de 3.188 m y consta de 21 apoyos (Figura 5).

Se detectaron dos cadáveres águila-azor perdicera de edad indeterminada en el apoyo C-008 (Latitud 28,856812° Longitud -10,492759°).

Este apoyo es del tipo **P-03**, tres fases en un mismo plano horizontal, pendientes con cadenas de aisladores suspendidos.

Línea D

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 13 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo D-001 (Latitud 28,661192° Longitud -10,697626°) junto a la carretera Guelmim a Tan-Tan, próximo a la localidad de Rass Oumlil, y transcurrió en dirección NE hasta un núcleo rural, donde finaliza en el apoyo D-043 (Latitud 28,694093° Longitud -10,731509°). La longitud total recorrida en esta línea eléctrica ha sido de 5.102 m, con un total de 43 apoyos inspeccionados (Figuras 8 y 9).

El número total de aves electrocutadas detectadas en esta línea eléctrica ha sido de seis individuos (0,14 aves/apoyo) de cuatro especies diferentes. La distribución de individuos electrocutados por especies

Les oiseaux électrocutés sur cette ligne électrique ont été retrouvés au niveau de trois pylônes sur les six que celle-ci comporte.

Trois types de pylônes différents au niveau desquels des électrocutions ont eu lieu concernant cette ligne ont été identifiés :

- **P-11 + P-16** ($n = 1$). Trois phases sur un même plan horizontal, avec les deux chaînes extérieures dotées de câbles de liaison au-dessus et un sectionneur tripolaire au sommet.
- **P-15** ($n = 1$). Fin de ligne avec sectionneur tripolaire sur le mât du pylône. Câbles de liaison suspendus.
- **P-02** ($n = 1$). Trois phases sur deux plans horizontaux, la phase centrale étant légèrement en hauteur, avec des isolateurs suspendus depuis une traverse en forme de voûte.

Ligne C

Cette ligne électrique a été parcourue le 12 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône C-21 (latitude 28,849976°, longitude -10,508530°), au sein d'un petit noyau rural à partir duquel la ligne se dirige vers le nord-est, et s'est poursuivie jusqu'au point où elle fusionne avec la Ligne A au niveau du pylône A-105 (latitude 28,867759°, longitude -10,483713°). Cette ligne a une longueur totale de 3 188 m et comporte 21 pylônes (Figure 5).

Les cadavres de deux aigles de Bonelli d'âge indéterminé ont été retrouvés sur le pylône C-008 (latitude 28,856812°, longitude -10,492759°).

Ce pylône est de type **P-03**, lequel comprend trois phases sur un même plan horizontal, fixées sur des chaînes d'isolateurs suspendus.

Ligne D

Cette ligne électrique a été parcourue le 13 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône D-001 (latitude 28,661192°, longitude -10,697626°), près de l'autoroute de Guelmim à Tan-Tan, à proximité de la localité de Rass Oumlil, et s'est poursuivi en direction du nord-est jusqu'à un noyau rural où la



Figura 4. Restos de águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*) y de busardo (*Buteo rufinus*) en la unión entre las líneas A y C.

Figure 4. Restes d'un aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) et d'une buse féroce (*Buteo rufinus*), à l'intersection entre les Lignes A et C.

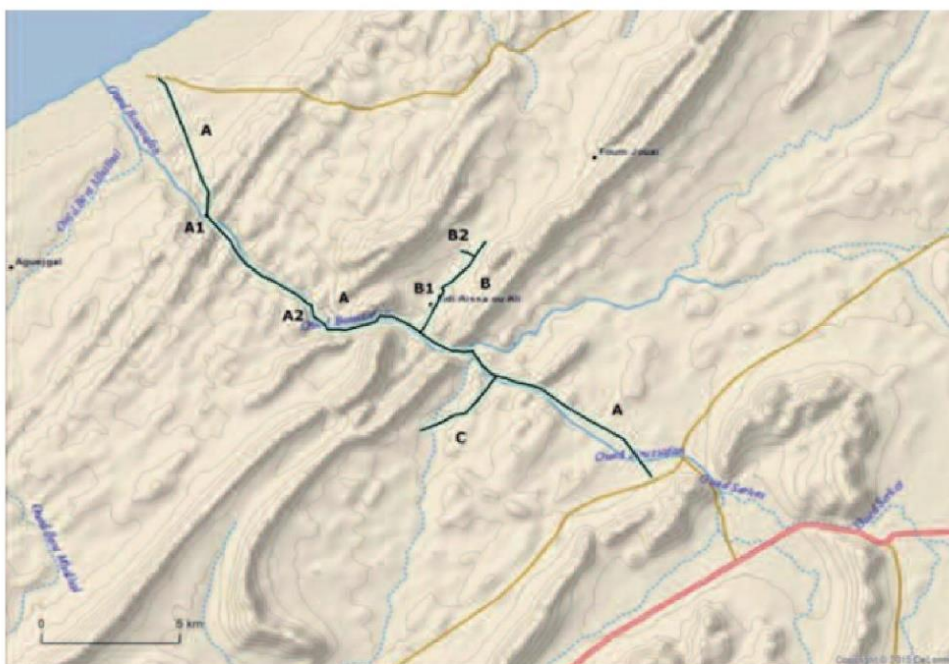


Figura 5. Localización del recorrido de las Líneas A, A1, A2, B, B1, B2 y C.
Figure 5. Localisation du parcours pour les Lignes A, A1, A2, B, B1, B2 et C.



Figura 6. Totalidad de apoyos recorridos en las Líneas A, A1, A2, B, B1, B2 y C. En color rojo los apoyos donde se encontraron cadáveres o restos de aves. El tamaño del *buffer* amarillo aumenta con el número de aves muertas por apoyo.
Figure 6. Totalité des pylônes parcourus sur les Lignes A, A1, A2, B, B1, B2 et C. Les points rouges signalent les pylônes où des cadavres ou restes d'oiseaux ont été retrouvés. La taille de la zone tampon (*buffer*) en jaune augmente en fonction du nombre d'oiseaux morts par pylône.

es la siguiente: cigüeña blanca ($n = 1$), águila-azor perdicera ($n = 2$), busardo moro ($n = 2$) y búho desértico (*Bubo ascalaphus*) ($n = 1$).

En relación a la edad de los individuos en el momento de la electrocución, solo se ha podido datar la edad de los dos individuos de águila-azor perdicera, los cuales eran un juvenil y un adulto. En el resto de las especies no fue posible identificar la edad.

Las aves electrocutadas encontradas en esta línea eléctrica se detectaron en cinco de los 43 apoyos inspeccionados y se han identificado tres tipos diferentes de apoyos donde se han producido electrocuciones en esta línea:

- **P-02.** Tres fases en dos planos horizontales con la central elevada con aisladores suspendidos de una cruceta en forma de bóveda.
- **P-03.** Tres fases en un mismo plano horizontal, pendientes con cadenas de aisladores suspendidos.
- **P-10.** Apoyo de tres fases en plano horizontal con cadena de amarre y puentes por debajo.

Línea E

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 13 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo E-001 (Latitud 28.664272°

línea se termine au niveau du pylône D-043 (latitude 28,694093°, longitude -10,731509°). La longueur totale parcourue sur cette ligne électrique a été de 5 102 m, avec un total de 43 pylônes inspectés (Figures 8 et 9).

Le nombre total d'oiseaux électrocutés retrouvés sur cette ligne électrique a été de six individus (0,14 oiseau/pylône), appartenant à quatre espèces différentes. La répartition des individus électrocutés par espèce est la suivante : cigogne blanche ($n = 1$), aigle de Bonelli ($n = 2$), buse féroce ($n = 2$) et grand-duc du désert (*Bubo ascalaphus*) ($n = 1$).

Concernant l'âge des individus au moment de leur électrocution, seul l'âge des deux spécimens d'aigles de Bonelli a pu être déterminé : il s'agissait d'un juvénile et d'un adulte. Il n'a pas été possible d'identifier l'âge des spécimens d'autres espèces.

Les oiseaux électrocutés sur cette ligne électrique ont été retrouvés au niveau de cinq pylônes sur les 43 inspectés, et trois types de pylônes différents (au niveau desquels des électrocutions ont eu lieu concernant cette ligne) ont été identifiés :

- **P-02.** Trois phases sur deux plans horizontaux, la phase centrale étant en hauteur, avec des isolateurs suspendus depuis une traverse en forme de voûte.
- **P-03.** Trois phases sur un même plan horizontal, fixées sur des chaînes d'isolateurs suspendus.



Figura 7. Seccionador y apoyo con transformador en vástago en la Línea E.

Figure 7. Sectionneur et pylône avec transformateur sur le mât d'un pylône de la Ligne E.

Longitud -10.669394°) junto a la carretera Guelmim a Tan-Tan, próximo a la localidad de Rass Oumlil, y transcurrió en dirección NE hasta el apoyo E-029 (Latitud 28.688121° Longitud -10.664496°). La longitud total de esta línea es de 2.950 m y consta de 29 apoyos (Figuras 8 y 9).

Se detectaron tres cadáveres de busardo moro, un individuo juvenil y dos de edad indeterminada en los apoyos E-012 (Latitud 28.682942° Longitud -10.670807°) y E-021 (Latitud 28.674799° Longitud -10.670855°), respectivamente.

Ambos apoyos son del tipo **P-02**, tres fases en un mismo plano horizontal, pendientes con cadenas de aisladores suspendidos.

Línea F

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 13 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo F-001 (Latitud 28.665045° Longitud -10.646994°) junto a la carretera Guelmim a Tan-Tan, próximo a la localidad de Rass Oumlil, y transcurrió en dirección S hasta el punto F-079 (Latitud 28.569531° Longitud -10.622389°), continuando esta línea eléctrica en dirección S. La longitud total de esta línea es de 11.787 m y consta de 79 apoyos (Figuras 8 y 9).

En esta línea no se detectó mortalidad de aves.

Línea F1

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 13 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo F-046 de la Línea F (Latitud 28.611598° Longitud -10.670855°) y transcurrió en dirección E hasta el punto F1-007 (Latitud 28.613119° Longitud -10.609685°) en el núcleo rural abandonado de Sidi Sabi. La longitud total de esta línea es de 654 m y consta de siete apoyos (Figuras 8 y 9).

Se detectaron dos cadáveres de halcón bonín, un juvenil y un adulto en el apoyo F1-001 (Latitud 28.61666° Longitud -10.615931°).

Este apoyo es del tipo **P-10**, tres fases en plano horizontal con cadena de amarre y puentes por debajo.

Línea F2

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 13 de enero de 2016. El inicio se realizó en el apoyo F-056 de la Línea F (Latitud 28.598854° Longitud -10.618037°) y transcurrió en dirección E hasta el punto F2-003 (Latitud 28.599634° Longitud -10.616603°). La longitud total de esta línea es de 184 m y consta de tres apoyos (Figuras 8 y 9).

Se detectó un resto de busardo moro de edad indeterminada en el apoyo F2-003 (Latitud 28.599634° Longitud -10.616603°).

Este tipo de apoyo es **P-16**, seccionador tripolar en cabecera al final de línea.

Línea F3

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 13 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo F-58 de la Línea F

- **P-10**. Pylône à trois phases sur un seul plan horizontal, avec chaîne d'ancrage et câbles de liaison en dessous.

Ligne E

Cette ligne électrique a été parcourue le 13 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône E-001 (latitude $28,664272^\circ$, longitude $-10,669394^\circ$), près de l'autoroute de Guelmim à Tan-Tan, à proximité de la localité de Rass Oumlil, et s'est poursuivi en direction du nord-est jusqu'au pylône E-029 (latitude $28,688121^\circ$, longitude $-10,664496^\circ$). Cette ligne a une longueur totale de 2 950 m et comporte 29 pylônes (Figures 8 et 9).

Les cadavres de trois buses féroces, à savoir un individu juvénile et deux d'âge indéterminé, ont été retrouvés sur les pylônes E-012 (latitude $28,682942^\circ$, longitude $-10,670807^\circ$) et E-021 (latitude $28,674799^\circ$, longitude $-10,670855^\circ$), respectivement.

Ces deux pylônes sont de type **P-02**, lequel comprend trois phases sur un même plan horizontal, fixées sur des chaînes d'isolateurs suspendus.

Ligne F

Cette ligne électrique a été parcourue le 13 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône F-001 (latitude $28,665045^\circ$, longitude $-10,646994^\circ$), près de l'autoroute de Guelmim à Tan-Tan, à proximité de la localité de Rass Oumlil, et s'est poursuivi en direction du sud jusqu'au point F-079 (latitude $28,569531^\circ$, longitude $-10,622389^\circ$), le reste de la ligne électrique continuant vers le sud. Cette ligne a une longueur totale de 11 787 m et comporte 79 pylônes (Figures 8 et 9).

Aucune mortalité concernant les oiseaux n'a été détectée sur cette ligne.

Ligne F1

Cette ligne électrique a été parcourue le 13 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône F-046 de la Ligne F (latitude $28,611598^\circ$, longitude $-10,670855^\circ$) et s'est poursuivi en direction de l'est, jusqu'au point F1-007 (latitude $28,613119^\circ$, longitude $-10,609685^\circ$) au sein du noyau rural abandonné de Sidi Sabi. Cette ligne a une longueur totale de 654 m et comporte sept pylônes (Figures 8 et 9).

Les cadavres de deux faucons laniers (un juvénile et un adulte) ont été retrouvés sur le pylône F1-001 (latitude $28,61666^\circ$, longitude $-10,615931^\circ$).

Ce pylône est de type **P-10**, lequel comprend trois phases sur un seul plan horizontal, avec chaîne d'ancrage et câbles de liaison en dessous.

Ligne F2

Cette ligne électrique a été parcourue le 13 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône F-056 de la Ligne F (latitude $28,598854^\circ$, longitude $-10,618037^\circ$) et s'est poursuivi en direction de l'est, jusqu'au point F2-003 (latitude $28,599634^\circ$,

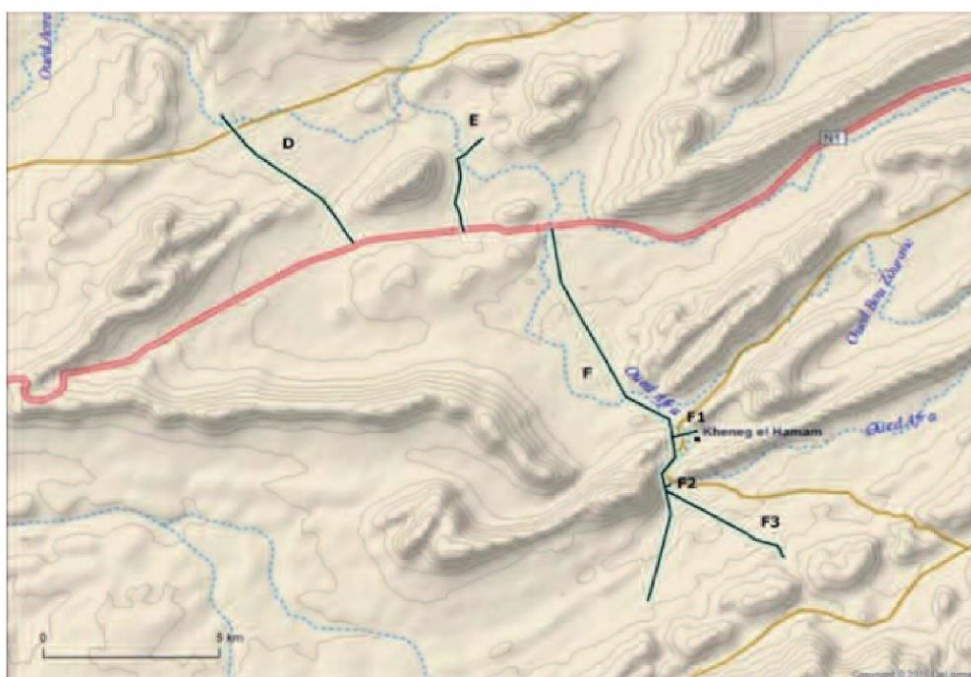


Figura 8. Localización del recorrido de las Líneas D, E, F, F1, F2 y F3.

Figure 8. Localisation du parcours pour les Lignes D, E, F, F1, F2 et F3.

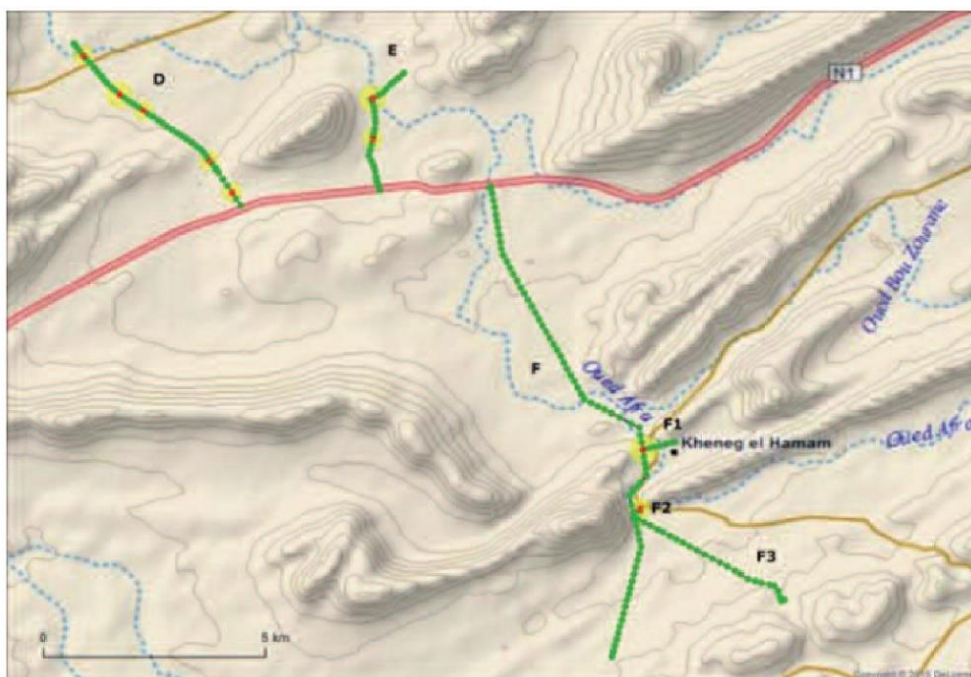


Figura 9. Totalidad de apoyos recorridos en las Líneas D, E, F, F1, F2 y F3. En color rojo los apoyos donde se encontraron cadáveres o restos de aves. El tamaño del *buffer* amarillo aumenta con el número de aves muertas por apoyo.

Figure 9. Totalité des pylônes parcourus sur les Lignes D, E, F, F1, F2 et F3. Les points rouges signalent les pylônes où des cadavres ou restes d'oiseaux ont été retrouvés. La taille de la zone tampon (*buffer*) en jaune augmente en fonction du nombre d'oiseaux morts par pylône.

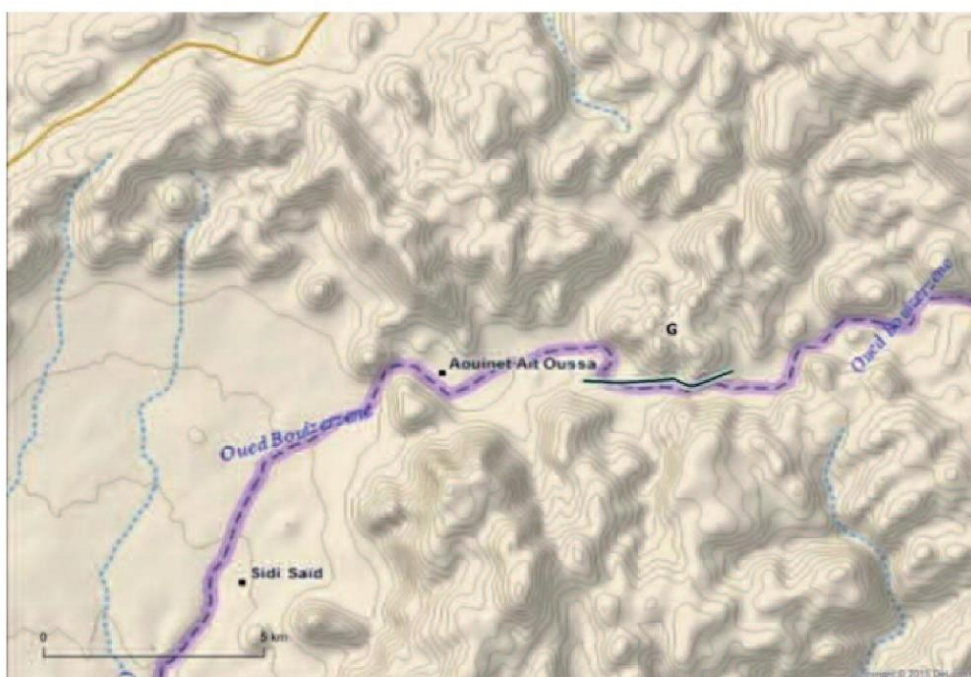


Figura 10. Localización del recorrido de la Línea G.
Figure 10. Localisation du parcours pour la Ligne G.



Figura 11. Totalidad de apoyos recorridos en la Línea G.
Sin cadáveres ni restos de aves encontrados.
Figure 11. Totalité des pylônes parcourus sur la Ligne G.
Aucuns restes ou cadavres d'oiseaux retrouvés.

(Latitud 28.597491° Longitud -10.617715°), desde donde la Línea F3 se dirige en dirección SE durante 3.729 m hasta el último apoyo de esta línea, F3-026 (Latitud 28.581071° Longitud -10.587372°), en una construcción aislada (Figuras 8 y 9).

En esta línea no se detectó mortalidad de aves.

Línea G

Esta línea eléctrica fue recorrida el día 13 de enero de 2016. El inicio del recorrido se realizó en el apoyo G-01 de la Línea G (Latitud 28.498474° Longitud -10.501952°), desde donde esta línea se dirige en dirección E paralela a la carretera. Esta línea fue recorrida durante 3.142 m hasta el apoyo G-18 (Latitud 28.500501° Longitud -10.471373°), continuando la línea en dirección E (Figuras 10 y 11).

En esta línea no se detectó mortalidad de aves. La línea se seleccionó para su prospección por su proximidad a un nido ocupado de águila-azor perdicera en la localidad de Aouinet (Latitud 28,498168° Longitud -10.50166167°).

longitud -10,616603°). Cette ligne a une longueur totale de 184 m et comporte trois pylônes (Figures 8 et 9).

Les restes d'une buse féroce d'âge indéterminé ont été retrouvés sur le pylône F2-003 (latitude 28,599634°, longitude -10,616603°).

Ce pylône est de type **P-16**, avec un sectionneur tripolaire au sommet en fin de ligne.

Ligne F3

Cette ligne électrique a été parcourue le 13 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône F-58 de la Ligne F (latitude 28,597491°, longitude -10,617715°), à partir du lieu où la Ligne F3 se dirige vers le sud-est, sur une distance de 3 729 m, jusqu'à atteindre le pylône F3-026 (latitude 28,581071°, longitude -10,587372°), le dernier pylône de cette ligne, au niveau d'un bâtiment isolé (Figures 8 et 9).

Aucune mortalité concernant les oiseaux n'a été détectée sur cette ligne.

Ligne G

Cette ligne électrique a été parcourue le 13 janvier 2016. Le parcours a débuté au niveau du pylône G-01 de la Ligne G (latitude 28,498474°, longitude -10,501952°), à partir du lieu où cette ligne se dirige vers l'est, parallèlement à l'autoroute. Cette ligne a été parcourue sur une distance de 3 142 m jusqu'au pylône G-18 (latitude 28,500501°, longitude -10,471373°), le reste de la ligne électrique continuant vers l'est (Figures 10 et 11).

Aucune mortalité concernant les oiseaux n'a été détectée sur cette ligne. La ligne a été sélectionnée à des fins de prospection en raison de sa proximité avec un nid occupé par un aigle de Bonelli dans la localité d'Aouinet (latitude 28,498168°, longitude -10,50166167°).

Análisis y discusión de resultados

Analyse des résultats et discussion

ÍNDICES DE MORTALIDAD POR APOYO (IMAp)

La mortalidad producida en las líneas eléctricas, tanto por colisión como por electrocución, es una de las principales causas de mortalidad no natural para las aves rapaces a nivel global (Leshman *et al.*, 2007) y en algunas especies ha llegado a ser un factor limitante de sus poblaciones (Leshman, 1985; Kruger, 1999; Ferrer *et al.*, 1991, Janss y Ferrer 1998, 2000, 2001; Real *et al.*, 2001; Donázar *et al.*, 2002; Sergio *et al.*, 2004; González *et al.*, 2007; Jenkins *et al.*, 2010; Boshoff *et al.*, 2011; Guil *et al.*, 2011; Angelov *et al.*, 2012; Hernández-Matías *et al.*, 2015).

A pesar de la importancia de esta amenaza para la conservación de las aves rapaces, ha sido sólo principalmente en EE.UU., España y Sudáfrica donde se han estudiado en profundidad diversos aspectos relacionados con el impacto sobre las poblaciones, creación de modelos de riesgo, medidas para minimizar la mortalidad, etc. (Leshman *et al.*, 2007; Harness *et al.*, 2013). Ni en Marruecos ni en el resto del NO de África hay estudios sobre la incidencia de esta amenaza, a excepción de unos pocos casos relativos a la avutarda (*Otis tarda*) y observaciones puntuales de cigüeñas electrocutadas (Amezian *et al.*, 2015).

Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman por primera vez la presencia de esta amenaza en el Norte de África, al menos de forma no aislada y con un elevado impacto en poblaciones de rapaces no sólo de Marruecos sino también del Mediterráneo occidental, algunas de ellas muy amenazadas como el águila imperial ibérica. Así, se han localizado 70 aves electrocutadas de siete especies distintas en una distancia relativamente pequeña: 59,65 km (Figura 12). Esta cifra puede ser superior debido a que no todos los cadáveres son localizados, tanto por la predación de algunos de estos cadáveres por otras aves o mamíferos carnívoros, como por los casos de aves que quedan heridas tras la electrocución pero con capacidad de desplazamiento, las cuales muy probablemente mueren alejadas de la línea eléctrica y por tanto de la banda de búsqueda, imposibilitando su detección. Las tasas de desaparición pueden variar en función del tipo de hábitat y densidad de predadores, osci-

INDICES DE MORTALITÉ PAR PYLÔNE (IMAp)

La mortalité attribuable aux lignes électriques, que ce soit par collision ou par électrocution, est l'une des principales causes de mortalité non naturelle chez les rapaces au niveau mondial (Leshman *et al.*, 2007), et chez certaines espèces cela est devenu un facteur limitant affectant leurs populations (Leshman, 1985 ; Kruger, 1999 ; Ferrer *et al.*, 1991, Janss et Ferrer 1998, 2000, 2001 ; Real *et al.*, 2001 ; Donázar *et al.*, 2002 ; Sergio *et al.*, 2004 ; González *et al.*, 2007 ; Jenkins *et al.*, 2010 ; Boshoff *et al.*, 2011 ; Guil *et al.*, 2011 ; Angelov *et al.*, 2012 ; Hernández-Matías *et al.*, 2015).

Les différents aspects liés à l'impact de cette menace sur les populations, la création de modèles de risque, des mesures visant à réduire la mortalité au minimum, etc. n'ont véritablement été étudiés de manière approfondie qu'aux États-Unis, en Espagne et en Afrique du Sud (Leshman *et al.*, 2007 ; Harness *et al.*, 2013), malgré l'importance de cette menace pour la conservation des rapaces. Aucune étude sur les effets de cette menace n'a été réalisée au Maroc ni dans le reste de l'Afrique du Nord-ouest, à l'exception de rares études de cas portant sur la grande outarde (*Otis tarda*) et de quelques observations ponctuelles de cas d'électrocutions chez les cigognes (Amezian *et al.*, 2015).

Les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude confirment pour la première fois la présence de cette menace en Afrique du Nord, du moins de manière non isolée et avec un impact élevé sur les populations de rapaces originaires non seulement du Maroc mais aussi de la Méditerranée occidentale, certains d'entre eux étant très menacés à l'instar de l'aigle ibérique. Ainsi, 70 oiseaux électrocutés appartenant à sept espèces différentes ont été retrouvés sur une distance relativement faible : 59,65 km (Figure 12). Il est possible que ce chiffre soit en réalité supérieur car tous les cadavres ne sont pas retrouvés, soit en raison de la prédation d'autres oiseaux ou de mammifères carnivores se nourrissant de certains d'entre eux, soit parce que certains oiseaux blessés suite à une électrocution parviennent à se déplacer mais, très probablement, pour ensuite mourir loin de la ligne électrique et donc hors

lando entre el 20% (Shawn *et al.*, 2015) y el 33% (Dwyer, 2004; Ponce *et al.*, 2010), llegando en algunos casos hasta del 47% (Platt, 2005).

Hay que destacar que en este estudio se ha podido estudiar la tasa de descomposición (Bevanger, 1999) de los cadáveres. Es importante porque permite añadir la variable tiempo al IMAp y valorar mejor la gravedad de las electrocuciones, y es fundamental estudiarla para cada zona porque varía mucho en función de las condiciones ambientales, presencia de carroñeros, etc. Entre octubre y diciembre de 2015 fueron localizados los cadáveres de 11 individuos electrocutados en seis apoyos de los estudiados por A. Irizi (observación personal), y todos fueron localizados aún en enero de 2016 (Tabla 2). Sin embargo, destaca el elevado grado de deterioro de los cadáveres en menos de tres meses, incluso en menos tiempo (ver fotografías de la Tabla 2), lo que parece confirmar que los individuos han muerto a lo largo del último año, pues cadáveres más antiguos habrían desaparecido con elevada probabilidad. Aun así, estos datos no son suficientes para estimar con una confianza aceptable la tasa de desaparición, para lo que habría que realizar más observaciones futuras. Además, la comparación entre ambas fechas indica que las electrocuciones continúan produciéndose, pues en ese periodo se han electrocutado otras tres aves (Tabla 2).

Teniendo en cuenta que por lo indicado se puede estimar que la mortalidad localizada hace referencia al último año, el índice de mortalidad anual por apoyo (IMAp) encontrado en el total de líneas recorridas es de 0,174 aves/apoyo (Tabla 3), siendo superior en

du périmètre de recherche, rendant impossible leur d t ction. Les taux de disparition peuvent varier en fonction du type d'habitat et de la densité des prédateurs, oscillant entre 20 % (Shawn *et al.*, 2015) et 33 % (Dwyer, 2004 ; Ponce *et al.*, 2010), jusqu'à atteindre 47 % dans certains cas (Platt, 2005).

Il convient de souligner que lors de cette étude il a été possible d'étudier le taux de décomposition (Bevanger, 1999) des cadavres. Cette donnée est importante car elle permet d'ajouter une variable temporelle à l'IMAp («  ndice de Mortalidad por Apoyo », en espagnol) et ainsi de mieux évaluer la gravité des électrocutions, un paramètre qu'il est fondamental d'étudier pour chaque zone car il varie beaucoup en fonction des conditions environnementales, de la présence de charognards, etc. Entre les mois d'octobre et de décembre 2015, les cadavres de 11 individus électrocutés avaient été observés par A. Irizi (observation personnelle) sur six pylônes parmi ceux étudiés, et tous ont été retrouvés en janvier 2016 (Tableau 2). Il convient toutefois de souligner le niveau élevé de détérioration des cadavres en moins de trois mois, et parfois en moins de temps (voir photographies du Tableau 2), ce qui semble confirmer que les individus sont morts au cours de l'année écoulée, sinon les cadavres les plus anciens auraient très probablement disparu. Néanmoins, ces données ne sont pas suffisantes pour estimer le taux de disparition avec un niveau de confiance acceptable ; pour cela, il serait nécessaire de procéder à des observations complémentaires. De plus, la comparaison entre les deux dates indique que les électrocutions continuent de se produire, puisque trois autres oiseaux ont été électrocutés au cours de cette période (Tableau 2).

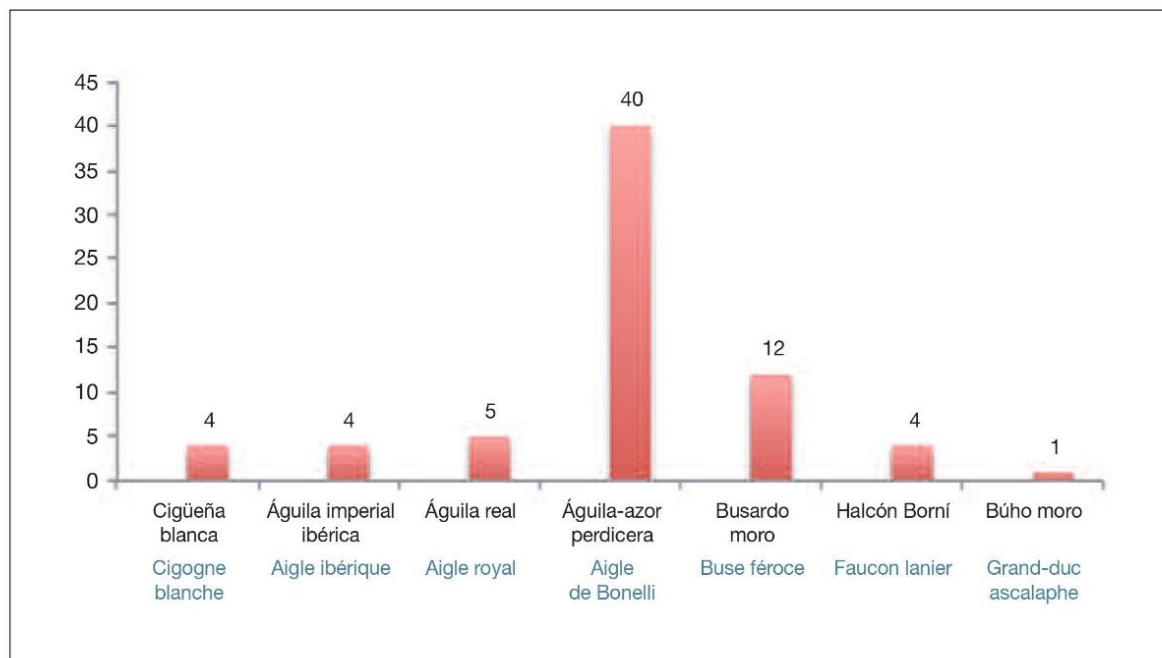


Figura 12. Mortalidad total de aves electrocutadas en las líneas eléctricas muestreadas.

Figure 12. Mortalité totale des oiseaux électrocutés sur les lignes électriques inspect es.

Tabla 2. Comparación del estado de los cadáveres de aves electrocutadas encontrados entre octubre y diciembre de 2015 por Ali Irizi , y en enero de 2016 en este estudio, en seis apoyos controlados en ambas fechas. Se indica también la aparición de nuevas electrocuciones entre ambas fechas. Fotografías: 1º observación por Ali Irizi; 2ª observación por Daniel Burón, Alfonso Godino y Catarina Machado.

Tableau 2. Comparaison de l'état des cadavres d'oiseaux électrocutés, retrouvés par Ali Irizi entre octobre et décembre 2015, puis dans le cadre de la présente étude en janvier 2016, au niveau de six pylônes inspectés à ces deux dates. Les nouvelles électrocutions constatées entre ces deux dates sont également signalées. Photographies : 1^{re} observation par Ali Irizi ; 2^e observation par Daniel Burón, Alfonso Godino et Catarina Machado.

APOYO PYLÔNE	ESPECIE ESPÈCE	1ª OBSERVACIÓN 1 ^{re} OBSERVATION	INTERVALO TIEMPO INTERVALLE DE TEMPS	2ª OBSERVACIÓN 2 ^e OBSERVATION
A-048 A-048	<i>Aquila chrysaetos</i> <i>Aquila chrysaetos</i>		1ª obs: 22/10/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 82 días 1 ^{re} obs. : 22/10/2015 (Ali Irizi), 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 82 jours	 
A-048 A-048	<i>Aquila adalberti</i> <i>Aquila adalberti</i>		1ª obs: 22/10/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 82 días 1 ^{re} obs. : 22/10/2015 (Ali Irizi), 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 82 jours	 
A-048 A-048	<i>Aquila adalberti</i> <i>Aquila adalberti</i>		1ª obs: 22/10/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 82 días 1 ^{re} obs. : 22/10/2015 (Ali Irizi), 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 82 jours	 
A-048 A-048	<i>Aquila adalberti</i> <i>Aquila adalberti</i>		1ª obs: 22/10/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 82 días 1 ^{re} obs. : 22/10/2015 (Ali Irizi), 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 82 jours	 
A-051 A-051	<i>Aquila fasciata</i> <i>Aquila fasciata</i>		1ª obs: 22/10/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 82 días 1 ^{re} obs. : 22/10/2015 (Ali Irizi), 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 82 jours	 

APOYO PYLÔNE	ESPECIE ESPÈCE	1ª OBSERVACIÓN 1 ^{re} OBSERVATION	INTERVALO TIEMPO INTERVALLE DE TEMPS	2ª OBSERVACIÓN 2 ^e OBSERVATION
A-066 A-066	<i>Aquila fasciata</i> <i>Aquila fasciata</i>		1ª obs: 07/11/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 66 días 1 ^{re} obs. : 07/11/2015 (Ali Irizi), 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 66 jours	 
A-066 A-066	<i>Buteo rufinus</i> <i>Buteo rufinus</i>	NO LOCALIZADO NON LOCALISÉ	No obs: 07/11/2015 (Ali Irizi) 1ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: menos de 66 días Pas d'obs. : 07/11/2015 (Ali Irizi), 1 ^{re} obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : moins de 66 jours	
A2-001 A2-001	<i>Aquila fasciata</i> <i>Aquila fasciata</i>		1ª obs: 07/11/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 66 días 1 ^{re} obs. : 07/11/2015 (Ali Irizi), 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 66 jours	 
A2-001 A2-001	<i>Ciconia ciconia</i> <i>Ciconia ciconia</i>	NO LOCALIZADO NON LOCALISÉ	No obs: 07/11/2015 (Ali Irizi) 1ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: menos de 66 días Pas d'obs. : 07/11/2015 (Ali Irizi), 1 ^{re} obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : moins de 66 jours	

APOYO PYLÔNE	ESPECIE ESPÈCE	1ª OBSERVACIÓN 1 ^{re} OBSERVATION	INTERVALO TIEMPO INTERVALLE DE TEMPS	2ª OBSERVACIÓN 2 ^e OBSERVATION
A-105	<i>Aquila fasciata</i> (2 ejemplares) Hay un tercer ejemplar reciente que no observó Ali Irizi		1ª obs: 07/11/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 66 días	 
A-105	<i>Aquila fasciata</i> (2 spécimens) Il existe un troisième spécimen récent, qui n'a pas été observé par Ali Irizi		1 ^{re} obs. : 07/11/2015 (Ali Irizi) 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 66 jours	 
A-110	<i>Aquila fasciata</i> (2 ejemplares)		1ª obs: 05/12/2015 (Ali Irizi) 2ª obs: 12/01/2016 (presente estudio) Intervalo: 38 días	 
A-110	<i>Aquila fasciata</i> (2 spécimens)		1 ^{re} obs. : 05/12/2015 (Ali Irizi) 2 ^e obs. : 12/01/2016 (la présente étude) Intervalle : 38 jours	 

las líneas distribuidas alrededor del valle del Oued Boussafane (A, A1, A2, B, B2 y C), donde se concentra el 82,86% de la mortalidad ($n = 58$ aves), con 0,292 aves/apoyo (Figura 13). En estas líneas aparecen valores de IMAp muy elevados (Tabla 3), con 0,347 aves/apoyo en las Líneas A, A1 y A2 conjuntamente y de 0,667 aves/apoyo en la línea B2 (Tabla 3). Estos valores, tanto los totales como los parciales en las líneas del valle del Oued Boussafane, se encuentran en los de mayor rango de los encontrados en otras zonas donde se produjo el declive de grandes rapaces por esta causas, tanto en España (0,1 y 0,9 rapaces/apoyo en Ciudad Real –Guzmán y Castaño, 1998; 0,316 rapaces y córvidos/apoyo –Mañosa, 2001, y 0,036 rapaces y córvidos/apoyo en Cataluña –Tintó *et al.*, 2010; 0,151 aves incluyendo rapaces en Ciudad Real –Guil *et al.*, 2011; entre 0,69 y 0,825 en Doñana –Ferrer, 2012; 0,531 aves en otras zonas de Andalucía –Garrido, 2003; 1,02 aves en Valencia –Pérez-García *et al.*, 2015) como en otras zonas del mundo con altos índices de electrocución (0,055 alimoches/apoyo en Sudán –Angelov *et al.*, 2012; 0,27 aves/apoyo en India –Hamess *et al.*, 2013).

ESPECIES AFECTADAS Y ESTRUCTURA DE EDADES DE LOS INDIVIDUOS ELECTROCUTADOS

Un total de 70 aves aparecen electrocutadas, 66 de las cuales son aves rapaces (Figura 12): águila imperial ibérica ($n = 4$), águila real ($n = 5$), águila-azor perdicera ($n = 40$), busardo moro ($n = 12$),

Ainsi, les données obtenues permettant de déduire que la mortalité détectée fait probablement référence à l'année écoulée, l'indice de mortalité par pylône (IMAp) annuel pour l'ensemble des lignes parcourues est de 0,174 oiseau/pylône (Tableau 3) ; en outre, cet indice est plus élevé sur les lignes électriques situées aux alentours de la vallée de l'Oued Boussafane (A, A1, A2, B, B2 et C), où se concentrent 82,86 % de la mortalité ($n = 58$ oiseaux), avec 0,292 oiseau/pylône (Figure 13). En effet, la valeur de l'IMAp correspondant à ces lignes est très élevée (Tableau 3), avec 0,347 oiseau/pylône sur les Lignes A, A1 et A2 (globalement) et 0,667 oiseau/pylône sur la Ligne B2 (Tableau 3). Ces valeurs, qu'elles soient calculées de manière globale ou partielle, comme dans le cas des lignes situées dans la vallée de l'Oued Boussafane, font partie des plus élevées par rapport à celles identifiées dans d'autres zones où un déclin des grands rapaces s'est produit avec les mêmes causes, par exemple : en Espagne (0,1 et 0,9 rapace/pylône à Ciudad Real – Guzmán et Castaño, 1998 ; 0,316 rapace et corvidé/pylône – Mañosa, 2001, et 0,036 rapace et corvidé/pylône en Catalogne – Tintó *et al.*, 2010 ; 0,151 oiseau (rapaces inclus) à Ciudad Real – Guil *et al.*, 2011 ; entre 0,69 et 0,825 à Doñana – Ferrer, 2012 ; 0,531 oiseau/pylône dans d'autres parties de l'Andalousie – Garrido, 2003 ; 1,02 oiseau à Valence – Pérez-García *et al.*, 2015) ou dans d'autres parties du monde enregistrant des taux d'électrocution élevés (0,055 vautour percnoptère/pylône au Soudan – Angelov *et al.*, 2012 ; 0,27 oiseau/pylône en Inde – Hamess *et al.*, 2013).

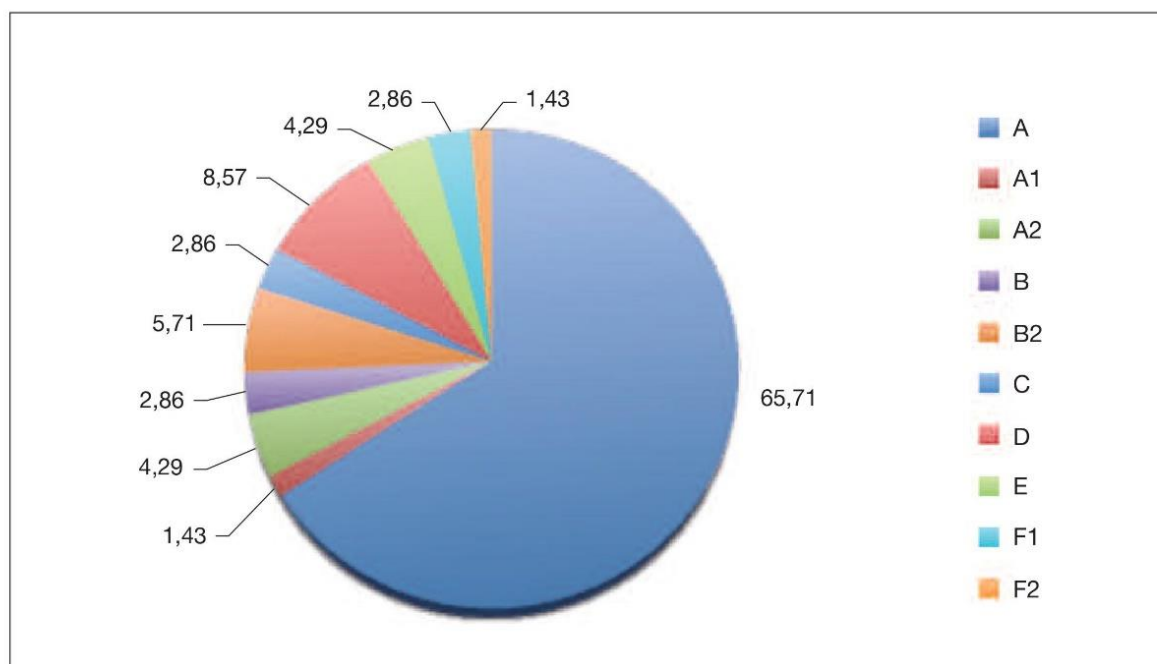


Figura 13. Porcentaje del total de mortalidad por línea eléctrica.

Figure 13. Pourcentage de la mortalité totale par ligne électrique.

Tabla 3. Índices de mortalidad por apoyo (IMAp) en cada línea eléctrica (A) y en agrupaciones de líneas eléctricas (B).

LÍNEA	N° aves electrocutadas	Longitud (m)	N° de apoyos	IMAp	
				A	B
A	46	24.237	140	0,329	
A1	1	116	3	0,333	0,347
A2	3	30	1	3	
B	2	3.935	26	0,077	
B1	0	78	1	0	0,167
B2	4	518	6	0,667	
C	2	3.188	21	0,095	
D	6	5.102	43	0,139	
E	3	2.950	29	0,104	
F	0	11.787	79	0	
F1	2	654	7	0,286	0,206
F2	1	184	3	0,333	
F3	0	3.729	26	0	
G	0	3.142	18	0	
Total	70	59.650	403	0,174	

Tableau 3. Indices de mortalité par pylône (IMAp) sur chaque ligne électrique (A) et par groupe de lignes électriques (B).

LIGNE	Nombre d'oiseaux électrocutés	Longueur (m)	Nombre de pylônes	IMAp	
				A	B
A	46	24 237	140	0,329	
A1	1	116	3	0,333	0,347
A2	3	30	1	3	
B	2	3 935	26	0,077	
B1	0	78	1	0	0,167
B2	4	518	6	0,667	
C	2	3 188	21	0,095	
D	6	5 102	43	0,139	
E	3	2 950	29	0,104	
F	0	11 787	79	0	
F1	2	654	7	0,286	0,206
F2	1	184	3	0,333	
F3	0	3 729	26	0	
G	0	3 142	18	0	
Total	70	59 650	403	0,174	

halcón borni ($n = 4$) y búho desértico ($n = 1$); y la no rapaz es la cigüeña blanca ($n = 4$). Estos resultados indican que la elevada tasa de mortalidad afecta fundamentalmente a especies de gran envergadura, más susceptibles de sufrir la electrocución al tener mayor posibilidad de contactar con elementos peligrosos de los apoyos (grandes águilas y cigüeña blanca) (Garrido y Martín, 2015), pero también a especies de mediano y pequeño tamaño (Figura 12). La especie más afectada es el águila-azor perdicera, debido fundamentalmente a que es la especie susceptible más abundante en Marruecos (El Agbani & Qninba, 2011) y que nidifica además en la zona de estudio, donde el equipo de trabajo ha localizado al menos dos nidos activos. Algo similar sucede con la segunda especie más afectada, el busardo moro, localmente muy abundante, aunque es menos susceptible por ser de menor envergadura. Ambas especies están catalogadas a nivel mundial como de "Preocupación Menor", si bien el busardo moro con tendencia negativa de las poblaciones (BirdLife, 2015). De mayor interés es la presencia del águila imperial ibérica, especie que no cría actualmente en Marruecos (El Agbani & Qninba, 2011) y catalogada como "Vulnerable" a nivel mundial (BirdLife, 2015). Mención especial adquiere la electrocución de cuatro halcones boniés, especie de pequeño tamaño y en principio por ello menos susceptible a la electrocución (Garrido y Martín, 2015), lo que indica la elevada peligrosidad de los apoyos del tendido eléctrico en la zona de estudio que afecta a especies con menor riesgo.

La edad de los individuos electrocutados fue principalmente juvenil, con la excepción de la cigüeña blanca (dos adultos y un indeterminado), el busardo moro (sólo se pudo identificar la edad de dos de los 12 individuos) y el búho desértico (no se pudo identificar la edad del único individuo registrado). Por el contrario, en las tres especies de águilas sí se pudo identificar la edad de un mayor número de individuos, siendo en su mayor parte juveniles (Figura 14).

Teniendo en cuenta el total de las especies y edades, el porcentaje de individuos juveniles que aparecen es del 48,6%, frente al 17,1% de adultos y el restante 34,3% individuos de edad indeterminada. En cambio, si analizamos tan solo aquellos individuos de edad conocida ($n = 46$), y asumiendo que el grupo de individuos no identificados podrían tener una estructura de edad similar, el porcentaje de juveniles ascendería al 74% y el de adultos el 26% (Figura 15).

Esta distribución por edades en la mortalidad por electrocución es muy similar a la mostrada por otros autores en el caso de *Aquila* sp. e incluso para algunas especies de buitres (Benson, 1981; Ferrer e Hiraldo, 1992; Guzmán y Castaño, 1998; Angelov *et al.*, 2007; Ferrer, 2012). Hay varios factores que podrían provocar este sesgo en las edades ante la electrocución, como la concentración en áreas de dispersión juvenil con abundancia de alimento, la inexperiencia, la existencia de pocos posaderos naturales y la alta densidad de apoyos del tendido eléctrico (Tinó *et al.*, 2010; Gull *et al.*, 2011; Ferrer, 2012).

Por otra parte, se comprobó el uso que hacen de un buen número de apoyos como posadero habitual, tanto las grandes como medianas rapaces, por la presencia y tamaño de egagrópilas (Figura 41) y de excrementos (Figura 42) en la base de los mismos.

ESPECIES AFFECTÉES ET STRUCTURE DE L'ÂGE DES INDIVIDUS ÉLECTROCUTÉS

Un total de 70 oiseaux électrocutés ont été retrouvés, parmi lesquels 66 étaient des rapaces (Figure 12) : aigle ibérique ($n = 4$), aigle royal ($n = 5$), aigle de Bonelli ($n = 40$), buse féroce ($n = 12$), faucon lanier ($n = 4$) et grand-duc du désert ($n = 1$) ; les autres oiseaux étant des cigognes blanches ($n = 4$). Ces résultats indiquent que ce taux de mortalité élevé concerne fondamentalement les espèces de grande envergure, lesquelles risquent davantage d'être victimes d'électrocution en raison du potentiel accru de contact avec les éléments dangereux des pylônes (grands aigles et cigogne blanche) (Garrido et Martín, 2015), mais les espèces de taille moyenne ou plus petite sont également affectées (Figure 12). L'espèce la plus affectée est l'aigle de Bonelli, surtout en raison du fait qu'il s'agit de l'espèce la plus abondante au Maroc (El Agbani et Qninba, 2011) et que celle-ci nidifie dans la zone d'étude, où l'équipe sur le terrain a localisé au moins deux nids actifs. Le même constat s'applique à la deuxième espèce la plus affectée, la buse féroce, qui est localement plus abondante mais moins à risque en raison de sa plus faible envergure. Ces deux espèces relèvent de la catégorie « Préoccupation mineure » au niveau mondial, même si la buse féroce enregistre une tendance négative en termes de populations (BirdLife, 2015). La présence de l'aigle ibérique revêt un intérêt plus important, cette espèce ne se reproduisant actuellement pas au Maroc (El Agbani et Qninba, 2011) et étant classée « Vulnérable » au niveau mondial (BirdLife, 2015). Il convient de souligner tout particulièrement l'électrocution de quatre faucons laniers, une espèce de petite taille et donc risquant moins (en principe) d'être électrocutée (Garrido et Martín, 2015), ce qui met en évidence la dangerosité élevée des pylônes électriques situés dans la zone d'étude, affectant des espèces moins à risque.

Les individus électrocutés étaient majoritairement juveniles, à l'exception de la cigogne blanche (deux adultes et un individu d'âge indéterminé), de la buse féroce (l'âge n'a pu être déterminé pour deux individus sur 12) et du grand-duc du désert (l'âge de l'unique individu répertorié n'a pas pu être identifié). En revanche, concernant les trois espèces d'aigles, il a été possible d'identifier l'âge d'un grand nombre d'individus, la majorité étant des juveniles (Figure 14).

En tenant compte de l'ensemble des espèces, tous âges confondus, le pourcentage d'individus juveniles représente 48,6 % contre 17,1 % pour les adultes et 34,3 % pour les individus d'âge indéterminé. En revanche, si nous analysons uniquement les individus dont l'âge est connu ($n = 46$), et en supposant que la structure de l'âge reste similaire au sein du groupe d'individus non identifiés, la proportion de juveniles augmente et passe à 74 % tandis que les adultes représentent 26 % (Figure 15).

Cette répartition de la mortalité par électrocution en fonction de l'âge est très similaire à celle démontrée par d'autres auteurs dans le cas des espèces d'*Aquila* sp., y compris pour certaines espèces de vautours (Benson, 1981 ; Ferrer et Hiraldo, 1992 ; Guzmán et Castaño, 1998 ; Angelov *et al.*, 2007, Ferrer, 2012). Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette corrélation entre l'âge des individus et leur électrocution, tels que leur concentration

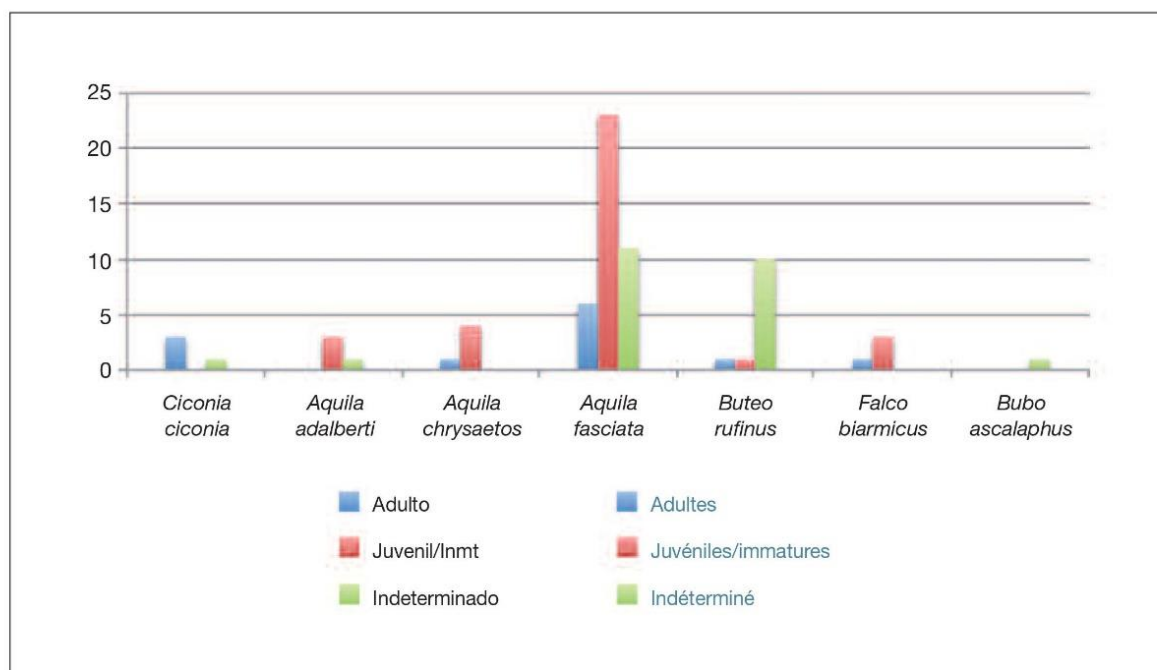


Figura 14. Estructura de edades por especie de los individuos electrocutados en el total de las líneas prospectadas.
Figure 14. Structure de l'âge par espèce chez les individus électrocutés sur toutes les lignes inspectées.

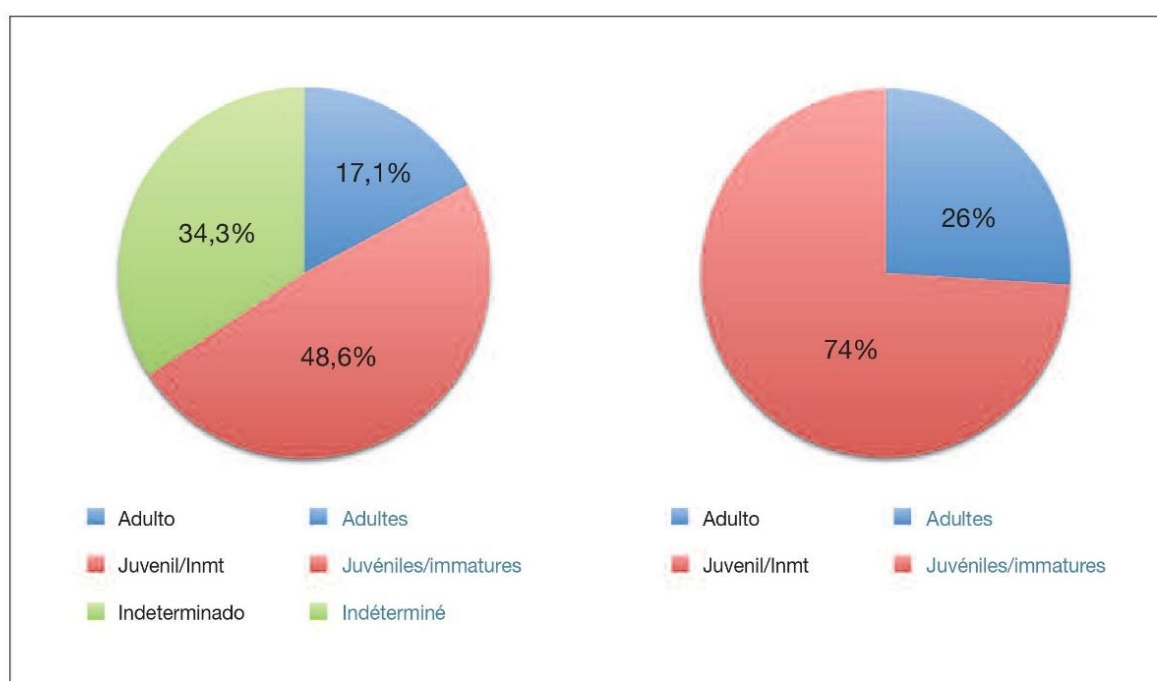


Figura 15. Porcentaje de edades incluyendo todos los individuos (izquierda) y excluyendo los individuos de edad indeterminados (derecha).
Figure 15. Pourcentage par âge pour l'ensemble des individus (à gauche) et en excluant les individus d'âge indéterminé (à droite).

Estos resultados permiten afirmar que la zona de estudio, en especial la que rodea al valle del Oued Boussafane, constituye un área de dispersión y asentamiento temporal de poblaciones no adultas de grandes y pequeñas rapaces, englobada en una mayor que comprendería el área entre Sidi Ifni, Guelmim y bajo Draa. Esta concentración se debe a una alta abundancia de presas (Ramírez *et al.*, 2016). En esta zona se concentra actualmente una elevada densidad de especies-presa que incluye roedores de gran tamaño como el jird gordo (*Psammomys obesus*), la rata grande del desierto (*Meriones crassus*) y la ardilla terrestre moruna (*Atlantoxerus getulus*), debido una explosión demográfica por las lluvias torrenciales sufridas en otoño de 2014 (Ramírez *et al.*, 2016). Es decir, se trata de especies de roedores adaptadas a las condiciones desérticas con explosiones demográficas periódicas tras épocas de grandes precipitaciones, lo que indicaría que se trata de una situación coyuntural, aunque cíclica.

De estas especies es destacable el jird gordo (Figura 40), no solo por ser la más abundante con diferencia, sino por representar la principal presa de las rapaces en esta zona, como confirma el análisis de una pequeña muestra de egagrópilas ($n = 18$) recogidas en la base de los apoyos durante la prospección. En estas egagrópilas, pertenecientes a águilas reales, perdiceras e imperiales ibéricas, el 100% del contenido son restos de este roedor.

Así, en lo que va de siglo y hasta 2013 inclusive, la zona no contaba con esa densidad de roedores ni de rapaces (Ramírez *et al.*, 2016), aunque sí es cierto que es la zona donde durante los últimos años se han observado individuos dispersantes de águilas imperiales ibéricas (Amezian *et al.*, 2015). Esta situación tiene actualmente una enorme importancia en el mantenimiento de las poblaciones locales de algunas rapaces, como el águila-azor perdicera, el busardo ratonero o el halcón bonín, y, fundamentalmente, en la conservación de los jóvenes dispersantes de águila-azor perdicera, tanto marroquíes como ibéricos, como señalan los movimientos de aves con emisores satelitales (Iglesias y Álvarez, 2016; Ramírez *et al.*, 2016), y de águila imperial ibérica (Morandini *et al.*, 2016). De esta última especie se tiene constancia de la presencia de entre 8 y 12 individuos jóvenes durante el último otoño invierno, obviamente todos procedentes de la península Ibérica (Ramírez *et al.*, 2016; Morandini *et al.*, 2016). Esto implica que esta elevada mortalidad por tendidos eléctricos tiene una alta incidencia en la conservación de las poblaciones no sólo magrebíes, sino también ibéricas de águila-azor perdicera y, sobre todo, águila imperial ibérica y que afecta y afectará a todos aquellos individuos que se concentren en esta zona, lo que viene sucediendo, con mayor o menor importancia, al menos desde 2001 (Amezian *et al.*, 2015). Este tipo de mortalidad concentrada en puntos negros ha sido constatada como principal causa del declive y casi extinción de poblaciones de especies amenazadas, tanto a nivel local (águila-azor perdicera en España, Chevallier *et al.*, 2015; águila imperial ibérica en Doñana, Ferrer, 2012) como a nivel global (alimoche común *Neophron percnopterus*, Angelov *et al.*, 2012). En este último estudio se demostró que la muerte por electrocución en tendidos eléctricos de centenares de alimoches invernantes en una zona de invernada desértica sin posaderos naturales en Sudán produjo el declive de las poblaciones reproductoras de origen en zonas tan alejadas como Europa oriental, obligando a su aislamiento como medida urgente de conservación (Angelov *et al.*, 2012).

dans des zones de dispersion juvénile où la nourriture est abondante, leur inexpérience, la faible présence de perchoirs naturels, ainsi que la forte densité de pylônes électriques (Tinó *et al.*, 2010 ; Guil *et al.*, 2011 ; Ferrer, 2012).

D'autre part, le fait que les rapaces, qu'il s'agisse d'oiseaux de grande ou moyenne taille, utilisent régulièrement de nombreux pylônes en tant que perchoirs a pu être vérifié par la présence et la taille des pelotes de régurgitation (Figure 41) et des excréments (Figure 42) retrouvés au pied de ces pylônes.

Ces résultats permettent d'affirmer que la zone d'étude, en particulier autour de la vallée de l'Oued Boussafane, constitue une aire de dispersion et d'établissement temporaire pour les populations de grands et petits rapaces non adultes, incluse dans une zone plus vaste couvrant le territoire situé entre les villes de Sidi Ifni et Guelmim et le secteur en aval de l'Oued Draa. Cette concentration est due à une grande abondance de proies (Ramírez *et al.*, 2016). Dans cette zone, la densité d'espèces-proies, incluant des rongeurs de grande taille tels que le rat des sables (*Psammomys obesus*), la mérione du désert (*Meriones crassus*) et l'écureuil terrestre de Barbarie (*Atlantoxerus getulus*), est actuellement élevée en raison d'une explosion démographique suite aux pluies torrentielles enregistrées à l'automne 2014 (Ramírez *et al.*, 2016). Ainsi, il s'agit d'espèces de rongeurs adaptées aux conditions désertiques et caractérisées par des explosions démographiques périodiques après des périodes de fortes précipitations, ce qui semble correspondre à une situation conjoncturelle bien que cyclique.

Parmi ces espèces, le rat des sables (Figure 40) se distingue non seulement parce que cette espèce est de loin la plus abondante, mais aussi car elle constitue la proie principale des rapaces dans cette zone, comme le confirme l'analyse d'un petit échantillon de pelotes de régurgitation ($n = 18$) retrouvées au pied des pylônes lors de la prospection. Ces pelotes de régurgitation, appartenant à des aigles royaux, ibériques et de Bonelli, étaient composées à 100 % de restes de ce rongeur.

Ainsi, entre les années 2000 et 2013 (incluses), la zone ne comportait pas la même densité de rongeurs et de rapaces (Ramírez *et al.*, 2016), même s'il est certain que cette zone abritait des aigles ibériques dispersés au cours des dernières années (Amezian *et al.*, 2015). Cette situation revêt actuellement une importance considérable pour la préservation des populations locales de quelques rapaces, tels que l'aigle de Bonelli, la buse variable et le faucon lanier, et en particulier pour la conservation des jeunes aigles dispersés, qu'il s'agisse d'aigles de Bonelli (originaires du Maroc ou de la péninsule Ibérique), comme en témoignent les déplacements des oiseaux équipés d'émetteurs par satellite (Iglesias et Álvarez, 2016 ; Ramírez *et al.*, 2016), ou d'aigles ibériques (Morandini *et al.*, 2016). Concernant cette dernière espèce, la présence de 8 à 12 jeunes individus était connue au cours du dernier automne/hiver, tous manifestement originaires de la péninsule Ibérique (Ramírez *et al.*, 2016 ; Morandini *et al.*, 2016). Ceci implique que la mortalité élevée attribuable aux lignes électriques a une forte incidence sur la conservation des populations non seulement maghrébines mais aussi ibériques de l'aigle de Bonelli et, surtout, de l'aigle ibérique ; ceci affecte tous les individus concentrés dans cette zone, depuis au moins 2001, dans une

Todo lo expuesto pone de manifiesto la necesidad del aislamiento urgente de los tendidos identificados en este trabajo, dado que los valores registrados en este estudio comparados con otros trabajos sobre mortalidad de aves en líneas eléctricas muestran lo que podría ser uno de los mayores índices de mortalidad de aves rapaces por apoyos registrado hasta la actualidad en el Mediterráneo. Mientras no se acometa esa actuación, las electrocuciones seguirán produciéndose en el futuro, con mayor incidencia tras periodos de precipitaciones. Debido a que se trata de una zona muy atractiva para las aves rapaces por la densidad de presas y la ausencia de posaderos naturales las aves se ven obligadas a seleccionar los apoyos del tendido como posadero y dormitorio (Figura 16), con lo que el riesgo de electrocución es muy elevado. Mientras no se produzca el aislamiento de los elementos peligrosos, la región seguirá siendo un sumidero poblacional, impidiendo incluso la potencial recolonización de Marruecos por parte del águila imperial ibérica mediante la creación de una nueva población en el sur de España y el crecimiento de la población ibérica (Morandini *et al.*, 2016). De hecho, gracias al presente trabajo se ha podido constatar que en Marruecos no aparecen solamente individuos juveniles no reproductores, pues uno de los contactos realizados durante la expedición localizó con posterioridad el cadáver de un águila imperial ibérica de tres años de edad en la zona de estudio (H. Kharraz, comentario personal 2016) (Figura 17), edad con la que las águilas ya se reproducen en zonas de nueva colonización (García y Garrido, 2015) como podría ser ésta.

ÍNDICE DE PELIGROSIDAD DE LOS APOYOS (IPAp)

La electrocución de un ave en un apoyo de una línea eléctrica se produce cuando el ave toca simultáneamente dos conductores o un conductor y una segunda parte ligada a tierra (Bevanger, 1994; Ferrer, 2012), por lo que el diseño del poste es lo que determina la peligrosidad de este para las aves (Ferrer *et al.*, 1991; Tintó *et al.* 2010; Guil *et al.*, 2011, Ferrer, 2012). En base a la peligrosidad potencial de los diferentes diseños, ya han sido elaborados diversos manuales y recomendaciones que evalúan o identifican la peligrosidad de determinados apoyos (Ferrer, 1996; Guzmán y Castaño, 1998; Garrido y Martín, 2015; SIECE, 2015).

De los 20 tipos de apoyo diferentes identificados durante este estudio, en 11 de estos se ha producido alguna electrocución (Tabla 4). El IPAp más elevado, como ya ha sido descrito (Ferrer, 2012; Garrido y Martín, 2015), lo obtienen aquellos apoyos con conductores en cadena de amarre y montaje en horizontal o bóveda y aquellos que tienen elementos en tensión por encima de la cruceta, de modo que es muy fácil que se produzca el contacto simultáneo con dos conductores o con un conductor y el metal del apoyo (ver Tabla 4 y Anexo fotográfico para la identificación de los tipos de postes). Sin embargo, cabe destacar que incluso apoyos considerados de bajo riesgo, como los de bóveda con aisladores suspendidos (tipo P-02), han producido la electrocución del mayor número de individuos, aunque tengan un IPAp más discreto (Tabla 4). En estos postes la electrocución se produce tanto por el contacto del ave con los conductores y el metal de la cruceta cuando se va a posar en el elemento central de la

medida más o menos importante, y continuara de les afectar (Amezian *et al.*, 2015). Il a été constaté que ce type de mortalité concentrée sur des « points noirs » est la principale cause du déclin et de la quasi-extinction des populations d'espèces menacées, tant au niveau local (aigle de Bonelli en Espagne, Chevallier *et al.*, 2015 ; aigle ibérique à Doñana, Ferrer, 2012) que mondial (vautour percnoptère *Neophron percnopterus*, Angelov *et al.*, 2012). Cette dernière étude a démontré que la mort par électrocution sur les lignes électriques de centaines de vautours percnoptères, hivernant dans une zone d'hivernage désertique dépourvue de perchoirs naturels au Soudan, a conduit au déclin des populations reproductrices originaires de zones aussi lointaines que l'Europe orientale, rendant obligatoire l'isolation de ces lignes en tant que mesure urgente pour la conservation de ces populations (Angelov *et al.*, 2012).

Tous ces éléments mettent en évidence la nécessité d'isoler de toute urgence les lignes électriques identifiées dans le cadre de ce travail, étant donné que les valeurs enregistrées lors de cette étude (en comparaison avec d'autres travaux), concernant la mortalité des oiseaux attribuable aux lignes électriques, démontrent que les indices de mortalité des rapaces par pylône pourraient figurer parmi les plus élevés enregistrés jusqu'à présent en Méditerranée. Tant que de telles mesures ne seront pas mises en œuvre, les électrocutions continueront de se produire, avec une forte incidence à l'issue de périodes de précipitations. Étant donné qu'il s'agit d'une zone très attractive pour les rapaces en raison de la densité des proies et compte tenu de l'absence de perchoirs naturels, ces oiseaux sont contraints d'utiliser les pylônes des lignes électriques pour s'y poser et s'y reposer (Figure 16), avec un risque d'électrocution très élevé. Tant que les éléments dangereux ne seront pas isolés, la région restera un piège pour ces populations, empêchant notamment une recolonisation potentielle de l'aigle ibérique au Maroc par l'intermédiaire d'une nouvelle population créée dans le sud de l'Espagne et grâce à la croissance de la population ibérique (Morandini *et al.*, 2016). En fait, la présente étude a permis de constater que le Maroc n'abrite pas seulement des individus juvéniles non reproducteurs ; en effet, l'un des contacts établis lors de l'expédition a par la suite localisé dans la zone d'étude le cadavre d'un aigle ibérique âgé de trois ans (H. Kharraz, commentaire personnel 2016) (Figure 17), âge auquel les aigles se reproduisent déjà dans les zones de recolonisation (García et Garrido, 2015), ce qui pourrait aussi être le cas de cet endroit.

INDICE DE DANGEROUSITÉ PAR PYLÔNE (IPAp)

L'électrocution d'un oiseau sur un pylône électrique se produit quand celui-ci touche simultanément deux conducteurs ou bien un conducteur et un élément relié à la terre (Bevanger, 1994 ; Ferrer, 2012) ; ainsi, la conception du pylône détermine sa dangerosité pour les oiseaux (Ferrer *et al.*, 1991 ; Tintó *et al.* 2010 ; Guil *et al.*, 2011, Ferrer, 2012). En se basant sur la dangerosité potentielle des différentes conceptions de pylônes, plusieurs manuels et recommandations ont été élaborés pour évaluer ou identifier la dangerosité de pylônes spécifiques (Ferrer, 1996 ; Guzmán et Castaño, 1998 ; Garrido et Martín, 2015 ; SIECE, 2015).

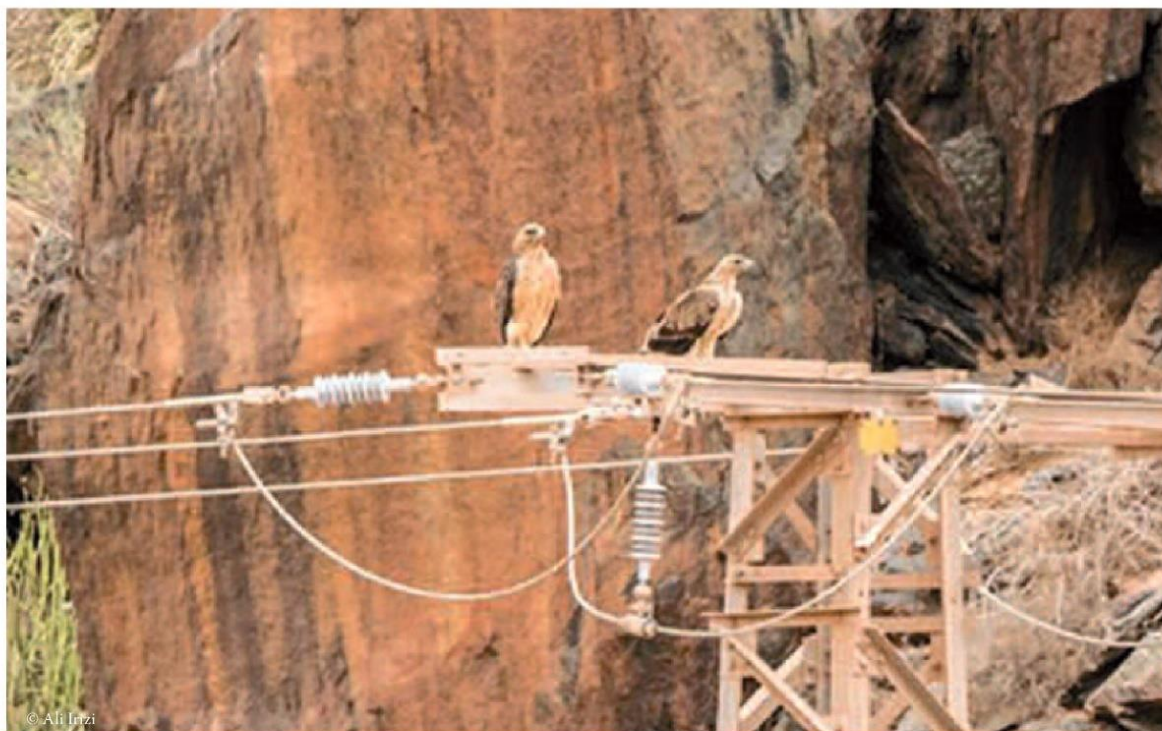


Figura 16. Dos jóvenes de águila imperial ibérica posados en un apoyo en la zona de estudio.
Figure 16. Deux jeunes aigles ibériques perchés sur un pylône situé dans la zone d'étude.



Figura 17. Águila imperial de tres años de edad encontrada electrocutada en la zona de estudio el 5 de marzo de 2016 por H. Kharraz.
Figure 17. Aigle ibérique âgé de trois ans, retrouvé électrocuté dans la zone d'étude le 5 mars 2016 par H. Kharraz.

cruceta (Figura 18) como por "defecación desafortunada", cuando al posarse en la parte superior de la cruceta las heces semilíquidas hacen de línea de conexión entre el apoyo donde se encuentra el ave y un conductor situado en una posición inferior a una distancia aparentemente segura, produciéndose la electrocución (Garrido y Martín, 2015) (Figura 19). La electrocución en ambos casos es difícil, pero en situaciones como las de la zona de estudio, con una densidad de rapaces tan alta y con los apoyos como únicos posaderos posibles, hacen que lo improbable se vuelva posible y este tipo de poste haya producido la muerte de 21 aves al ser el diseño más frecuente, incluyendo varias águilas-azores perdiceras.

Como situación novedosa no descrita con anterioridad se ha detectado un diseño de apoyo desconocido hasta la fecha en otras áreas y que cuenta con el más alto IPAp de este estudio. Se trata de apoyos con cruceta en bóveda y aisladores suspendidos pero con el vértice del vástago por encima de la base de la cruceta, dejando el hilo central muy cerca del cuerpo de una rapaz posada en ese punto, de modo que se incrementa nota-

Sur les 20 types de pylônes différents identifiés lors de cette étude, des électrocutions se sont produites sur 11 d'entre eux (Tableau 4). L'IPAp (« Índice de Peligrosidad por Apoyo », en espagnol) le plus élevé, comme cela a déjà été étudié (Ferrer, 2012 ; Garrido et Martín, 2015), est enregistré sur les pylônes dotés de conducteurs avec chaîne d'ancrage et de configuration horizontale ou en forme de voûte, et sur les pylônes comportant des éléments sous tension au-dessus de la traverse, de telle manière que le contact simultané avec deux conducteurs ou bien avec un conducteur et la structure en métal du pylône peut très facilement se produire (voir Tableau 4 et Annexe photographique pour identifier les différents types de pylônes). Néanmoins, il convient de souligner que même les pylônes dont le risque est jugé faible, tels que ceux en forme de voûte avec des isolateurs suspendus (type P-02), ont provoqué l'électrocution du plus grand nombre d'individus, malgré leur faible IPAp (Tableau 4). Sur ces pylônes, l'électrocution se produit soit lorsque l'oiseau entre en contact avec les conducteurs et le métal de la traverse quand il se pose sur l'élément central de la traverse (Figure 18), soit par « défécation malencontreuse » lorsque l'oiseau se pose sur la

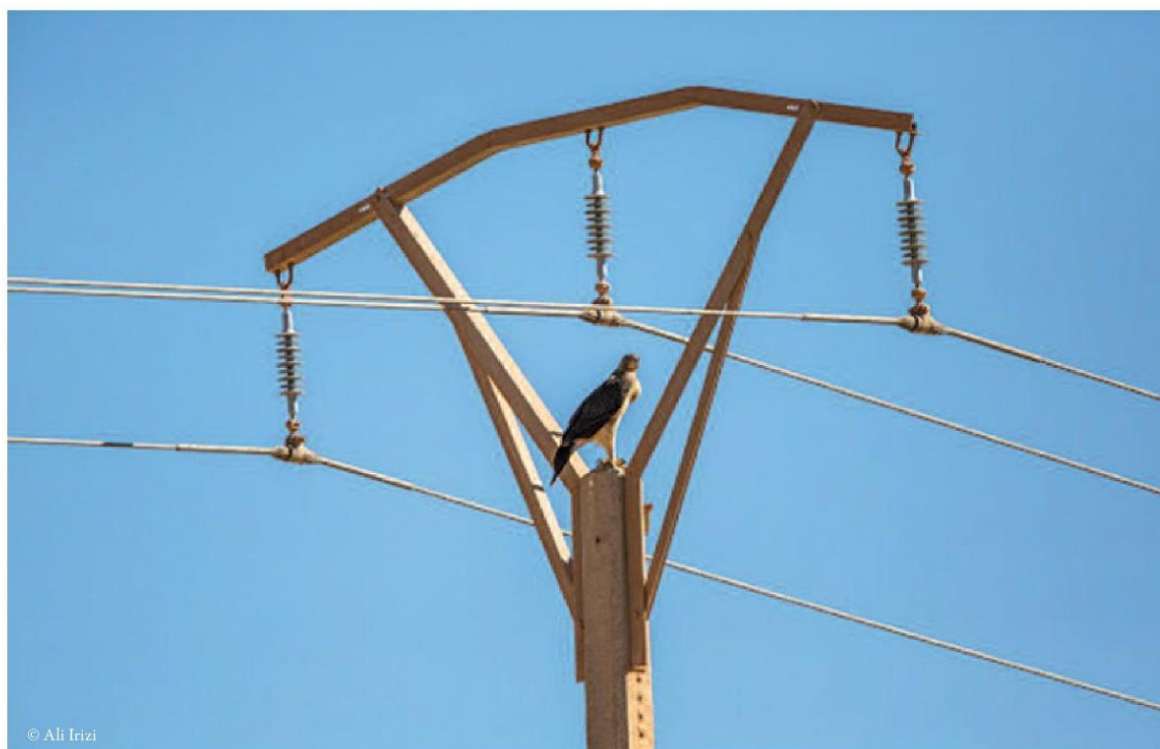


Figura 18. Águila-azor perdicera adulta posada en un apoyo con diseño P-02 en la zona de estudio. Existe un cierto riesgo de electrocución en el momento de posarse o elevar el vuelo en la zona central de la cruceta al tocar los conductores y el metal, si bien un poste de hormigón minimiza el riesgo respecto a una estructura metálica.

Figure 18. Aigle de Bonelli adulte perché sur un pylône de conception P-02 dans la zone d'étude. Il existe un certain risque d'électrocution au moment où l'oiseau se pose ou prend son envol dans la partie centrale de la traverse, celui-ci pouvant entrer en contact avec les conducteurs et le métal, c'est pourquoi les poteaux en béton présentent un risque moindre par rapport aux structures métalliques.

blemente el riesgo de contacto entre conductor y metal produciendo la electrocución. Este tipo de apoyo, denominado en este informe P-02 a), ha producido la muerte de tres de las cuatro águilas imperiales ibéricas localizadas (tres en el mismo apoyo junto con un águila real) y nueve águilas perdiceras en tan sólo 13 apoyos (Tabla 4, Figura 20).

Es de destacar que apoyos de igual diseño —P-02 a), P-02 con derivación, P-15 en final de línea— han producido una mayor mortalidad en la zona de Líneas A-C que en las Líneas D-G, debido muy probablemente a la mayor concentración de aves rapaces en esta primera zona, como se ha citado anteriormente. Igualmente se ha detectado una cierta concentración en la mortalidad de las líneas A-C (Figura 6) en determinados tramos que puede corresponder a una mayor concentración de rapaces conjuntamente con una mayor presencia de apoyos más peligrosos. Varios autores (Mañosa, 2001; Tinó *et al.*, 2011; Guil *et al.*, 2011; Ferrer, 2012; Chevallier *et al.*, 2015) indican que las electrocuciones siguen un patrón y que no acontecen en base a procesos casuales, por lo que la detección de este patrón puede

parte superior de la travesa, las déjections semi-líquidas estableciendo una conexión entre el pylône (où se trouve l'oiseau) et un conducteur situé plus bas, à une distance apparemment sûre, ce qui provoque l'électrocution (Garrido et Martín, 2015) (Figure 19). Dans les deux cas, les électrocutions ne se produisent pas facilement mais dans les sites comme celui de la zone d'étude, où la densité des rapaces est si élevée et où les pylônes sont les seuls perchoirs envisageables, ce qui est improbable devient possible et ce type de pylône, dont la conception est la plus courante, a provoqué la mort de 21 oiseaux, dont plusieurs aigles de Bonelli.

Un nouveau paramètre, non documenté jusque-là, est l'identification d'un type de pylône dont la conception était inconnue dans d'autres régions et dont l'IPAp est le plus élevé dans le cadre de la présente étude. Il s'agit de pylônes ayant une traverse en forme de voûte et des isolateurs suspendus, mais dont le sommet du mât est situé au-dessus de la base de la tête du pylône et se termine par un support horizontal, réduisant ainsi la distance entre le conducteur central et le corps d'un rapace perché sur ce

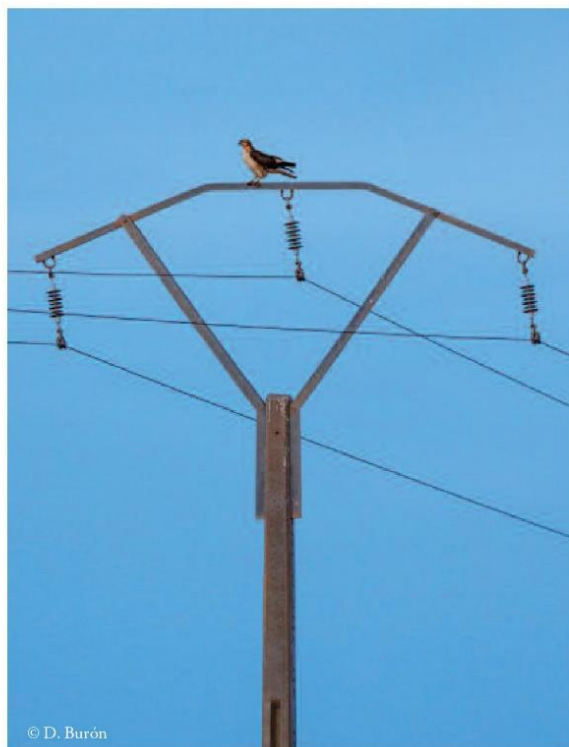


Figura 19. Ratonero moro posado sobre un apoyo tipo P-02 en la zona de estudio. Existe cierto riesgo de electrocución por "defecación desafortunada" (ver texto).

Figure 19. Buse féroce perchée sur un pylône de type P-02 dans la zone d'étude. Il existe un certain risque d'électrocution par « défécation malencontreuse » (voir texte).



Figura 20. Apoyo tipo P-02 a), una variante del apoyo de bóveda con la parte superior del poste muy cercana al conductor central. Presente principalmente en la Línea A, presenta el mayor índice de peligrosidad por tipo de apoyo.

Figure 20. Pylône de type P-02 a), variante du pylône en forme de voûte mais dont la partie supérieure du poteau est très proche du conducteur central. Figurant actuellement sur la Ligne A, il présente l'indice de dangerosité par type de pylône (IPAp) le plus élevé.

Tabla 4. Valores del índice de peligrosidad por apoyo en el total de las líneas eléctricas (fondo gris) y solo para las líneas A, A1, A2, B y C (fondo blanco). Los tipos de apoyo siguen la nomenclatura propuesta por Ferrer (1996). El anexo fotográfico incluye, entre otras, imágenes de estos diseños.

TIPO DE APOYO	TODAS LAS LÍNEAS			LÍNEAS A-A1-A2-B-C		
	NÚMERO DE APOYOS	NÚMERO DE AVES MUERTAS	AVES/APOYO	NÚMERO DE APOYOS	NÚMERO DE AVES MUERTAS	AVES/APOYO
P-02 a)	13	14	1,077	12	14	1,167
P-16 fin de línea con seccionador tripolar en cabecera del poste y transformador en vástago	2	2	1,000	2	2	1,000
P-11 + P-16	1	1	1,000	1	1	1,000
P-15 fin de línea con seccionador tripolar en vástago del poste. Puentes inferiores	4	3	0,750	2	3	1,500
P-02 con derivación	7	5	0,714	3	5	1,667
P-03	3	2	0,667	3	2	0,667
P-10 con pórtico	16	6	0,375	11	6	0,545
P-16	9	2	0,222	4	1	0,250
P-10	82	13	0,159	28	7	0,250
P-09	20	2	0,100	18	2	0,111
P-02	225	20	0,089	104	15	0,144
P-03 con pórtico	1	0	0,000	1	0	0,000
P-10 con transformador	1	0	0,000	0	0	—
P-10 transformador fin de línea	1	0	0,000	0	0	—
P-11 con derivación	1	0	0,000	0	0	—
P-08	1	0	0,000	1	0	0,000
no catalogado	14	0	0,000	7	0	0,000
P-08 montaje vertical con derivación. Un conjunto de puentes inferiores y otro horizontales	1	0	0,000	0	0	—
P-11	1	0	0,000	1	0	0,000
TOTAL	403	70	0,174	198	58	0,293

Tableau 4. Valeurs de l'indice de dangerosité par type de pylône (IPAp) sur toutes les lignes électriques (fond gris) et uniquement sur les Lignes A, A1, A2, B et C (fond blanc). Les types de pylônes suivent la nomenclature proposée par Ferrer (1996). L'annexe photographique comprend notamment des images de ces différents types de conception.

TYPE DE PYLÔNE	ENSEMBLE DES LIGNES			LIGNES A-A1-A2-B-C		
	NOMBRE DE PYLÔNES	NOMBRE D'OISEAUX MORTS	OISEAU(x)/ PYLÔNE	NOMBRE DE PYLÔNES	NOMBRE D'OISEAUX MORTS	OISEAU(x)/ PYLÔNE
P-02 a)	13	14	1,077	12	14	1,167
P-16, fin de ligne avec sectionneur tripolaire au sommet du pylône et transformateur sur le mât	2	2	1,000	2	2	1,000
P-11 + P-16	1	1	1,000	1	1	1,000
P-15, fin de ligne avec sectionneur tripolaire sur le mât du pylône. Câbles de liaison suspendus	4	3	0,750	2	3	1,500
P-02 avec dérivation	7	5	0,714	3	5	1,667
P-03	3	2	0,667	3	2	0,667
P-10 avec portique	16	6	0,375	11	6	0,545
P-16	9	2	0,222	4	1	0,250
P-10	82	13	0,159	28	7	0,250
P-09	20	2	0,100	18	2	0,111
P-02	225	20	0,089	104	15	0,144
P-03 avec portique	1	0	0,000	1	0	0,000
P-10 avec transformateur	1	0	0,000	0	0	—
P-10, transformateur en fin de ligne	1	0	0,000	0	0	—
P-11 avec dérivation	1	0	0,000	0	0	—
P-08	1	0	0,000	1	0	0,000
Non répertorié	14	0	0,000	7	0	0,000
P-08, configuration verticale avec dérivation. Ensemble de câbles de liaison, certains suspendus et d'autres horizontaux	1	0	0,000	0	0	—
P-11	1	0	0,000	1	0	0,000
TOTAL	403	70	0,174	198	58	0,293

ser una herramienta básica en el momento de diseñar e implantar medidas correctoras. En cualquier caso, y hasta detectar dicho patrón, al menos los apoyos de todas las líneas en las que se han detectado y se detecten electrocuciones y todos aquellos con un diseño con un IAPa superior a 0,1 indicados en la Tabla 4 deberían contar con aislamiento de los conductores como se sugiere en la Figura 21, debiendo priorizar por las líneas A, B y C.

support, ce qui accroît considérablement le risque de contact entre le conducteur et le métal, provoquant l'électrocution. Ce type de pylône, dénommé P-02 a) pour les besoins de ce rapport, a provoqué la mort de trois aigles ibériques sur les quatre retrouvés (trois sur le même pylône, juste à côté d'un aigle royal) et de neuf aigles de Bonelli, sur seulement 13 pylônes (Tableau 4, Figure 20).

Il convient de souligner que les pylônes de conception semblable (P-02 a), P-02 avec dérivation, P-15 en fin de ligne) ont provoqué une plus grande mortalité dans la zone des Lignes A-C que sur les Lignes D-G, très probablement en raison de la plus forte concentration de rapaces dans cette première zone, comme déjà mentionné. De même, une certaine concentration de la mortalité a été détectée sur les Lignes A-C (Figure 6), sur des tronçons déterminés pouvant correspondre à une plus forte concentration de rapaces ainsi qu'à une plus grande présence de pylônes plus dangereux. Plusieurs auteurs (Mañosa, 2001 ; Tinó *et al.*, 2011 ; Guil *et al.*, 2011 ; Ferrer, 2012 ; Chevallier *et al.*, 2015) indiquent que les électrocutions obéissent à des critères précis et ne se produisent donc pas de manière aléatoire ; ainsi, l'identification de ces critères peut être un outil de base pour la conception et la mise en place de mesures correctives. Quoiqu'il en soit, en attendant d'identifier ces critères, il est nécessaire d'isoler les conducteurs (selon les exemples suggérés à la Figure 21), au moins sur les pylônes de toutes les lignes sur lesquelles des électrocutions ont été détectées (et le sont encore), ainsi que sur tous les types de pylônes ayant un IAPa supérieur à 0,1 (voir Tableau 4), en traitant en priorité les Lignes A, B et C.



Figura 21. Ejemplo de aislamientos de conductores para prevenir la electrocución de aves en apoyos del tendido eléctrico utilizados en Andalucía.

Figure 21. Exemple de systèmes d'isolation des conducteurs visant à empêcher l'électrocution des oiseaux sur les pylônes électriques, utilisés en Andalousie.

Conclusiones y recomendaciones

- Los resultados obtenidos en el presente estudio confirman por primera vez la presencia de la electrocución en tendidos eléctricos como una grave amenaza para la conservación de las poblaciones de rapaces en el Norte de África, al menos de forma no aislada y con un elevado impacto en poblaciones no sólo de Marruecos, sino también de la Península ibérica, algunas de ellas muy amenazadas como el águila imperial ibérica.
- El punto negro de mortalidad por electrocución se localiza en el sudoeste de Marruecos, en la región de Guelmim-Oued Noun, entre las localidades de Guelmim y Tan-Tan, habiéndose observado 70 aves electrocutadas, fundamentalmente jóvenes, de siete especies en 403 apoyos del tendido eléctrico: 4 cigüeñas blancas, 4 águilas imperiales ibéricas, 5 águilas reales, 40 águilas-azor perdiceras, 12 busardos moros, 4 halcones borní y 1 búho desértico.
- La alta incidencia de la electrocución se debe a que esta región, en especial la que rodea al valle del Oued Boussafane, constituye un área de dispersión y asentamiento temporal de poblaciones no adultas de grandes y pequeñas rapaces, incluida en una zona mayor que comprendería el área entre Sidi Ifni, Guelmim y bajo Drâa. La zona se caracteriza por una alta abundancia de presas, falta de posaderos naturales y alta densidad de apoyos de tendidos eléctricos.
- La importancia para la conservación de esta zona es de carácter internacional dada la presencia de varias águilas imperiales ibéricas, una especie catalogada como "Vulnerable", al menos desde principios del siglo XXI. Existe además una importante población juvenil de águila-azor perdicera con procedencia tanto magrebí como ibérica.
- La mortalidad por electrocución en esta zona alcanza valores similares a los que produjeron el declive de las poblaciones reproductoras de grandes rapaces en otras regiones y puede estar afectando a la dinámica poblacional

Conclusions et recommandations

- Les résultats obtenus dans le cadre de la présente étude confirment pour la première fois que les électrocutions survenant sur les lignes électriques représentent une grave menace pour la conservation des populations de rapaces en Afrique du Nord, du moins de manière non isolée et avec un impact élevé sur les populations originaires non seulement du Maroc mais aussi de la péninsule Ibérique, certaines d'entre elles étant très menacées à l'instar de l'aigle ibérique.
- Le point noir de la mortalité par électrocution se situe au sud-ouest du Maroc, dans la région de Guelmim-Oued Noun, entre les localités de Guelmim et de Tan-Tan. Dans cette zone, 70 oiseaux électrocutés (en majorité des jeunes) appartenant à sept espèces différentes ont été retrouvés sur 403 pylônes électriques : 4 cigognes blanches, 4 aigles ibériques, 5 aigles royaux, 40 aigles de Bonelli, 12 buses féroces, 4 faucons laniers et 1 grand-duc du désert.
- Le nombre élevé des cas d'électrocution s'explique par le fait que cette région, en particulier autour de la vallée de l'Oued Boussafane, constitue une aire de dispersion et d'établissement temporaire pour les populations de grands et petits rapaces non adultes, incluse dans une zone plus vaste couvrant le territoire situé entre les villes de Sidi Ifni et Guelmim et le secteur en aval de l'Oued Drâa. La zone se caractérise par une grande abondance de proies, l'absence de perchoirs naturels et une forte densité de pylônes électriques.
- L'importance de la conservation de cette zone revêt une dimension internationale en raison de la présence de plusieurs aigles ibériques, une espèce classée « Vulnérable », au moins depuis le début du XXI^e siècle. En outre, il existe une importante population juvénile d'aigles de Bonelli, originaires du Maghreb et de la péninsule Ibérique.
- Dans cette zone, la mortalité par électrocution atteint des valeurs similaires à celles associées au déclin des popula-

y conservación de las poblaciones no solo marroquíes, sino también europeas de águila imperial ibérica y águila-azor perdicera.

- Se han detectado 20 tipos de diseño de apoyos diferentes. En 11 de estos se ha producido alguna electrocución, especialmente en aquellos con conductores en cadena de amarre y montaje en horizontal o bóveda y aquellos que tienen elementos en tensión por encima de la cruceta. Además se han detectado diseños de apoyos hasta la fecha sólo encontrados en Marruecos, muy peligrosos para las grandes rapaces.
- Los resultados obtenidos permiten recomendar el aislamiento urgente de los tendidos identificados en este trabajo dado que los valores registrados en este estudio, comparados con otros trabajos sobre mortalidad de aves en líneas eléctricas, muestran lo que podría ser uno de los mayores índices de mortalidad de aves rapaces por apoyos registrado hasta la actualidad en el Mediterráneo. Al menos los apoyos de todas las líneas en las que se han detectado y se detecten electrocuciones y todos aquellos con un diseño con un índice de peligrosidad por apoyo superior a 0,1, indicados en la Tabla 4 del presente informe, deberían contar con aislamiento de los conductores, debiendo priorizar por las líneas denominadas A, A1, A2, B, B1, B2 y C.
- Se recomienda realizar una revisión semestral o anual de las líneas y apoyos identificados en este estudio, con especial prioridad a las líneas A, A1, A2, B, B1, B2 y C, con el objetivo de monitorizar la mortalidad a medio-largo plazo y ampliar la información actual para optimizar las futuras correcciones de estos apoyos.
- Ante la gravedad de esta amenaza que puede estar limitando en Marruecos las poblaciones de rapaces amenazadas tanto del país como de Europa, se recomienda la búsqueda de apoyos peligrosos en zonas limítrofes a las líneas A y B, especialmente la continuidad del muestreo en la línea B en dirección norte. Además, sería recomendable la prospección de otras posibles zonas peligrosas por todo el país mediante equipos de caracterización de tendidos debidamente preparados.
- Con el objeto de optimizar los recursos económicos, técnicas y metodologías para la corrección de apoyos en líneas eléctricas en Marruecos, se debe fomentar el intercambio de experiencias entre administraciones públicas de ambos países, entidades de conservación de la naturaleza y compañías eléctricas marroquíes y españolas con contrastada experiencia en la materia.

tions reproductrices de grands rapaces dans d'autres régions, et elle peut affecter la dynamique et la conservation des populations d'aigles ibériques et d'aigles de Bonelli non seulement marocaines mais aussi européennes.

- Vingt types de pylônes de conception différente ont été détectés. Sur ces 20 types, 11 ont provoqué des électrocutions, en particulier les pylônes dotés de conducteurs avec chaîne d'ancrage et de configuration horizontale ou en forme de voûte, ainsi que les pylônes comportant des éléments sous tension au-dessus de la traverse. De plus, parmi les types de pylônes identifiés, certains n'ont été observés qu'au Maroc (du moins jusqu'à présent) et leur conception est très dangereuse pour les grands rapaces.
- Les résultats obtenus permettent de recommander de toute urgence l'isolation des lignes électriques identifiées dans le cadre de ce travail, étant donné que les valeurs enregistrées lors de cette étude (en comparaison avec d'autres travaux), concernant la mortalité des oiseaux attribuable aux lignes électriques, démontrent que les indices de mortalité des rapaces par pylône pourraient figurer parmi les plus élevés enregistrés jusqu'à présent en Méditerranée. Il est nécessaire d'isoler les conducteurs au moins sur les pylônes de toutes les lignes sur lesquelles des électrocutions ont été détectées (et le sont encore), ainsi que sur tous les types de pylônes ayant un indice de dangerosité par type de pylône (IPAp) supérieur à 0,1 (voir Tableau 4), en traitant en priorité les Lignes A, A1, A2, B, B1, B2 et C.
- Il est recommandé de passer en revue, tous les semestres ou tous les ans, l'ensemble des lignes et des pylônes identifiés dans le cadre de la présente étude, en accordant la priorité aux Lignes A, A1, A2, B, B1, B2 et C, ceci afin de surveiller la mortalité à moyen et long terme, et de fournir davantage d'informations actualisées en vue d'optimiser les futures mesures correctives concernant ces pylônes.
- Face à la gravité de cette menace qui est peut-être en train de limiter les populations de rapaces menacés au Maroc, originaires non seulement de ce pays mais aussi d'Europe, il est recommandé de rechercher les pylônes dangereux situés dans les zones adjacentes aux Lignes A et B, en particulier en poursuivant l'échantillonnage de la Ligne B en direction du nord. De plus, il serait souhaitable de prospecter les autres zones potentiellement dangereuses dans l'ensemble du pays, grâce à des équipes dûment préparées et chargées d'identifier les caractéristiques des lignes.
- Afin d'optimiser les ressources économiques, les techniques et les méthodologies pour la mise en place de mesures correctives concernant les pylônes des lignes électriques au Maroc, il est nécessaire d'encourager l'échange d'expériences entre les administrations publiques des pays concernés, les organisations dédiées à la conservation de la nature et les compagnies d'électricité au Maroc et en Espagne, dont l'expérience est contrastée en la matière.

Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas y entidades que han colaborado y apoyado este primer seguimiento de líneas eléctricas en Marruecos. En primer lugar agradecer al Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) del Reino de Marruecos por las autorizaciones para poder realizar este muestreo y en especial al Sr. M. Irizi, Director Regional en Guelmim de esta entidad estatal. Igualmente agradecer al Dr. M. Dakki, Presidente del Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc (GREPOM/BirdLife Morocco), su colaboración y apoyo para la realización de este trabajo. A Brahim Bakass por su ayuda en los itinerarios recorridos. Al Plan de Recuperación del Águila Imperial Ibérica de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía y la Estación Biológica de Doñana del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, cuyo trabajo en la reintroducción de la especie en Andalucía y el marcaje con emisores satélite permitió detectar este punto negro de mortalidad y poner de manifiesto la gravedad del problema en el país. En este sentido, Virginia Morandini, de la EBD-CSIC, compartió en tiempo real la información de las localizaciones de los individuos marcados a su paso por Marruecos. A. A. Errati y H. Loran que ayudaron a Ali Irizi durante la localización en un primer momento del punto de electrocución del águila imperial ibérica marcada con emisor satélite. A. H. Kharraz por su hospitalidad y la localización del águila imperial ibérica reproductora con posterioridad a la expedición. J.R. Garrido, D. Burón y C. Machado financiaron parte del muestreo. Y finalmente, agradecer muy especialmente el permanente apoyo e impulso recibido desde el Centro de Cooperación del Mediterráneo de IUCN, y en especial de su director Sr. A. Troya.

Este trabajo ha sido posible gracias a la financiación de la fundación MAVA.

Remerciements

Nous remercions sincèrement toutes les personnes et entités qui ont participé et apporté leur soutien à cette première mission de suivi des lignes électriques au Maroc. En premier lieu, nous adressons nos remerciements au Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification (HCEFLCD) du Royaume du Maroc, pour les autorisations délivrées afin de permettre la réalisation de cet échantillonnage, et en particulier M. Irizi, directeur régional à Guelmim auprès de cette entité étatique. De même, nous remercions le D^r M. Dakki, président du Groupe de Recherche pour la Protection des Oiseaux au Maroc (GREPOM/BirdLife Morocco), pour sa collaboration et son soutien dans le cadre de ce travail. Merci à Brahim Bakass pour son aide lors des itinéraires parcourus. Merci au Plan de restauration de l'aigle ibérique du ministère régional de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire (CMAyOT) de la Junta de Andalucía, et à la Station biologique de Doñana rattachée au Conseil supérieur de recherche scientifique (EBD-CSIC), dont le travail en matière de réintroduction de l'espèce en Andalousie et de balisage à l'aide d'émetteurs par satellite a permis de détecter ce point noir de mortalité et de mettre en évidence la gravité du problème dans le pays. Dans ce cadre, Virginia Morandini (EBD-CSIC) a partagé en temps réel les informations de localisation des individus suivis, lors de leur passage au Maroc. Nous remercions A. Errati et H. Loran qui ont aidé Ali Irizi à identifier, dans un premier temps, le lieu de l'électrocution de l'aigle ibérique porteur d'un émetteur par satellite. Merci également à H. Kharraz pour son hospitalité et pour avoir localisé le cadavre d'un aigle ibérique reproducteur une fois l'expédition terminée. Nous remercions J.R. Garrido, D. Burón et C. Machado pour avoir financé une partie de l'échantillonnage. Enfin, nous sommes particulièrement reconnaissants envers le Centre de Coopération pour la Méditerranée de l'IUCN, et en particulier son directeur, M. A. Troya, pour son soutien permanent et l'impulsion donnée à cette mission.

La réalisation de ce travail a été possible grâce à la financement de la fondation MAVA.

Bibliografía

Bibliographie

- Angelov, I., Hashim, I. y Oppel, S. (2012). Persistent electrocution mortality of Egyptian Vultures *Neophron percnopterus* over 28 years in East Africa. *Bird Conservation International*: 1-6.
- Arroyo, B. y Ferreiro, E. (1999). *European Union Species Action Plan for Bonelli's Eagle (Hieraetus fasciatus)*. The European Commission and Bird Life International, Brussels, Belgium. http://ec.europa.eu/environment/nature/conservation/wildbirds/action_plans/docs/hieraetus_fasciatus.pdf
- Amezian, M., Irizi, A., Errati, A., Loran, H., El Khamlichi, R., Morandini, V., González, D.G. y Garrido, J.R. (2015). Spanish Imperial Eagles and other eagles found electrocuted in Morocco and proposition of correction measures.figshare. <http://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.1613292>
- Benson, P.C. (1981). *Large raptor electrocution and power pole utilization: a study in six western states*. Ph.D. Dissertation, Brigham Young University, Provo, UT, USA.
- Bevanger, K. (1998). Biological and conservation aspects of bird mortality caused by electricity power lines: a review. *Biological Conservation* 86: 67-76.
- Bevanger, K. (1999). Estimación de mortalidad de aves provocada por colisión y electrocución en líneas eléctricas; una revisión de la metodología (31-60 pp.). In: Ferrer, M. y G.F.E. Janss (Eds.), *Aves y Líneas Eléctricas. Colisión, Electrocción y Nidificación*. Quercus. Madrid.
- BirdLife International. 2015. *The IUCN Red List of Threatened Species 2015*: <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2015-4.RLTS.T22696060A80364370.en>. Downloaded on **01 March 2016**.
- Boshoff, A.F., Minnie, J.C., Tambling, C.J. y Michael, M.D. (2011). The impact of power line-related mortality on the Cape Vulture *Gyps coprotheres* in a part of its range, with an emphasis on electrocution. *Bird Conservation International* 21: 311-327.
- Chevallier, C., Hernández-Matías, A., Real, J., Vincent-Martin, N., Ravayrol, A. y Besnard, A. (2015). Retrofitting of power lines effectively reduces mortality by electrocution in large birds: an example with the endangered Bonelli's eagle. *Journal of Applied Ecology* doi: 10.1111/1365-2664.12476
- Donázar, J.A., Palacios, C.J., Gangoso, L., Ceballos, O., González, M.J. e Hiraldo, F. (2002). Conservation status and limiting factors in the endangered population of Egyptian Vulture (*Neophron percnopterus*) in the Canary Islands. *Biological Conservation* 107: 89-98.
- Dwyer, J.F. (2004). *Investigating and mitigating raptor electrocution in an urban environment*. M.S. Thesis, University of Arizona, Tucson, AZ, USA. <http://filebox.vt.edu/users/jfdwyer/Webpage/>
- El Agbani, M.A. y Qninba, A. (2011). *Les oiseaux d'intérêt patrimonial au Maroc*. Publications du GREPOM n° 3, 2011.
- Ferrer, M., De La Riva, M. y Castroviejo, J. (1991). Electrocution of raptors on power lines in Southern Spain. *Journal of Field Ornithology* 62: 54-69.
- Ferrer, M. (1996). *Análisis de impactos de líneas eléctricas sobre avifauna en espacios naturales protegidos. Manual para la valoración de riesgos y soluciones*. Sevillana ENDESA, Iberdrola y Red Eléctrica Española.
- Ferrer, M. (2012). Aves y tendidos eléctricos. *Del conflicto a la solución*. ENDESA S.A., Madrid, y Fundación Migres, Cádiz, 187 pp.
- Flint, P.L., Lance, E.W., Sowl, K.M. and Donnelly, T.F. (2010). Estimating carcass persistence and scavenging bias in a human-influenced landscape in western Alaska. *Journal of Field Ornithology* 81: 206-214.
- García, D. y Garrido, J.R. (2015). *Informe sobre el seguimiento de la población de águila imperial ibérica en 2013. Plan de Recuperación del águila imperial ibérica (Aquila adalberti) en Andalucía*. Unpublished report. Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Junta de Andalucía.

- Garrido, J.R. (2003). *Plan de Actuación para la Aplicación de Medidas Correctoras en Tendidos Eléctricos de Baja y Media Tensión para la Avifauna*. Tragsa, Huelva, [online] https://www.academia.edu/1629641/Plan_de_actuaci%C3%B3n_para_la_aplicaci%C3%B3n_de_medidas_correctoras_en_tendidos_el%C3%A9ctricos_de_baja_y_media_tensi%C3%B3n_para_la_avifauna._Huelva
- Garrido, J.R. y Martín, J. (2015). Identificación de tendidos eléctricos peligrosos. In: Fajardo, I.; Martín, J.; Ruiz, A. (Coord.), 2015. *Manual de protección legal de la biodiversidad para agentes de la autoridad ambiental en Andalucía*. 3ª edición corregida y aumentada, pp. 272-295. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- González, L.M., Margalida, A., Mañosa, S., Sánchez, R., Oria, J., Molina, J.L., Caldera, J., Aranda, A. y Prada, L. (2007). Causes and spatio-temporal variations of non-natural mortality in the Vulnerable Spanish imperial eagle (*Aquila adalberti*) during a recovery period. *Oryx* 41: 495-502.
- García Matarranz, V. (2013). *Guía de identificación de rapaces ibéricas por restos óseos (1ª parte, grandes rapaces)*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Grande, J.M., Serrano, D., Tavecchia, G., Carrete, M., Ceballos, O., Tella, J.L. y Donazar, J.A. (2009). Survival in a long-lived territorial migrant: effects of life-history traits and ecological conditions in wintering and breeding areas. *Oikos* 118: 580-590.
- Guil, F., Fernández-Olalla, M., Moreno-Opo, R., Mosqueda, I., Gómez, M.E., Aranda, A., Arredondo, A., Guzmán, J., Oria, J., González, L.M. y Margalida, A. (2011). Minimising mortality in endangered raptors due to power lines: the importance of spatial aggregation to optimize the application of mitigation measures. *PLoS One* 6: e28212.
- Guzmán, J. y Castaño, J.P. (1998). Electrocutación de rapaces en líneas eléctricas de distribución en Sierra Morena oriental y Campo de Montiel. *Ardeola* 45: 161-169.
- Harnees, R.E., Juvvadi, P.R. y Dwyer, J.D. (2013). Avian electrocutions in Western Rajasthan, India. *Journal of Raptor Research* 47(4): 352-364.
- Hernández-Matías, A., Real, J., Parés, F. y Pradel, R. (2015). Electrocutation threatens the viability of populations of the endangered Bonelli's eagle (*Aquila fasciata*) in Southern Europe. *Biological Conservation* 191: 110-116. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2015.06.028>
- Iglesias, J.J. y Álvarez, E. (2016). Sorprendentes águilas perdiceras: dos ejemplares cruzaron el Estrecho. *Quercus* 361: 30-33.
- Janss, G.F.E. (2000). Avian mortality from power lines: a morphologic approach of a specie-specific mortality. *Biological Conservation* 95: 335-359.
- Janss, G.F.E. y Ferrer, M. (1998). Rate of bird collision with power lines: effects of conductor- marking and static wire marking. *Journal of Field Ornithology* 69: 8-17.
- Janss, G.F.E. y Ferrer, M. (1999). Avian electrocution on power poles: European experiences. In: Ferrer, M., Janss, G.F.E. (Eds.), *Birds and Power Lines: Collision, Electrocution, and Breeding*. Quercus, Madrid, Spain, pp. 145-164.
- Janss, G.F.E. y Ferrer, M. (2000). Common crane and great bustard collision with power lines: collision rate and risk exposure. *Wildlife Society Bulletin* 28: 675-680.
- Janss, G.F.E. y Ferrer, M. (2001). Avian electrocution mortality in relation to pole design and adjacent habitat in Spain. *Bird Conservation International* 11: 3-12.
- Kruger, R. (1999). *Towards solving raptor electrocutions on Eskom distribution structures in South Africa*. Mini-Thesis. Univ. Orange Free State, Bloemfontein, South Africa.
- Lehman, R.N., Kennedy, P.L. y Savidge, J.A. (2007). The estate of the art in raptor electrocution research: a global review. *Biological Conservation*, 126: 159-174.
- Lesham, Y. (1985). Griffon vultures in Israel – electrocution and other reasons for a declining population. *Vulture News* 13, 14-20.
- Mañosa, S. (2001). Strategies to identify dangerous electricity pylons for birds. *Biodiversity and Conservation* 10: 1997-2010.
- Morandini V., Florencio, C., Garrido, J.R., de Diego, S., Muñoz, F., González, M., Torralvo, C. y Ferrer M. (2016). Águila imperial ibérica: recuperando espacio más allá de las fronteras. *Quercus* 361: 24-29.
- Nikolaus, G. (1984). Large numbers of birds killed by electric power line. *Scopus* 8: 42.
- Platt, C.M. (2005). *Patterns of raptor electrocution mortality on distribution power lines in southeast Alberta*. Thesis for the degree of Master of Science in Wildlife Ecology and Management of University of Alberta.
- Pérez-García, J.M., Botella, F. y Sánchez-Zapata, J.A. (2015). Modelos predictivos aplicados a la corrección y gestión del impacto de la electrocución en tendidos eléctricos sobre las aves. *Revista Catalana d'Ornitologia* 31: 61-83.
- Ponce, C., Alonso, J.C., Argandoña, G., García Fernández, A. y Carrasco, M. (2010). Carcass removal by scavengers and search accuracy affect bird mortality estimates at power lines. *Animal Conservation* 13: 603-612.
- Ramírez, J., Iglesias, J.J., González, M., de la Cruz, A. y Morandini, V. (2016). Lluvias torrenciales y roedores, detrás de la concentración de grandes águilas al sur de Marruecos. *Quercus* 361: 34-37.
- Real, J., Grande, J.M., Mañosa, S. y Sánchez Zapata, J.A. (2001). Causes of death in different areas for Bonelli's Eagle *Hieraetus fasciatus* in Spain. *Bird Study*, 48: 221-228.
- Real, J., y Mañosa, S. (1997). Demography and conservation of western European Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* populations. *Biological Conservation* 79: 59-66.

- Real, J., Mañosa, S., Cheylan, G., Bayle, P., Cugnasse, J.M., Sánchez-Zapata, J.A., Sánchez, M.A., Carmona, D., Martínez, J.E., Rico, L., Codina, J., del Amo, R. y Eguia, S. (1996). A preliminary demographic approach to the Bonelli's eagle *Hieraetus fasciatus* population decline in Spain and France. In: Meyburg, B-U., Chancellor, R.D. (Eds.), *Eagle Studies*. World Working Group on Birds of Prey and Owls, Berlin, Germany, pp. 523-528.
- SIECE (2015). *Manual para la Identificación de Tendidos Eléctricos Peligrosos*. Proyecto "Pon un tendido en tu punto de mira". Sociedad Ibérica para el Estudio y Conservación de los Ecosistemas (SIECE). www.objetivotendidos.blogspot.com
- Sergio, F., Marchesi, L. y Penteriani, V. (2004). Electrocutation alters the distribution and density of a top predator, the eagle owl *Bubo bubo*. *Journal of Applied Ecology* 41: 836-845.
- Tintó, A., Real, J. y Mañosa, S. (2010). Predicting and correcting electrocution of birds in Mediterranean areas. *Journal of Wildlife Management* 74(8): 1852-1862.

Anexo fotográfico
Annexe photographique

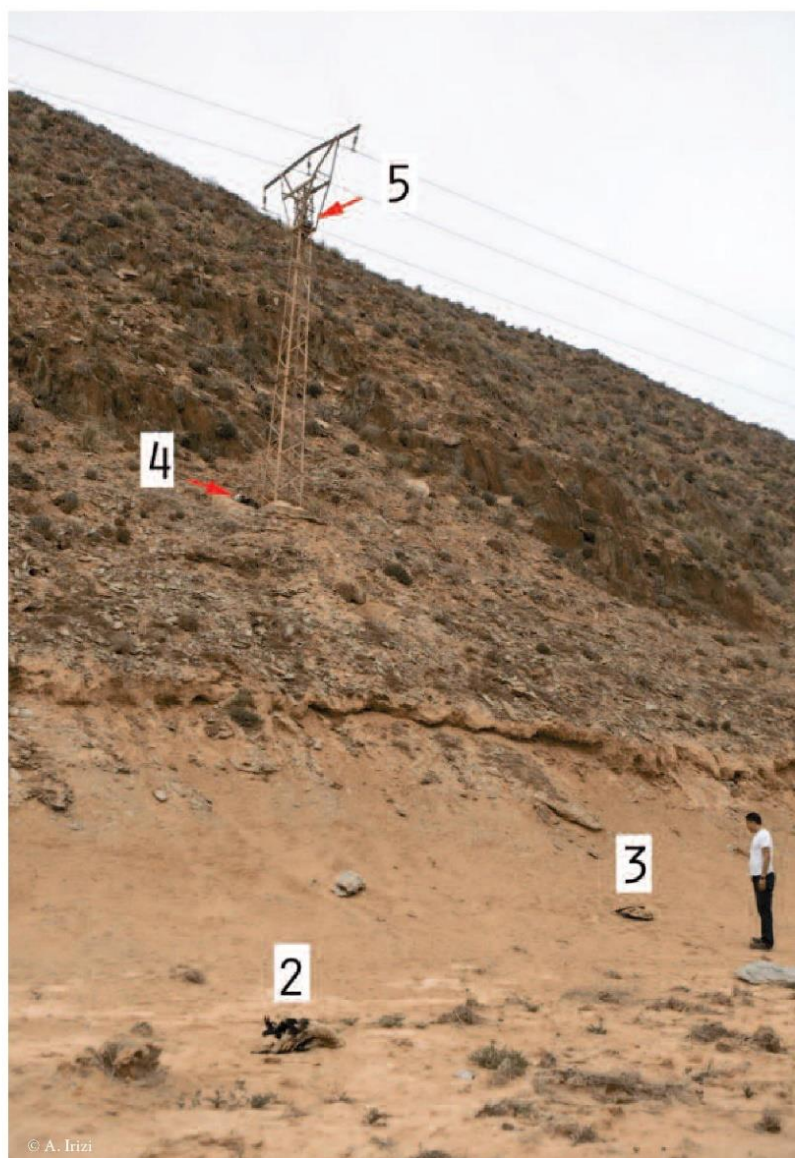


Figura 22. Restos de tres águilas imperiales Ibéricas (*Aquila adalberti*) (2, 3, 5) y un águila real (*Aquila chrysaetos*) (4) en la línea A en la primera visita en octubre de 2015 (Amezian *et al.*, 2015).

Figure 22. Restes de trois aigles ibériques (*Aquila adalberti*) (2, 3, 5) et d'un aigle royal (*Aquila chrysaetos*) (4) sur la Ligne A, lors de la première visite en octobre 2015 (Amezian *et al.*, 2015).



Figura 23. Restos óseos de águila imperial ibérica encontrados en la Línea B.
Figure 23. Ossements d'aigle ibérique retrouvés sur la Ligne B.



Figura 24. Cadáveres recientes de águila azor perdicera (*Aquila fasciata*) y de águila real (*Aquila chrysaetos*), ambos juveniles, en la Línea B2.
Figure 24. Cadavres récents d'un aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) et d'un aigle royal (*Aquila chrysaetos*), tous deux juvéniles, sur la Ligne B2.



Figura 25. Cadáveres recientes de 2 halcones bonín (*Falco tinnunculus*) en la Línea F1.
Figure 25. Cadavres récents de deux faucons laniers (*Falco tinnunculus*) sur la Ligne F1.



Figura 26. Conjunto de apoyos en la Línea A representativos de la mayor parte de tipos de apoyo localizados en este estudio, siendo los que aparecen en la imagen los de mayores tasas de mortalidad.
Figure 26. Ensemble de pylônes de la Ligne A, représentatifs de la majorité des types de pylônes observés lors de cette étude ; cette photo illustre les types de pylônes générant les taux de mortalité les plus élevés.



© D. Burón

Figura 27. Águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) juvenil observada en la zona de Oued Boussafane. Este individuo portaba un emisor y procede del proyecto de reintroducción de esta especie en Andalucía (España). Obsérvese el buche lleno, algo habitual en las observaciones realizadas.

Figure 27. Aigle ibérique (*Aquila adalberti*) juvénile observé dans la zone de l'Oued Boussafane. Cet individu équipé d'un émetteur fait partie du projet de réintroduction de cette espèce en Andalousie (Espagne). À noter le jabot bien rempli de l'oiseau, un constat fréquent lors des observations réalisées.



© D. Burón

Figura 28. Restos de cuatro individuos de águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*) bajo el apoyo A-029 en la Línea A.
Figure 28. Restes de quatre aigles de Bonelli (*Aquila fasciata*) au pied du pylône A-029 sur la Ligne A.



Figura 29. Apoyo tipo P-02, con poste de hormigón (D-016).

Figure 29. Pylône de type P-02 avec poteau en béton (D-016).



Figura 30. Apoyo tipo P-02 a), una variante del apoyo de bóveda con la parte superior del poste muy cercana al hilo central (A-042). Presente principalmente en la Línea A, presenta el mayor índice de peligrosidad por tipo de apoyo.

Figure 30. Pylône de type P-02 a), variante du pylône en forme de voûte mais dont la partie supérieure du poteau est très proche du conducteur central (A-042). Figurant actuellement sur la Ligne A, il présente l'indice de dangerosité par type de pylône (IPAp) le plus élevé.



Figura 31. Apoyo tipo P-02 con derivación (A-105).
Junto a este apoyo se encontraron los cadáveres
de tres águilas-azor perdiceras (*Aquila fasciata*).

Figure 31. Pylône de type P-02 avec dérivation (A-105).
Les cadavres de trois aigles de Bonelli (*Aquila fasciata*)
ont été retrouvés à proximité de ce pylône.



Figura 32. Apoyo tipo P-03,
con doble poste (pórtico) de hormigón (A-125).

Figure 32. Pylône de type P-03
à double poteau (portique) en béton (A-125).



Figura 33. Apoyo tipo P-08, de amarre con puentes por debajo de los aisladores,
variante con montaje vertical y derivación (D-007).

Figure 33. Pylône d'ancrage de type P-08, avec câbles de liaison en dessous des isolateurs,
variante avec configuration verticale et dérivation (D-007).



Figura 34. Apoyo tipo P-10, con pórtico (A-068).
Figure 34. Pylône de type P-10 avec portique (A-068).



Figura 35. Apoyo tipo P-15, con seccionador tripolar en vástago (B2-006), y en este caso fin de línea con transformador, donde se encontraron dos halcones borries (*Falco biarmicus*).

Figure 35. Pylône de type P-15, avec sectionneur tripolaire sur le mât du pylône (B2-006) et, dans ce cas, fin de ligne avec transformateur, où ont été retrouvés deux faucons laniers (*Falco biarmicus*).



Figura 36. Apoyo tipo P-16, con seccionador tripolar en cabecera (A-002).
Figure 36. Pylône de type P-16 avec sectionneur tripolaire au sommet (A-002).

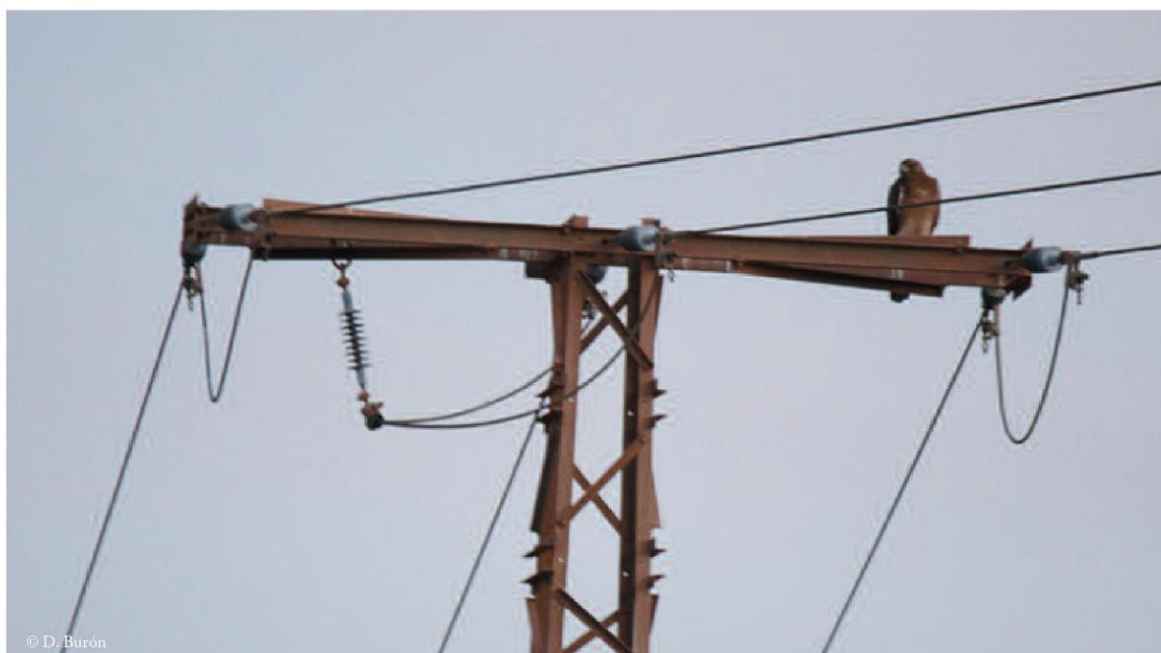


Figura 37. Águila-azor perdicera (*Aquila fasciata*) preparada para dormir al atardecer, en el apoyo A-058, tipo P-10 de amarre.

Figure 37. Aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) prêt à s'endormir à la tombée du jour, sur le pylône d'ancrage A-058 de type P-10.



Figura 38. Águila imperial ibérica (*Aquila adalberti*) preparada para dormir al anochecer, en el apoyo A-060, tipo P-10 de amarre con emisor GPS procedente del programa de reintroducción en Andalucía en 2015.

Figure 38. Aigle ibérique (*Aquila adalberti*) prêt à s'endormir à la tombée de la nuit, sur le pylône d'ancrage A-060 de type P-10, et équipé d'un émetteur GPS dans le cadre du programme de réintroduction en Andalousie en 2015.

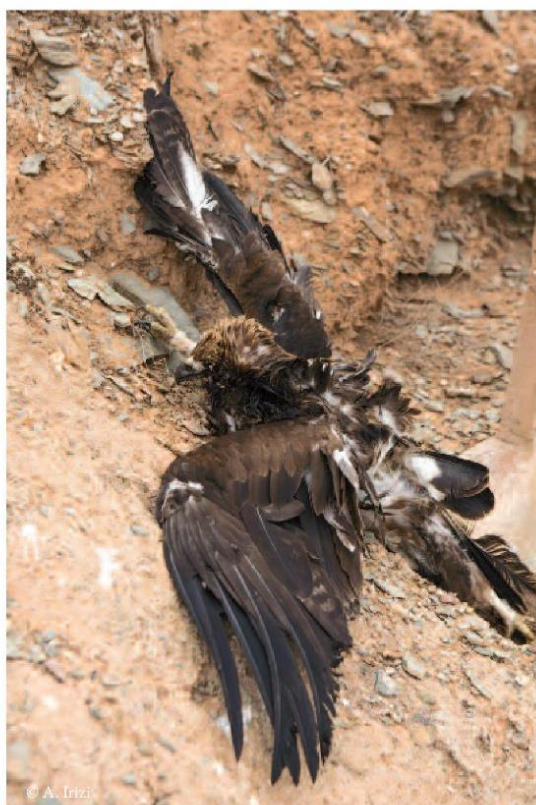


Figura 39. Águila real (*Aquila chrysaetos*) encontrada muerta por Ali Irizi el 22/10/2015 (izquierda) y su estado 82 días después, el 12/01/2016. Apoyo A-048.

Figure 39. Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) retrouvé mort par Ali Irizi le 22/10/2015 (à gauche) et état de son cadavre le 12/01/2016, soit 82 jours plus tard (à droite). Pylône A-048.



Figura 40. El jird gordo (*Psammomys obesus*), la principal presa de las rapaces de la zona de estudio, puede superar los 200 g, algo menos de la quinta parte del peso de un conejo del sur de la Península ibérica.

Figure 40. Le rat des sables (*Psammomys obesus*), principale proie des rapaces de la zone d'étude, peut peser plus de 200 g, ce qui représente moins du cinquième du poids d'un lapin originaire du sud de la péninsule Ibérique.



Figura 41. Egagrópila de una gran águila, encontrada junto a restos de águilas real e imperial, en el apoyo A-048.

Figure 41. Pelote de régurgitation d'un grand aigle, retrouvée à proximité des restes d'un aigle royal ou ibérique, au niveau du pylône A-048.



Figura 42. Concentración de excrementos bajo el apoyo A-046, de tipo P-10 con doble vástago, en el que se encontraron los restos de un águila perdicera.

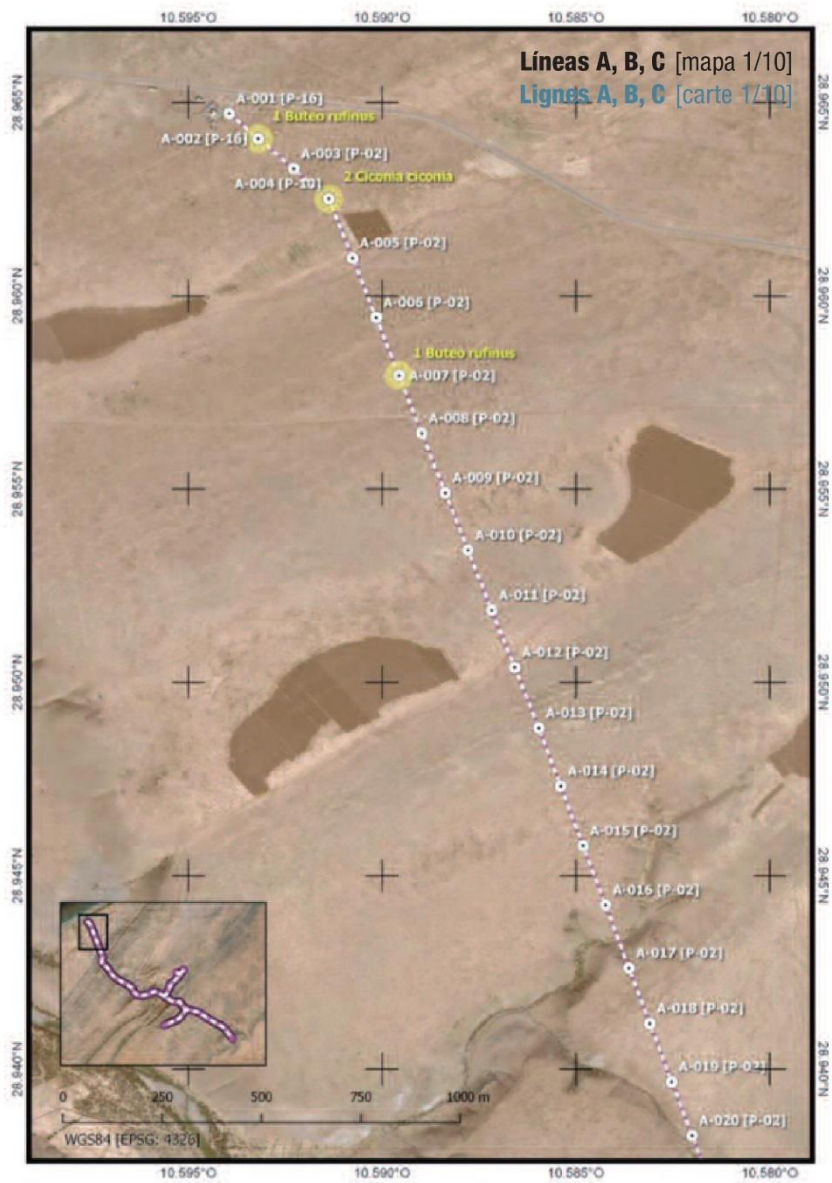
Figure 42. Concentration d'excréments au pied du pylône A-046 à double mât, de type P-10, où les restes d'un aigle de Bonelli ont été retrouvés.

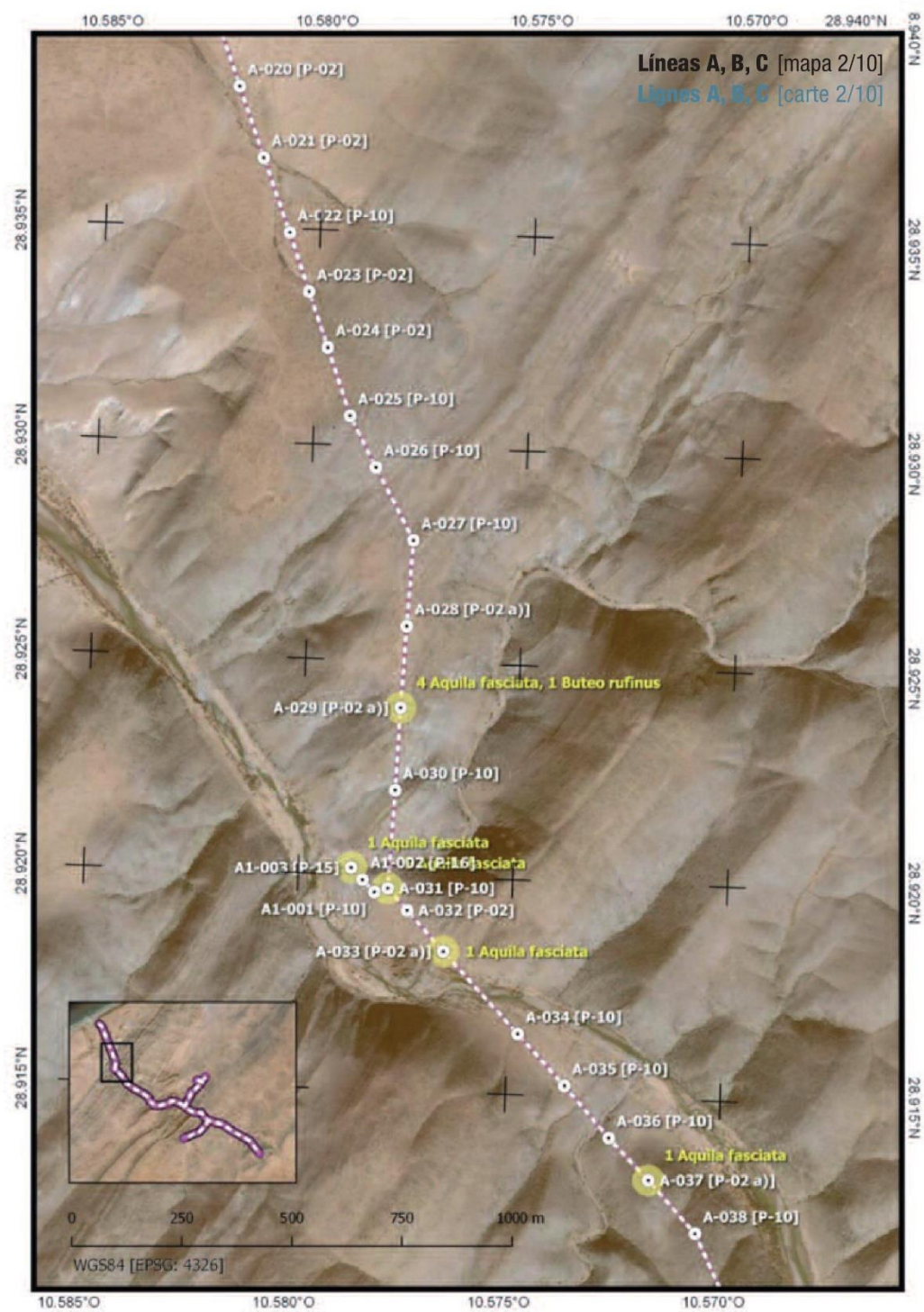


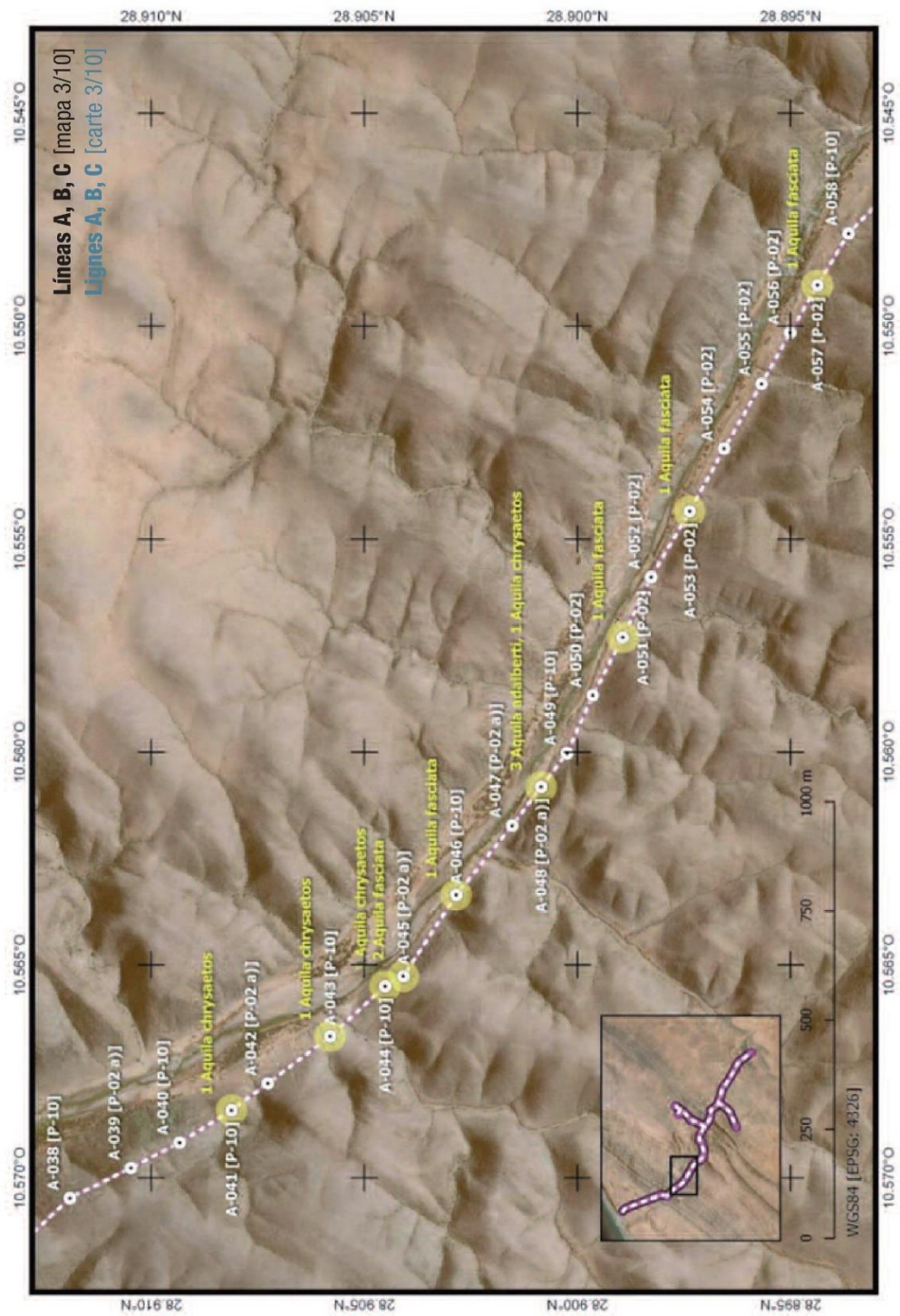
Figura 43. Búho moro o del desierto (*Bubo ascalaphus*) encontrado bajo el apoyo D-025, de tipo P-02.

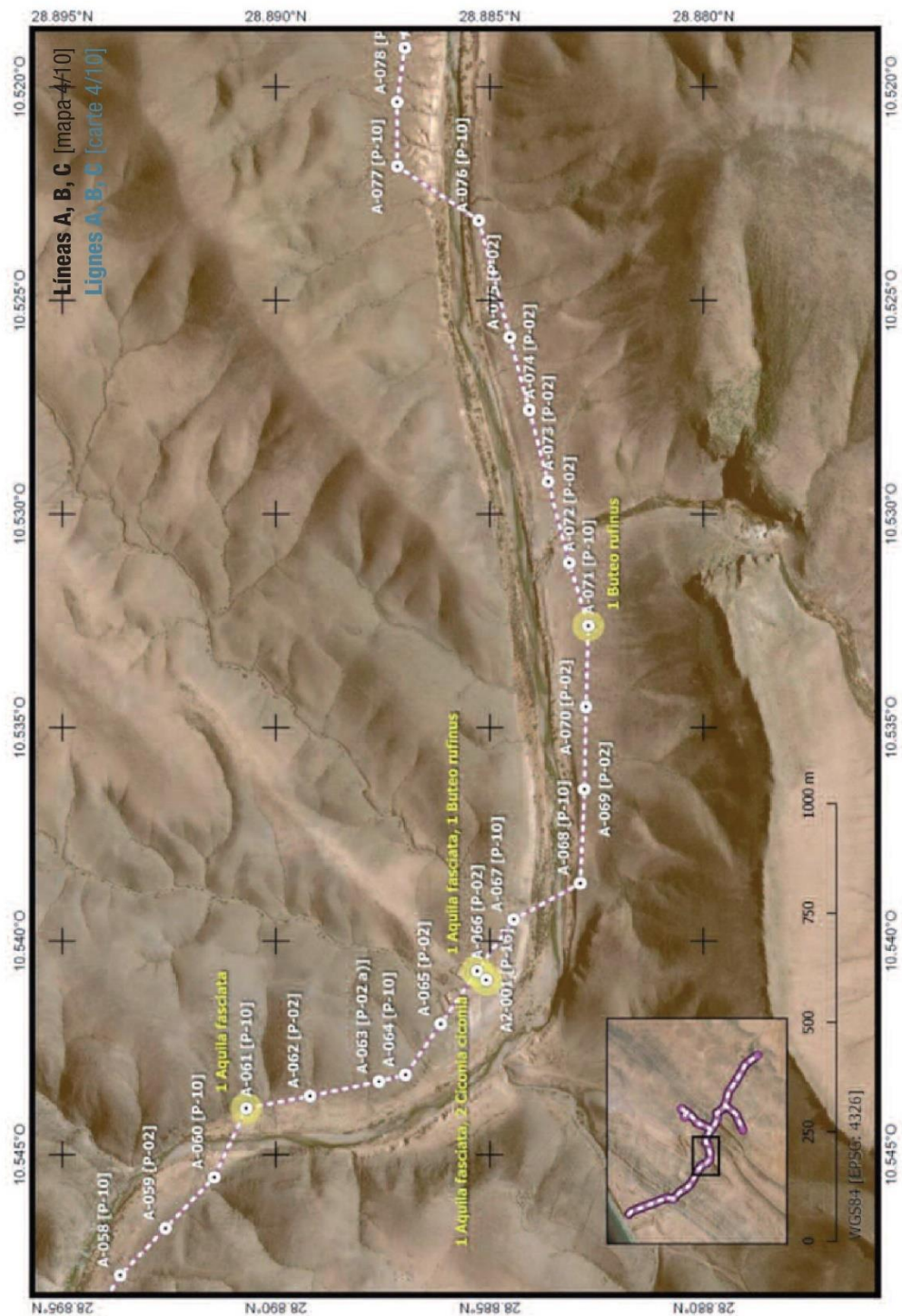
Figure 43. Grand-duc ascalaphe ou grand-duc du désert (*Bubo ascalaphus*) retrouvé au pied du pylône D-025 (de type P-02).

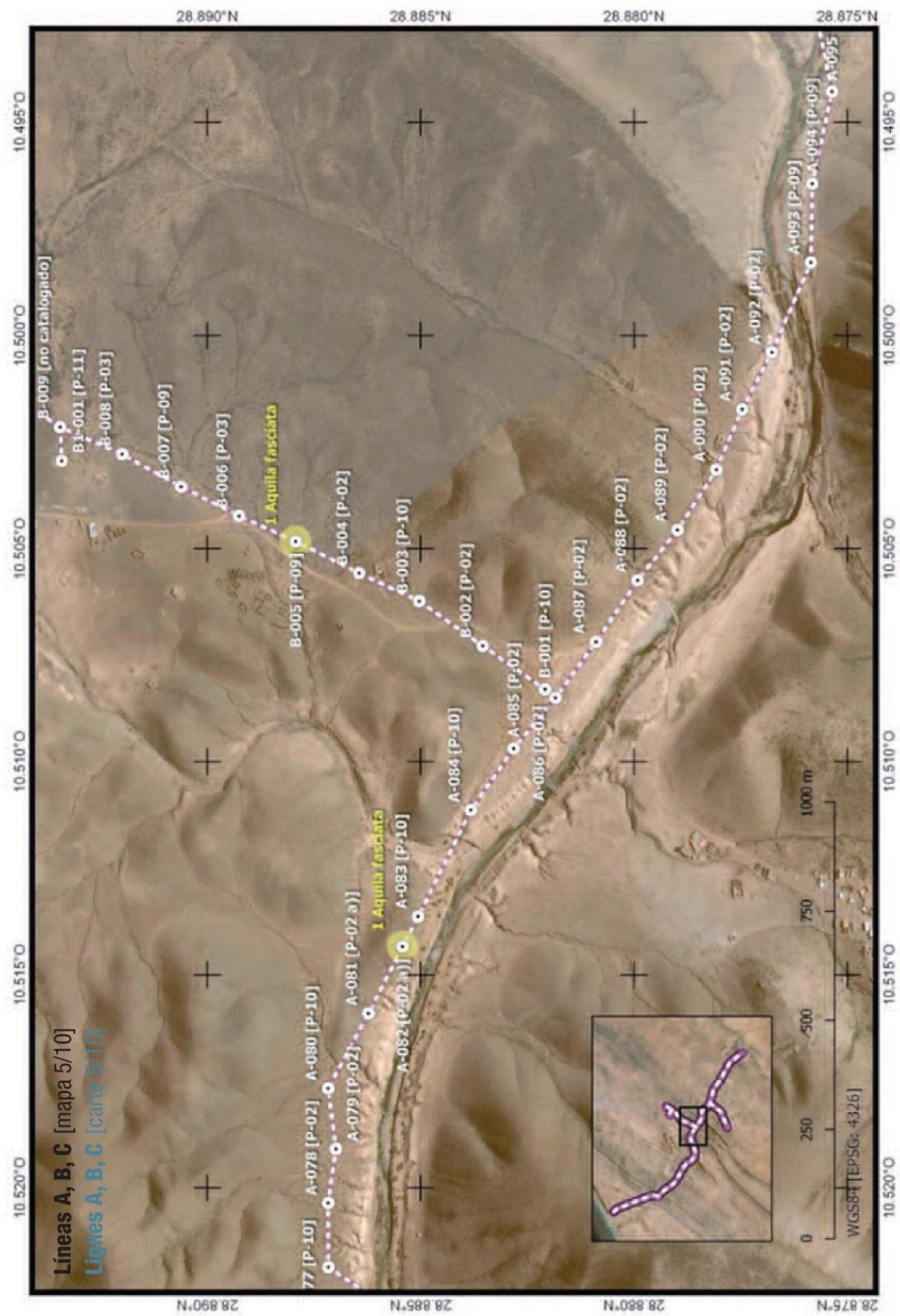
Anexo cartográfico
Annexe cartographique

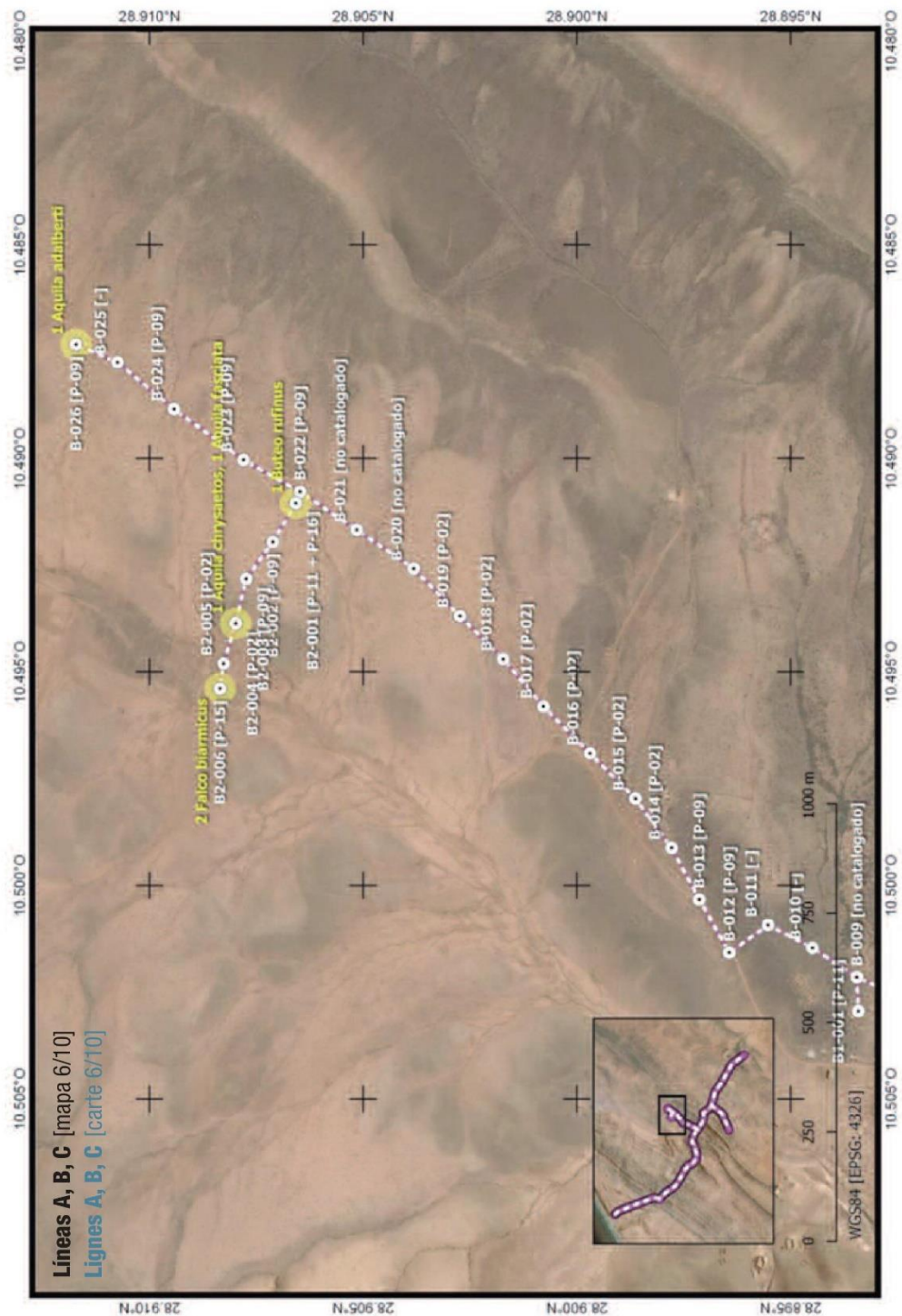


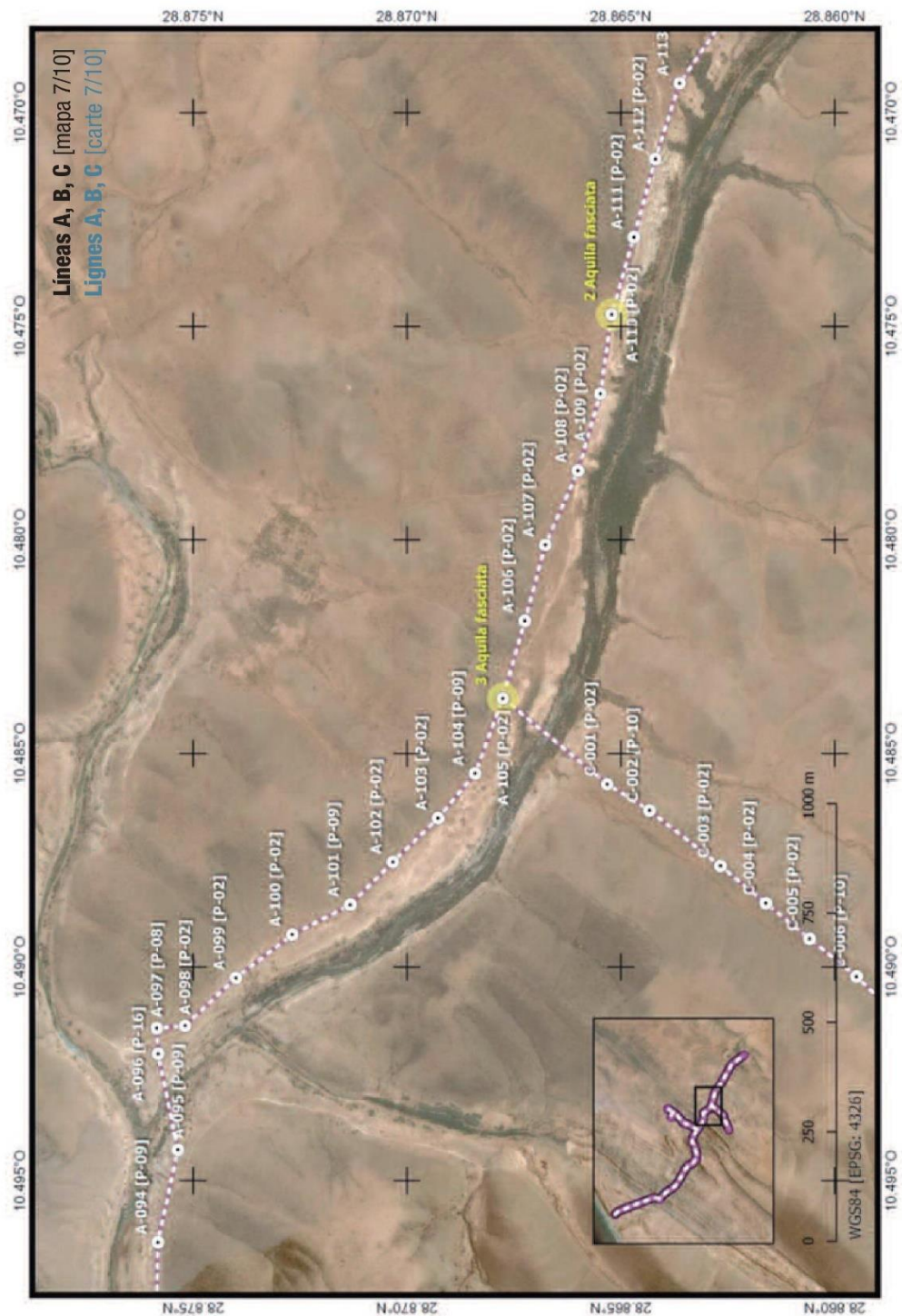


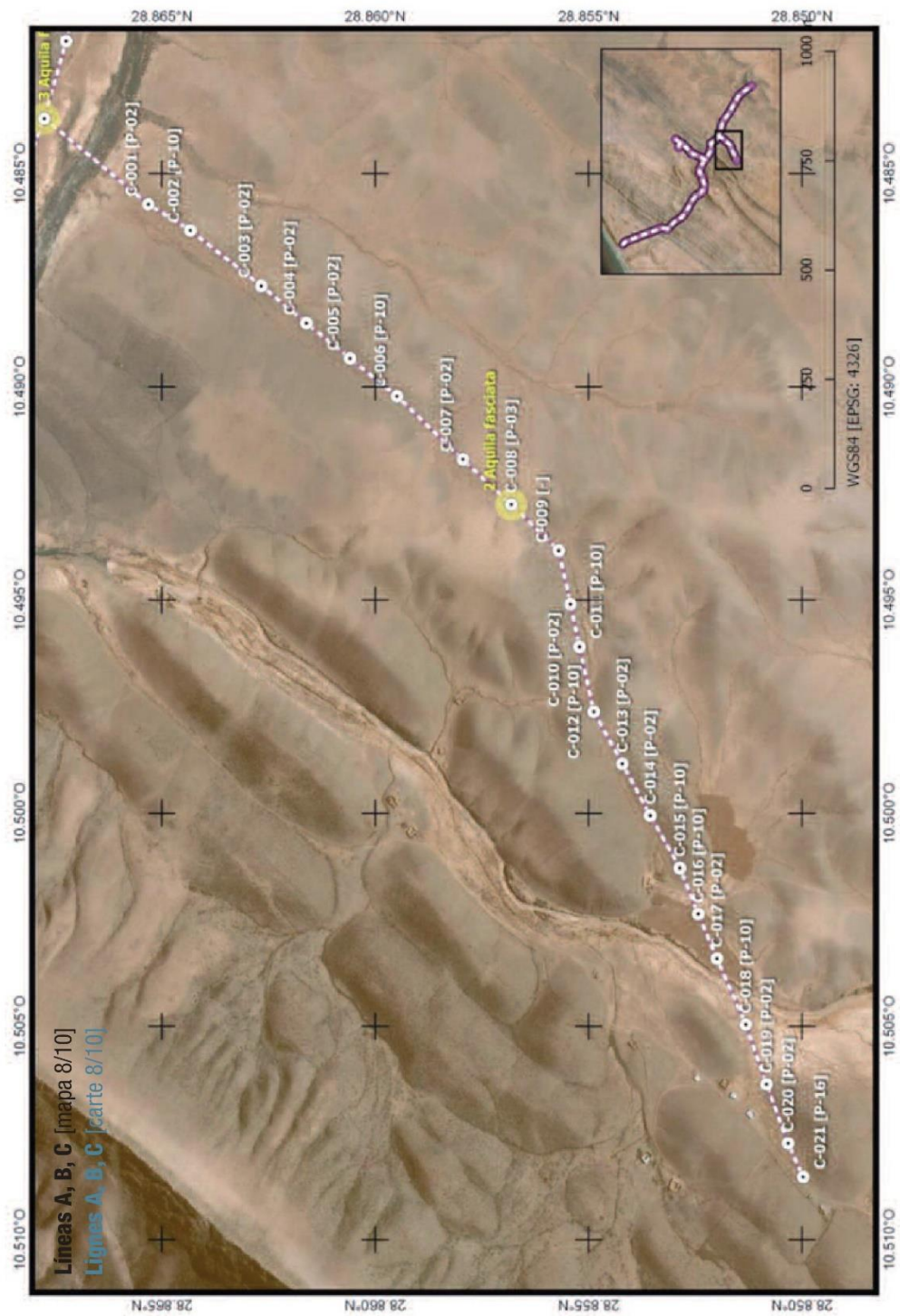


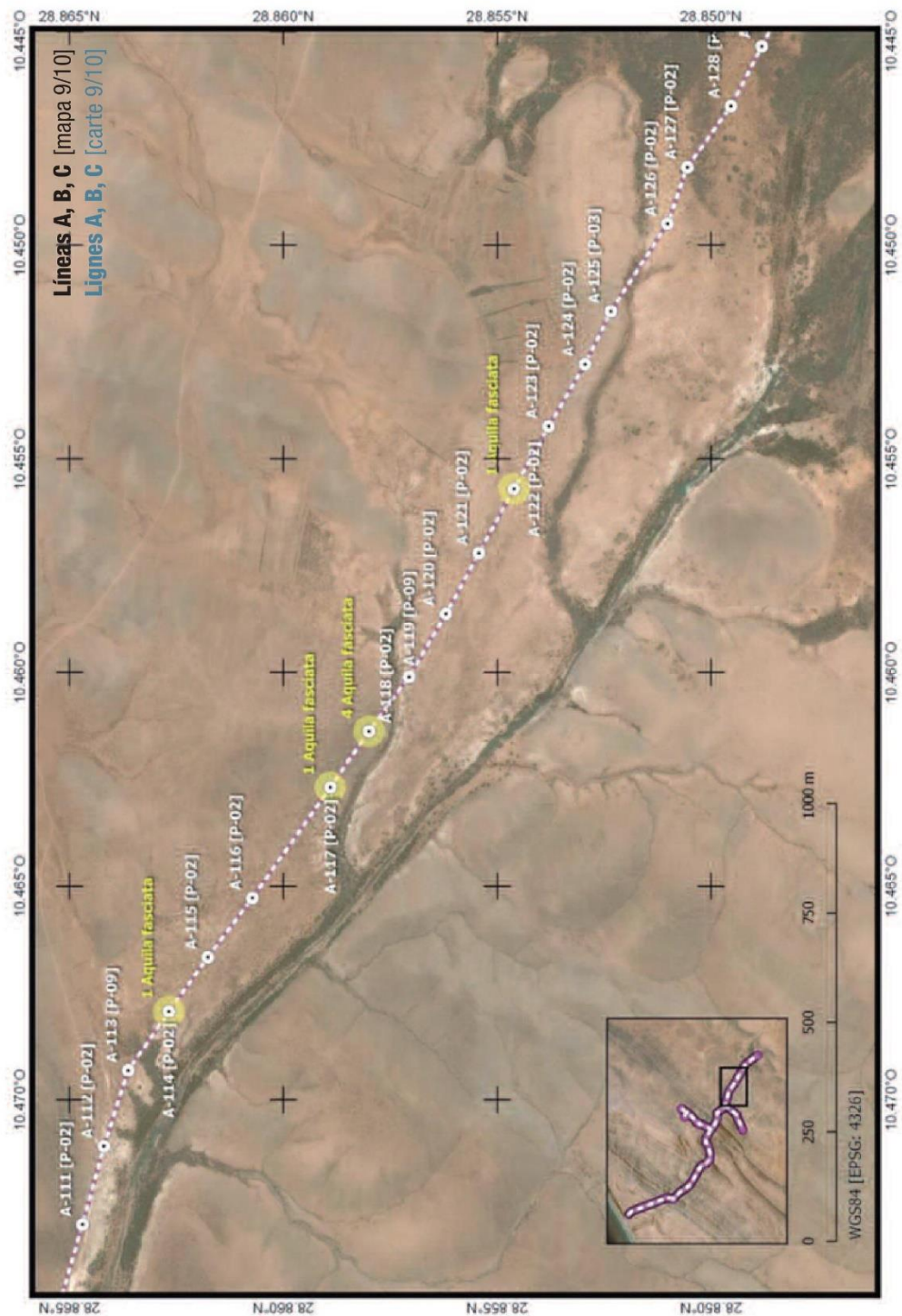


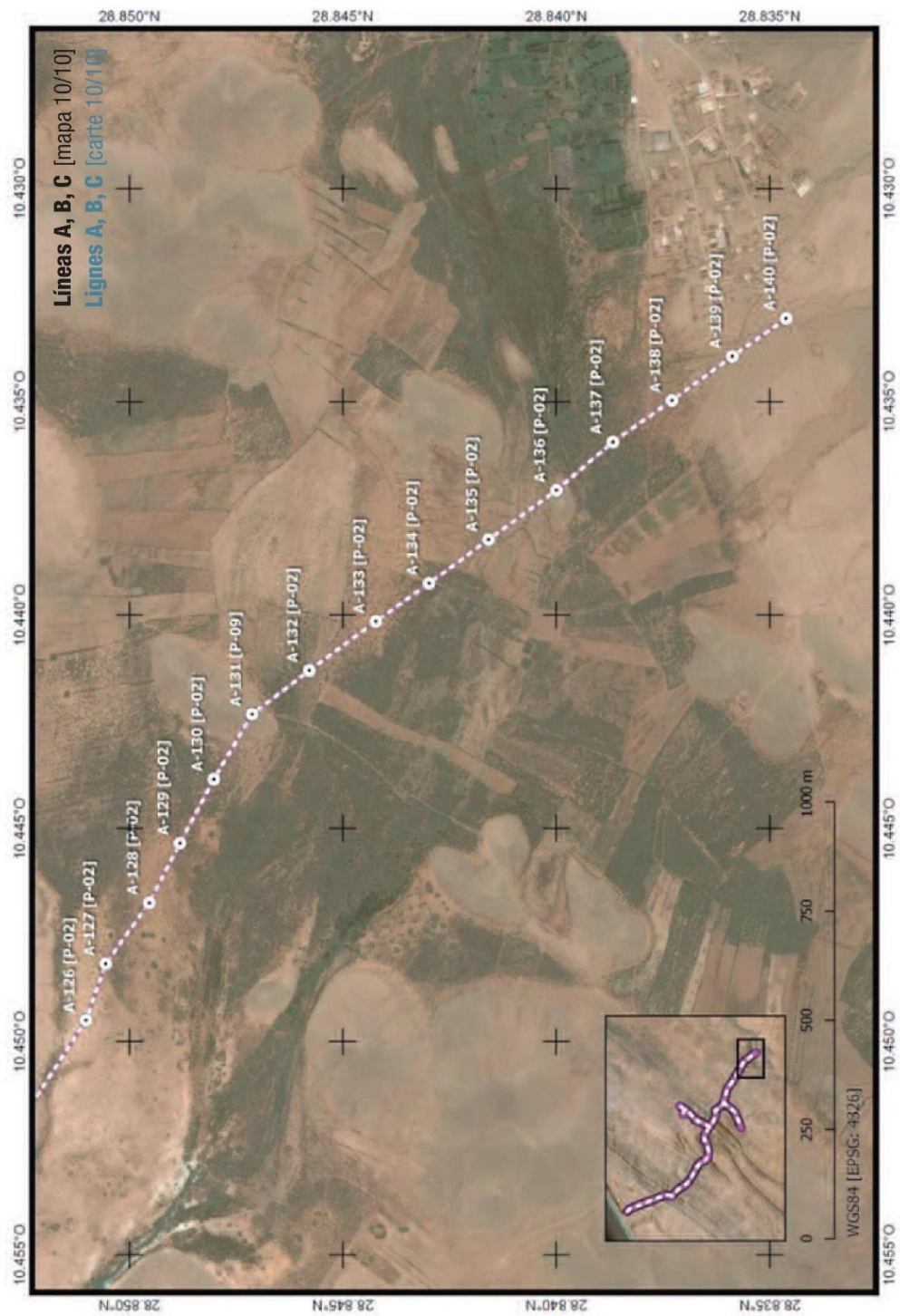


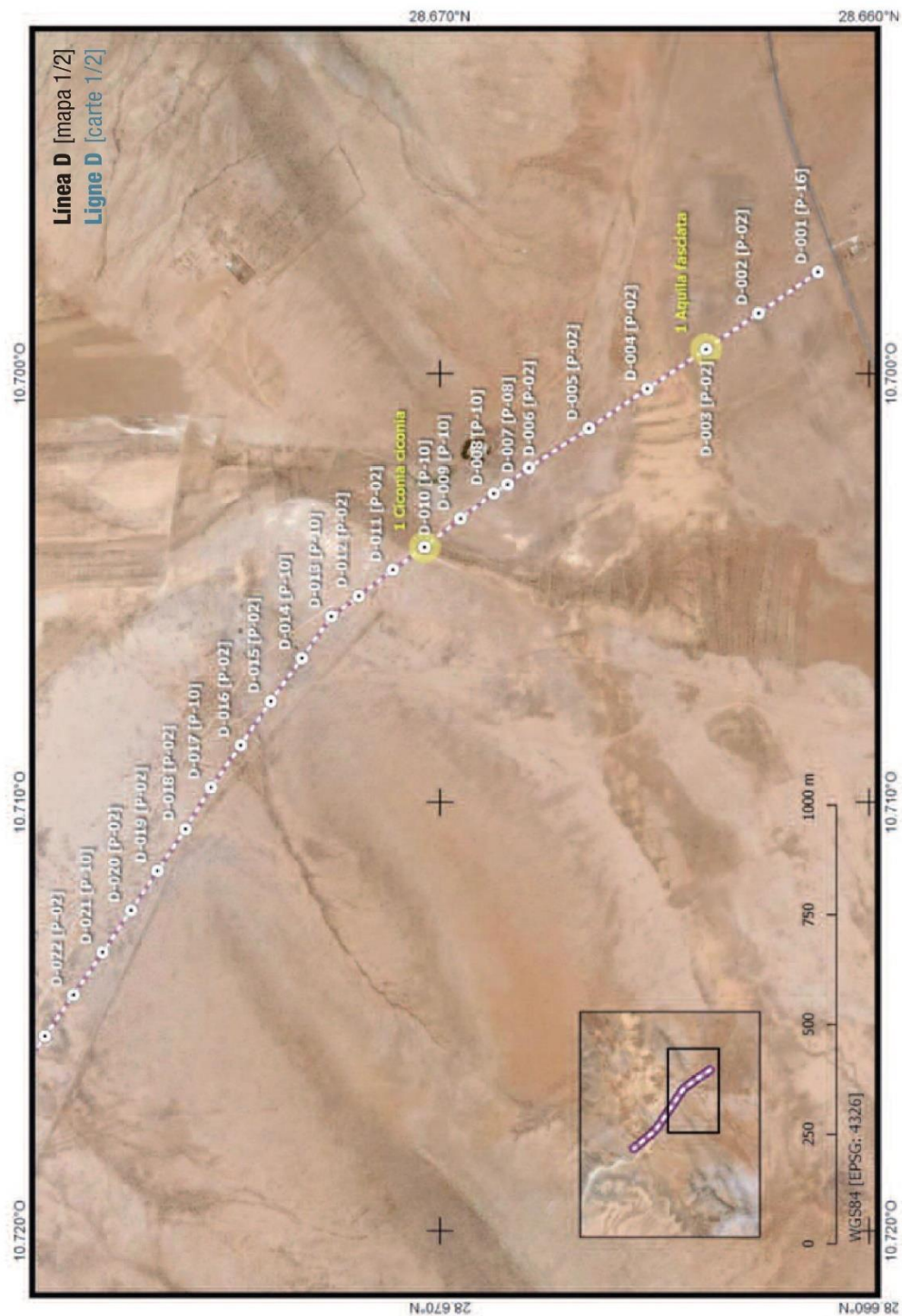


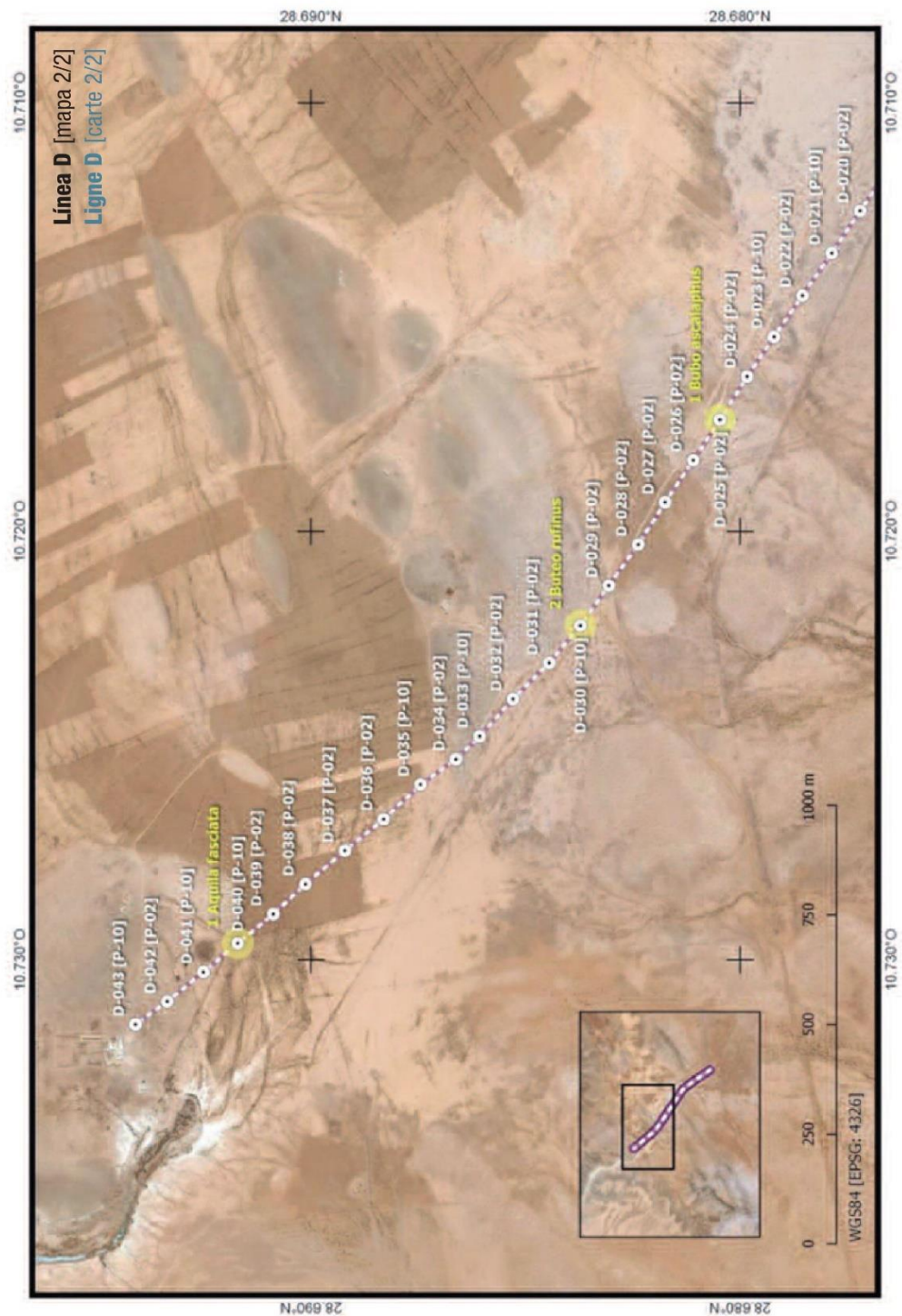


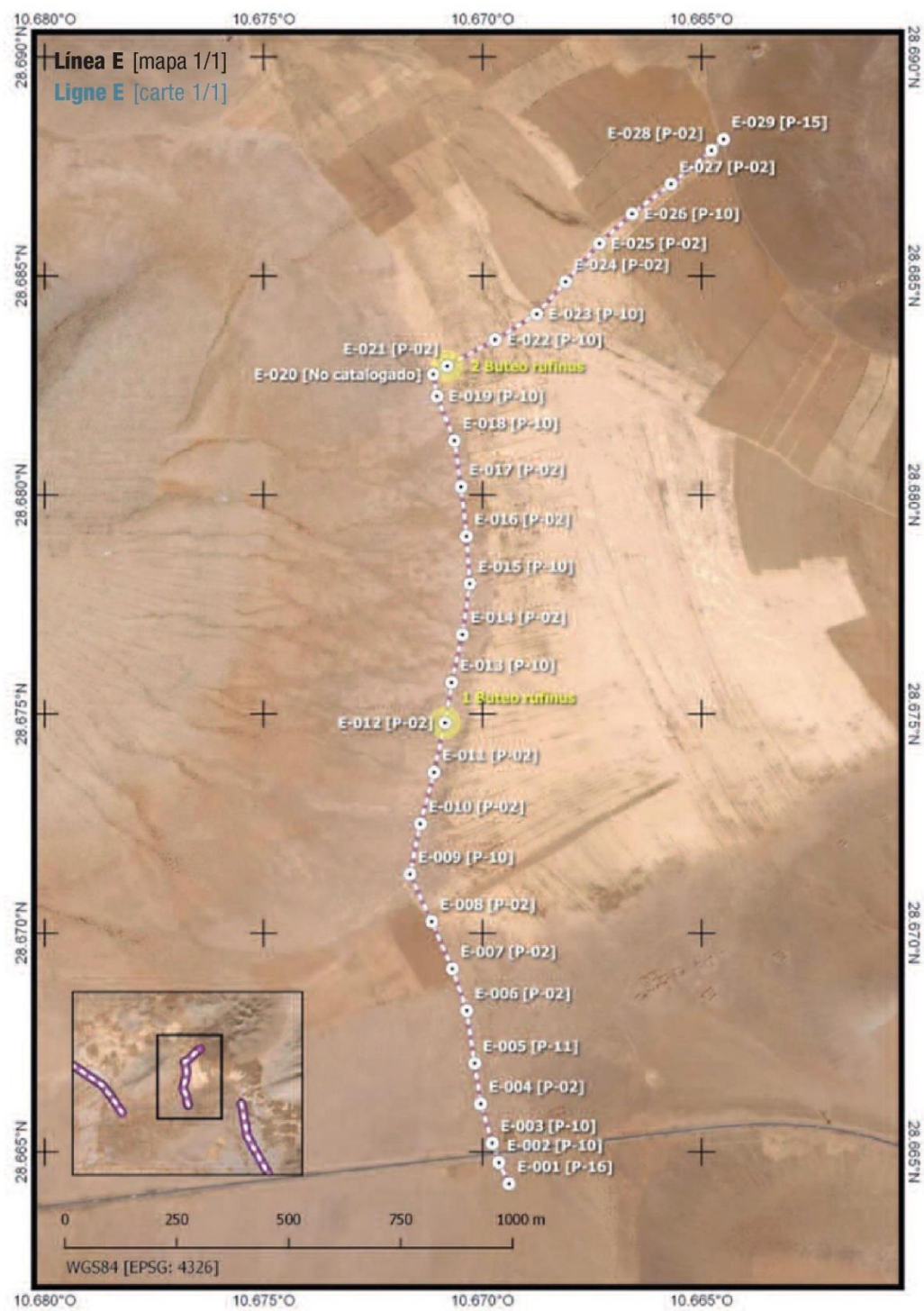


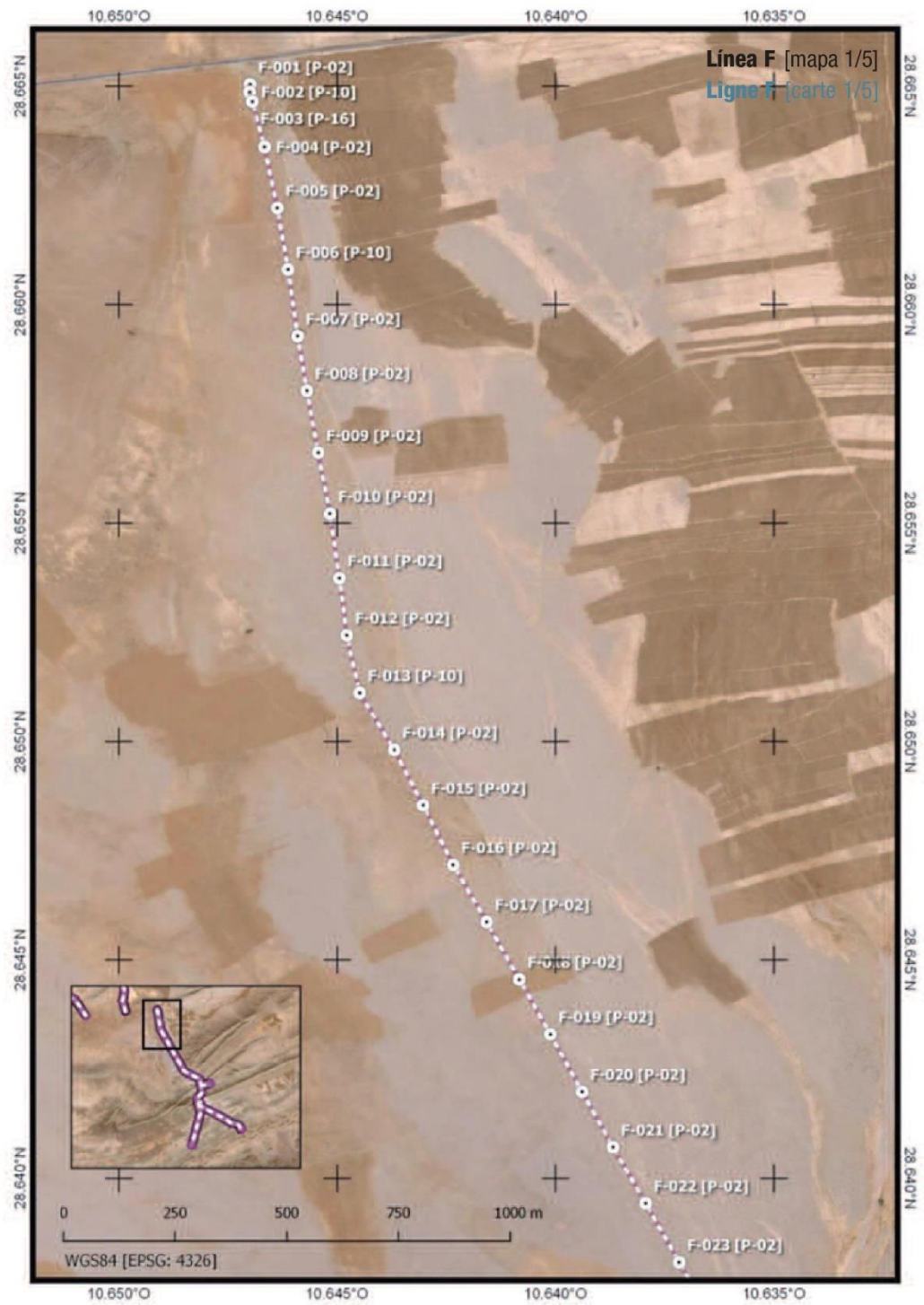


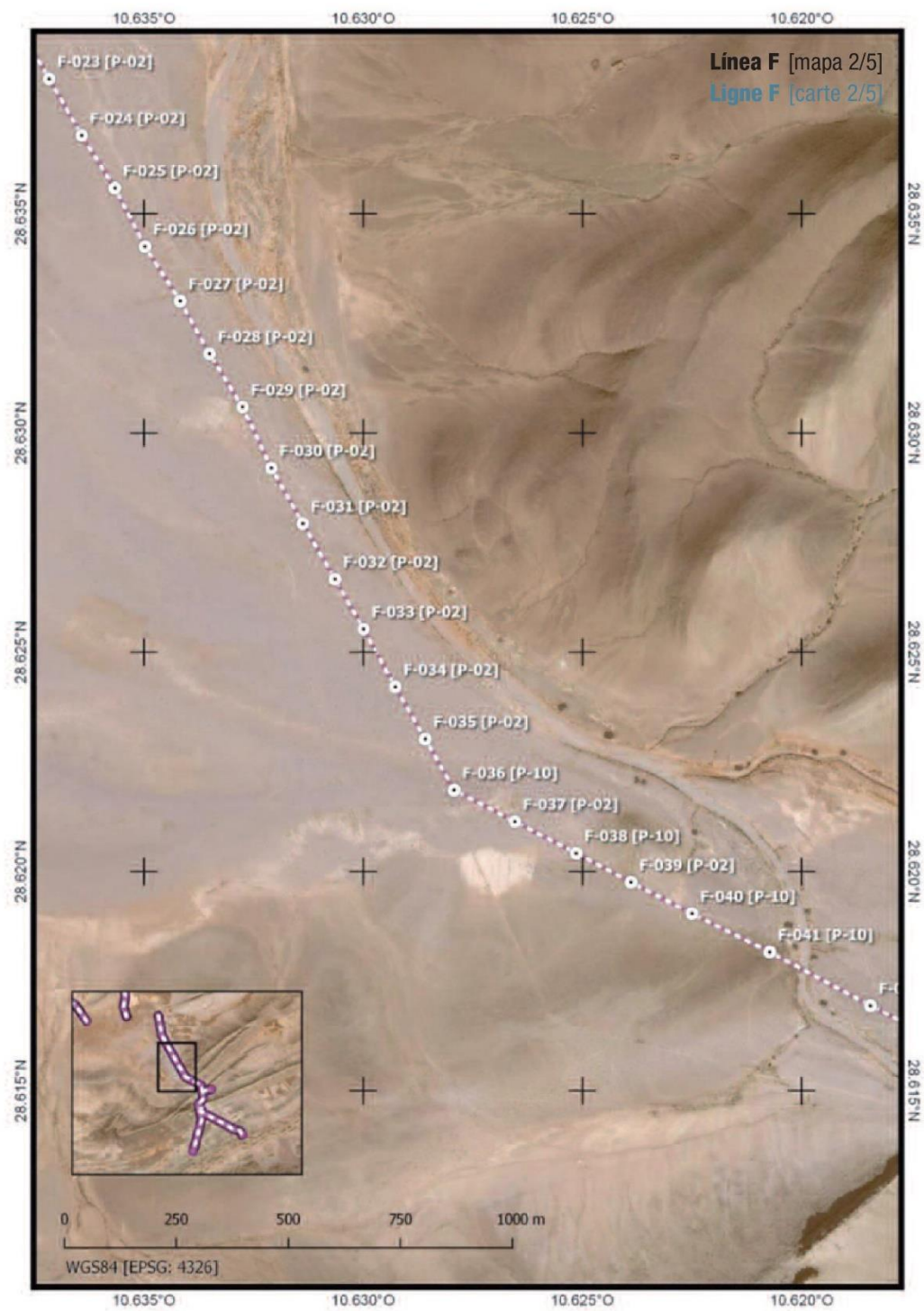


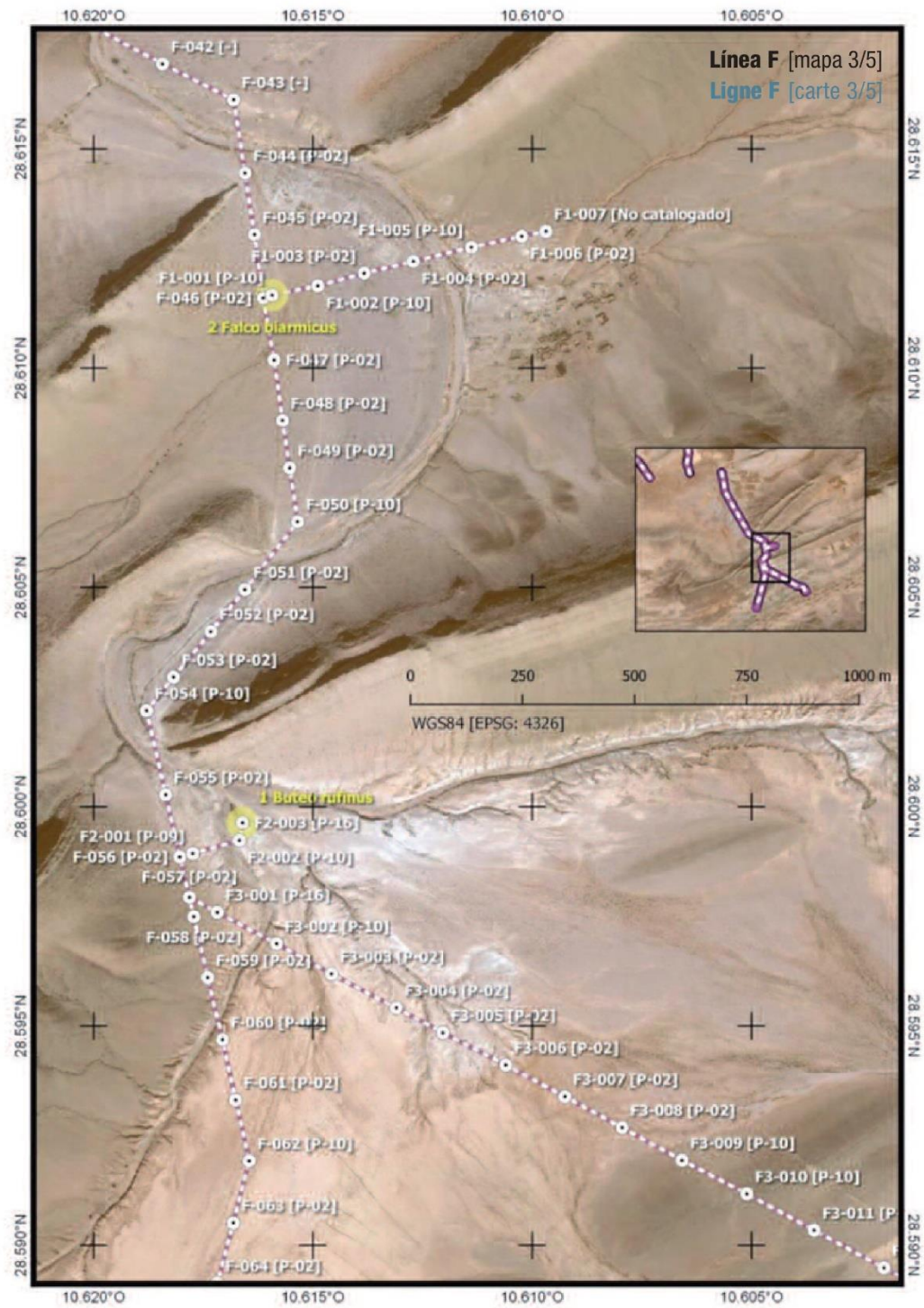


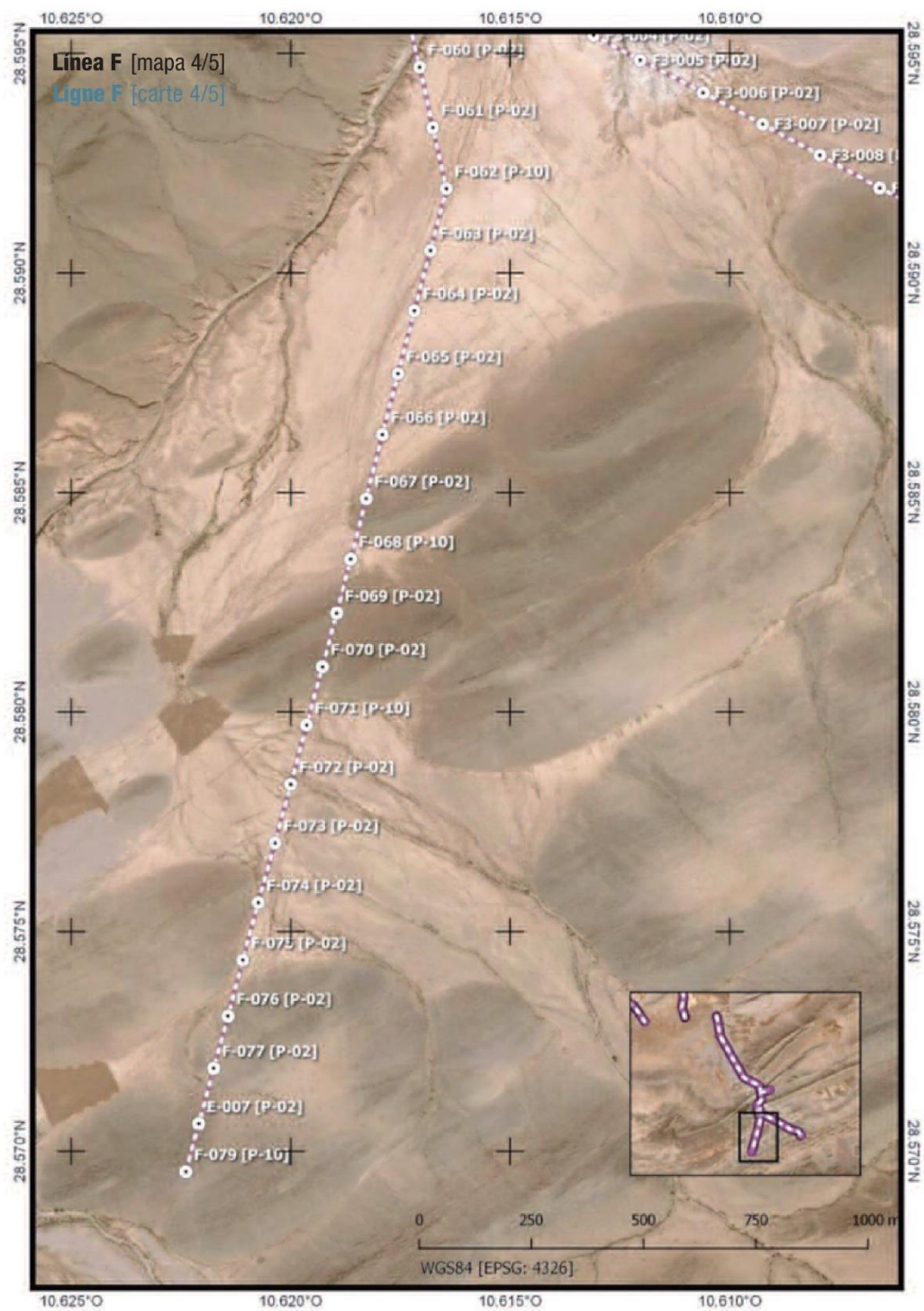


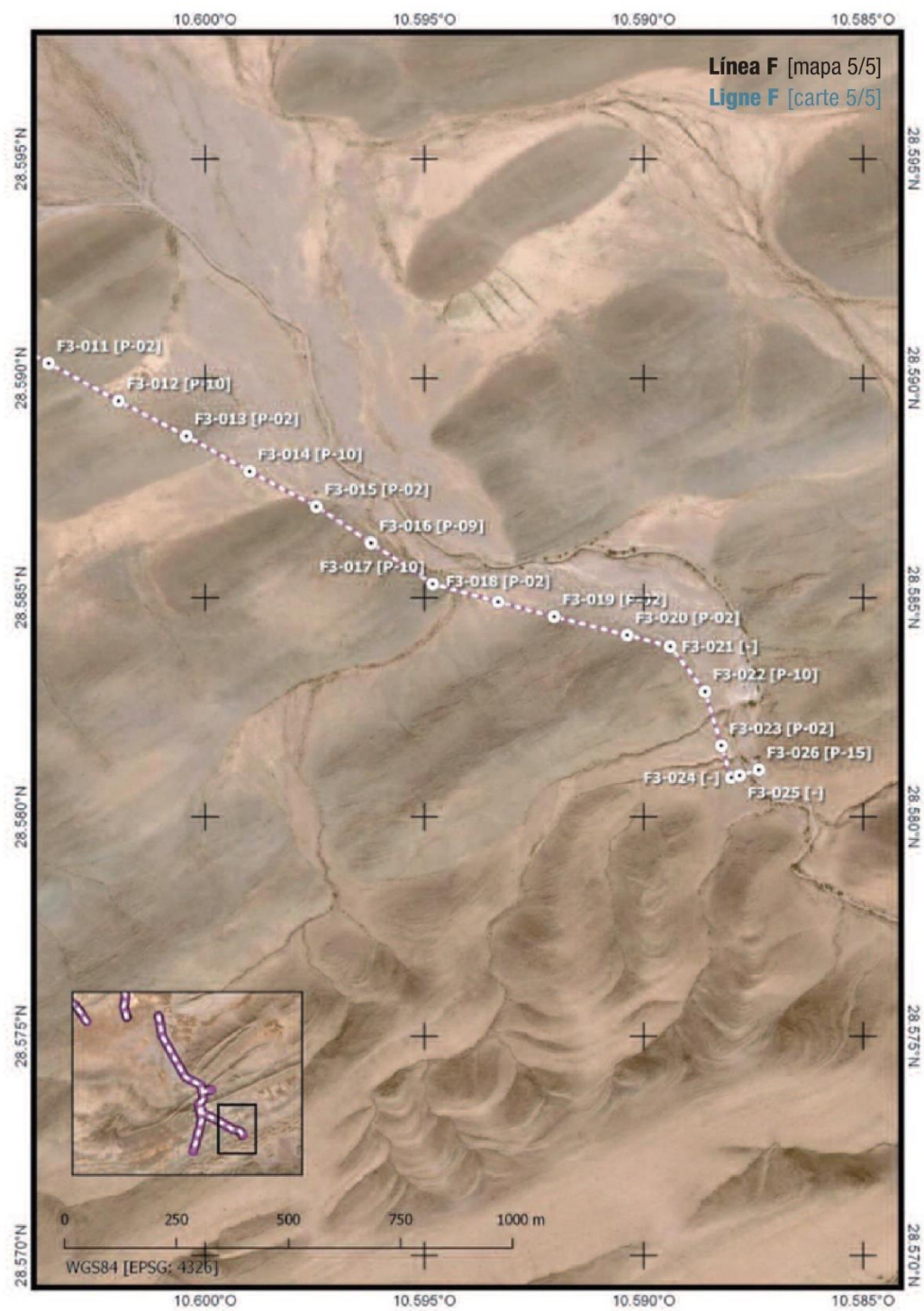


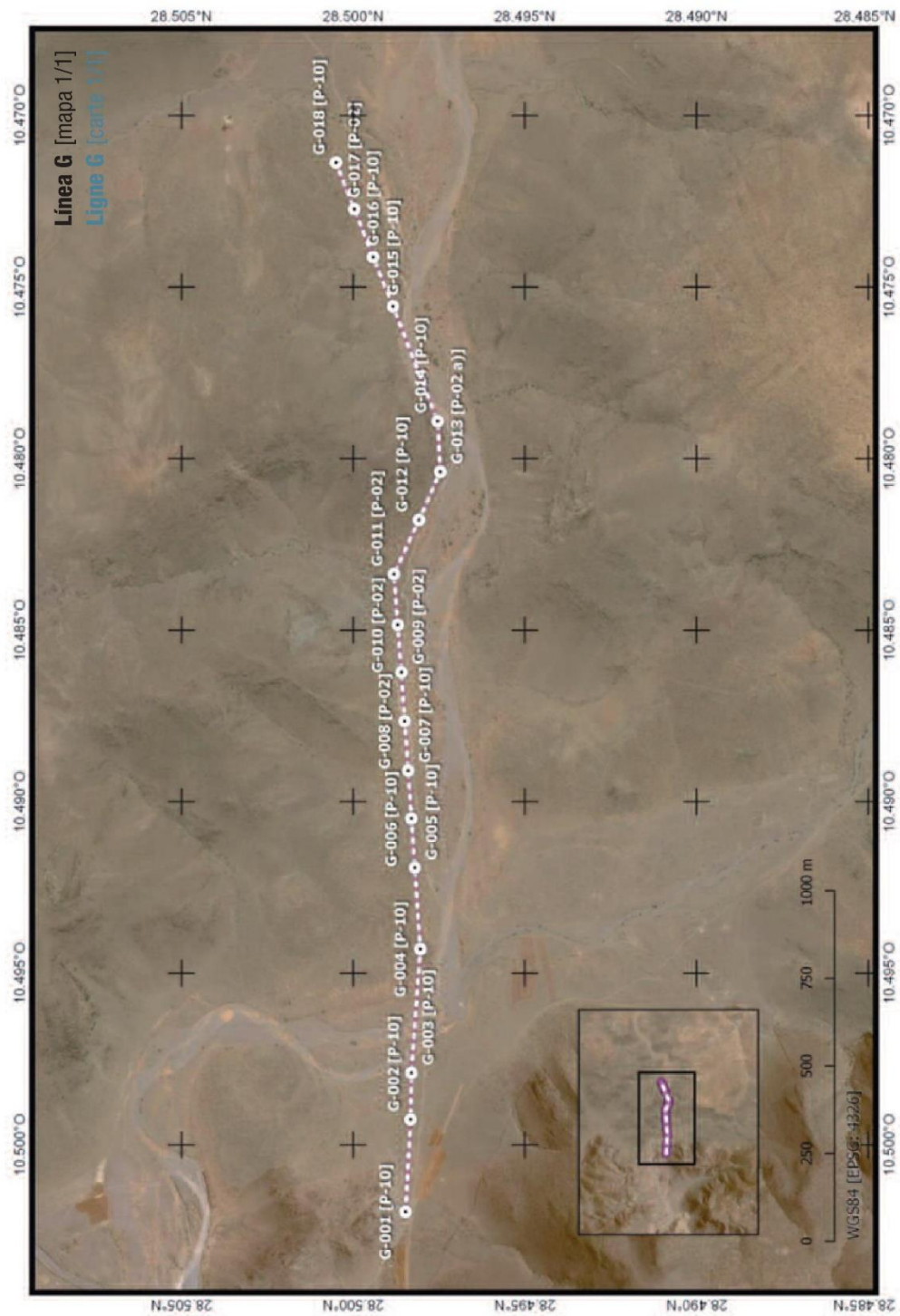














UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA

Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN

C/ Marie Curie 22
29590 Campanillas
Málaga, España
Tel. : +34 952028430
Fax : +34 952028145
uicnmed@iucn.org

www.iucn.org/regions/mediterranean
<http://www.iucn.org/resources/publications>

Las actividades del Centro de Cooperación del Mediterráneo de la UICN reciben el apoyo de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE



MINISTERIO
DE ASUNTOS EXTERIORES
Y DE COOPERACIÓN



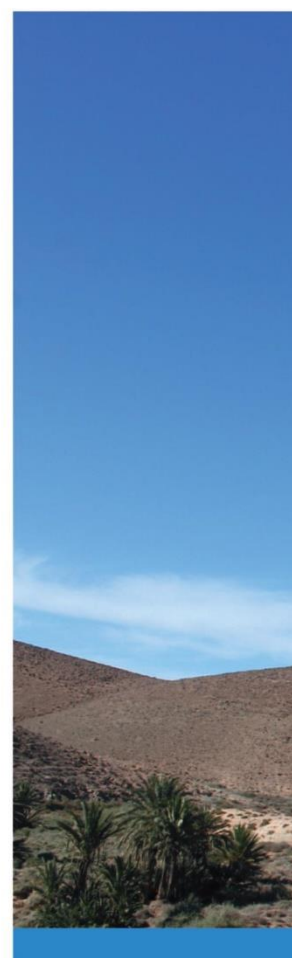
AGENCIA
ESPAÑOLA DE
COOPERACIÓN
INTERNACIONAL



CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO



FONDATION POUR LA NATURE



Annexe 3 : Tableau des distances critiques des pylônes électriques.

PYLÔNES		DISTANCE CRITIQUE BASIQUE	VALEUR FIABLE
D1	TOUS	Distance entre les conducteurs. <i>Nous devons considérer l'envergure de l'oiseau.</i>	1,5 m
D2	MONTAGE EN ARMEMENT ALTERNÉ MONTAGE VERTICAL MONTAGE HORIZONTAL EN NAPPE-VOÛTE (Fixation et suspension)	Distance verticale entre le point où l'oiseau se pose et l'élément sous tension le plus proche à un niveau inférieur (conducteur ou pont d'ancrage). <i>Il faut considérer le risque par défécation et la distance entre la base des pattes et l'extrémité d'une des ailes déployées vers le bas.</i>	1 m
D3	MONTAGE VERTICAL	Distance verticale entre le point où l'oiseau se pose et l'élément sous tension le plus proche à un niveau supérieur (conducteur ou pont d'ancrage). <i>Il faut considérer la distance entre la base des pattes et l'extrémité d'une des ailes déployées vers le haut.</i>	1,5 m
D4	MONTAGE HORIZONTAL	Distance verticale entre la base de la traverse et l'élément sous tension le plus proche à un niveau supérieur. <i>Il faut tenir compte de la hauteur de l'oiseau.</i>	1 m
D5	EN NAPPE-VOÛTE	Distance horizontale entre le point où l'oiseau se pose et l'élément sous tension. Il faut considérer la distance entre la base des pattes et l'extrémité d'une des ailes en position horizontale.	1 m (1,5 m)

Annexe 4 : Photos de quelques guides



Photos de quelques guides et bergers sans qui cette aventure n'aurait pas eu lieu. Je tiens ici à leur témoigner toute ma reconnaissance. (A. Irizi ©)