

**Bridging the research implementation gap – identifying cost-effective protection measures for Montagu's harrier in Spanish farmlands.**

**Estimation du coût-efficacité des mesures de protection du Busard cendré dans les habitats agricoles espagnols**

Par Andrea Santangeli, Enrico Di Minin, Beatriz Arroyo.

Extrait de *Biological Conservation* 177 (2014): 126-133.

**Résumé**

Des programmes coûteux de conservation sont développés dans le monde entier, alors que les ressources financières pour la conservation demeurent limitées. Il est donc nécessaire d'évaluer les actions de conservation, de sorte que les ressources limitées soient utilisées de la façon la plus cohérente.

Dans le présent article, nous évaluons l'efficacité des mesures de protection des nids de Busard cendré dans les habitats agricoles espagnols. Cette espèce est l'objet d'importantes mesures de protection à travers toute l'Europe du fait d'un taux élevé de destruction des nids au moment de la moisson.

Nous utilisons une nouvelle approche, combinant un échantillonnage « hypercube » et l'analyse de viabilité des populations afin d'explorer l'impact des mesures de protection sur la persistance des populations à travers toute une gamme de scénarios.

Nous rapportons également des estimations de coûts financiers pour les différentes mesures de protection.

Les résultats montrent qu'en l'absence de protection des nids, les populations de busards espagnols diminueraient très probablement au cours des vingt prochaines années.

Les mesures de protection les plus rentables, parmi celles qui ont été évaluées sont le « Retrait ou la délocalisation » des poussins, bien que cela varie selon les régions et le contexte.

Fait intéressant, le maintien d'une « zone tampon » non-récoltées autour du nid, en dépit d'être largement mis en œuvre à travers l'Espagne, apparaît moins rentable que les deux autres mesures de protection étudiées. D'une façon générale, le coût-efficacité de chaque mesure de protection varie considérablement en fonction de la région et du contexte agronomique local.

Pour finir, nous explorons quelle est la proportion de nids qui devrait être protégée par la mesure de protection la plus efficace pour chaque région étudiée, et nous estimons combien cet effort coûterait aux administrations locales.

**Site d'étude**

L'étude a été menée en Espagne dans les régions d'Andalousie, d'Aragon, de Catalogne d'Estrémadure et de Madrid (Fig. 1).

Le Busard cendré est un nicheur commun en Andalousie, en Estrémadure et dans la région de Madrid (Arroyo and García, 2007) dans lesquelles plus de 95% des nids sont situés dans des champs de céréales. En Aragon et en Catalogne, la distribution est moins homogène avec plus de 25% des nids situés dans des formations végétales naturelles (Arroyo and García, 2007).

Seules les données qui concernent les individus nichant dans des habitats agricoles sont incluses dans la présente étude. En Catalogne, les données proviennent d'une seule province (Lleida) où une proportion importante d'oiseaux se reproduit dans les cultures céréalières et les cultures fourragères irriguées depuis 2005, en plus des champs de céréales sèches (Service Catalan de la Faune sauvage, Données inédites).

Dans ces régions, les sites d'étude ont été choisis de façon opportuniste, c'est-à-dire en fonction de la disponibilité de l'information. La taille moyenne de chaque site a été très variable, d'environ 200 km<sup>2</sup> à plus de 2000 km<sup>2</sup>.

Figure 1 : Carte avec localisation des dix sites étudiés dans cinq régions espagnoles.



### Méthodes de protection des nids de Busard cendré en Espagne

Les mesures de protection adoptées pour sauvegarder les nids de busards cendrés étaient les suivantes:

- 1) le « retrait » temporaire des poussins pendant la récolte et leur retour à la même place, par la construction d'un nid avec de la paille ou d'autres matériaux;
- 2) la « délocalisation » des poussins quelques jours avant la récolte vers la lisière du champ ou vers une parcelle non récoltée située à proximité,
- 3) le maintien d'une « zone tampon » non récoltée autour du nid, généralement de très faible superficie (d'environ 4 m<sup>2</sup> à 16 m<sup>2</sup>), parfois entourée par une clôture électrique,
- 4) un accord passé avec les agriculteurs pour provoquer un « retard de récolte » sur l'ensemble du champ ou une grande partie de celui-ci (au moins ½ ha),

5) l'élevage en captivité et la libération ultérieure des poussins. Les résultats de cette dernière technique n'étaient pas été suffisamment documentés, et donc nous l'avons exclue de nos analyses.

Les mesures de protection 1 et 2 ont été regroupées dans une seule catégorie (ci-après «Retard ou délocalisation») en raison de leur similitude et du trop faible échantillon. En effet, ces deux techniques impliquent la recherche et la visite d'un nid, puis la manipulation et le déplacement des poussins au moment de la récolte. Les productivités observées ( $\pm$  écart-type moyen) étaient respectivement de :  $1,96 \pm 0,79$  et  $2,37 \pm 0,71$  pour le retrait (1) et la délocalisation (2).

De même, les données pour les zones tampons entourées par des clôtures électriques ont été très rares. La productivité observée était semblable à celle des nids protégés avec un tampon non clôturé ou avec un tampon clôturé ( $1,53 \pm 0,94$  et  $1,68 \pm 0,77$ , respectivement). Nous avons regroupé tous les nids protégés par une zone tampon en une seule catégorie (ci-après dénommée «zone tampon»).

## Résultats

### 3.1. Efficacité des mesures de protection

Les mesures de protection des nids accroissent de façon significative la productivité du Busard cendré. Tous les nids sous mesures de protection (« retard de récolte », « retrait et délocalisation » et « zone tampon ») avaient une productivité nettement plus élevée (moyenne des moindres carrés  $\pm$  SE), avec respectivement:  $1,89 \pm 0,12$  ;  $1,95 \pm 0,16$  et  $1,45 \pm 0,13$  que les nids non protégés ( $1,03 \pm 0,11$  ; différence entre chacune des trois mesures de protection et de non-protection:  $p$  ajustée  $< 0,05$  pour toutes les comparaisons).

De plus, la productivité augmente dans tous les cas lorsque le délai entre la date de récolte et la date de ponte s'accroît indépendamment de l'état de protection du nid (Tableau 1 et Fig. 2). Cela suggère qu'il existe des effets négatifs engendrés par les opérations de récolte lorsque la moisson est précoce dans le cycle de nidification. En effet, même si le nid est protégé, les poussins vont passer plus de temps au nid après la récolte. Notez que « le retrait ou la délocalisation » n'est appliquée que si les œufs ont éclos (voir Fig. 2) car les busards abandonnent l'incubation si les œufs sont déplacés du nid.

Tous les résultats présentés ci-dessus ont été confirmés lorsque les données ont été analysées séparément pour chaque mesure de protection en comparant les nids protégés et non-protégés, pour la même année et le même site. Cependant, dans ces analyses supplémentaires, la productivité estimée pour la « zone tampon » était légèrement plus élevée (moyenne =  $1,60 \pm 0,15$  SE) par rapport aux principaux résultats présentés ci-dessus.

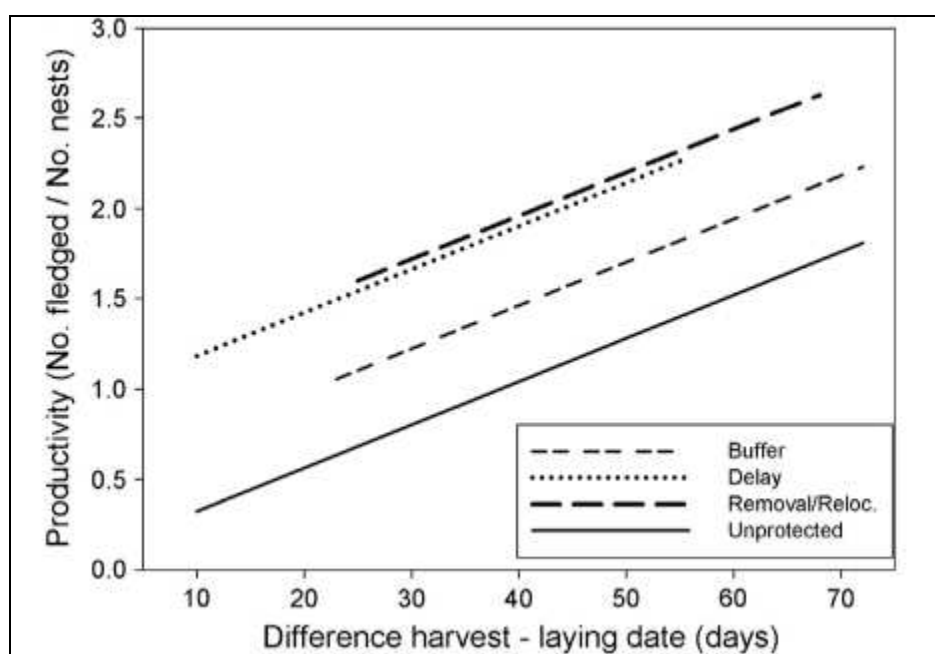
**Tableau 1 :** Résultats des modèles afin d'évaluer l'impact des mesures de protection (« retrait ou délocalisation », « récolte retardée », « zone tampon » et « nids non protégés ») et de la différence entre la date de récolte et la date de ponte ( $\Delta$  (date récolte-date ponte) sur la productivité des nids de Busard cendré en Espagne.

Variable	Num/Denom DF	F	p
Intercept <sup>a</sup>	1/116	9.6	0.002
Prot. mesure <sup>a</sup>	3/153	14.9	<0.001
$\Delta$ (harvest-laying date) <sup>a</sup>	1/112	26.43	<0.001
Prot. mesure * $\Delta$ (harvest-laying date) <sup>b</sup>	3/156	1.65	0.18

<sup>a</sup> Variable entrée dans le modèle pour laquelle les valeurs sont indiquées.

<sup>b</sup> Résultats de l'interaction testée dans un modèle distinct (incluant également les principaux effets).

**Figure 2 :** Evolution de la productivité du Busard cendré en fonction du délai compris entre les dates de ponte et de récolte pour les quatre mesures de protection. Les lignes représentent les droites de régression avec des pentes égales pour chaque mesure de protection (Tableau 1). Ces droites sont limitées le long de l'axe des abscisses en fonction de la plage de valeurs existantes disponibles pour chaque mesure de protection.



### 3.2. Coût-efficacité des mesures de protection

Après ventilation des coûts et des bénéfices pour chaque mesure de protection (voir Tableau 2), la mesure la plus rentable (c'est-à-dire, celle apportant le plus grand gain de productivité par unité monétaire dépensée) apparaît être la mesure de protection dénommée « Retard de récolte = *Delay harvest* » (avec un gain de 0.33 poussin pour 100 euros dépensés). Cependant, cela n'était vrai que dans certaines conditions où la production de céréales, et donc le paiement compensatoire, était faible, et lorsque plusieurs nids étaient présents sur une même exploitation agricole (c'est-à-dire avec un degré élevé de colonialité du Busard cendré).

Par contre, la mesure « Retard de récolte » a été la moins rentable (avec seulement un gain de 0.08 poussin pour 100 euros dépensés) lorsque les nids étaient isolés et situés dans des cultures très productives (par exemple, la luzerne), en raison des coûts de protection très élevés (voir Tableau 2).

La mesure « Retrait et délocalisation = *Removal/relocation* » (avec gain de 0.19 poussin pour 100 euros dépensés) semble être plus rentable que la mesure « zone tampon = *Buffer* » (avec gain de 0.08 poussins pour 100 euros dépensés), en raison, principalement, d'une productivité accrue par nid.

Cependant, ces évaluations sont sensibles à la quantité estimée de la main-d'œuvre nécessaire pour chaque mesure de protection. Les différences d'évaluation entre les mesures de protection étaient plus faibles lorsque le coût de la main-d'œuvre était plus élevé (voir Tableau 2).

**Tableau 2 : Coûts et bénéfices additionnels des différentes mesures de protection.**

- «*Extra productivity*» est le gain de productivité obtenu résultant de l'application d'une mesure par rapport au niveau de référence (productivité sans mesure de protection).
- «*Costs of protection*» sont les coûts des mesures de protection et se rapportent aux paiements directs aux agriculteurs pour protéger chaque nid.
- «*Extra fieldwork*» indique le nombre de jours de travail sur le terrain requis pour l'application d'une mesure.
- «*Extra costs*» sont les coûts supplémentaires et représentent la somme des coûts additionnels pour supplémentaire sur le terrain et l'application directe d'une mesure.

	Extra productivity	Costs of protection	Extra fieldwork	Extra costs <sup>1</sup>	Extra costs <sup>2</sup>	Extra fledglings/ 100e <sup>1</sup>	Extra fledglings/ 100e <sup>2</sup>
Buffer	0.4	24	3	324	474	0.12	0.08
Delay harvest (cereal, low productivity, colonial nesting) <sup>a</sup>	0.78	83	1	183	233	0.43	0.33
Delay harvest (cereal, high productivity, isolated nesting) <sup>b</sup>	0.78	360	2	560	660	0.14	0.12
Delay harvest (alfalfa, isolated nesting) <sup>c</sup>	0.78	700	2	900	1000	0.09	0.08
Removal/relocation	1.11	0	4	400	600	0.28	0.19

<sup>1</sup> Avec estimation de 2 jours de travail de terrain (recherche et suivi) sur la base de 100€ par jour de travail.

<sup>2</sup> Avec estimation de 2 jours de travail de terrain (recherche et suivi) sur la base de 150€ par jour de travail.

<sup>a</sup> Les frais de protection par nid sont calculées avec les données d'Estrémadure, avec des versements de 500 à 1000€ pour retarder la récolte dans les champs de 10 à 30 ha (622€ par domaine ou 46€ par ha en moyenne) et 7 nids par champ (valeurs moyennes observées dans ce domaine).

<sup>b</sup> les coûts de la protection par nid sont calculées avec les données de Catalogne, soit 360€ pour ½ ha autour d'un nid situé dans une culture peu productive.

<sup>c</sup> les coûts de la protection par nid sont calculées avec les données de Catalogne, soit 700€ pour ½ ha autour d'un nid situé dans une culture très productive (par exemple, luzerne).

### 3.3. Efforts à mettre en œuvre pour maintenir des populations viables et coûts induits

Nous rapportons l'effet relatif des mesures de protection sur la taille de la population de Busard cendré pendant 20 ans dans les cinq régions étudiées (voir Tableau 3), en prenant l'absence de mesure de protection comme point de référence. Augmenter les efforts de protection induit une augmentation significative de la taille de la population finale dans la plupart des régions (voir les coefficients positifs dans le Tableau 3) par rapport à l'absence de protection. L'efficacité des mesures de protection apparaît évidente.

La Figure 3 montre qu'en l'absence de toute mesure de protection des nids, les populations diminueraient au cours des 20 prochaines années dans toutes les régions mais cependant très faiblement dans la région de Madrid. Compte tenu des paramètres démographiques utilisés pour les analyses de viabilité des populations, protéger environ 40 % des nids en Andalousie, Estrémadure et Catalogne et environ 10 % en Aragon, serait probablement suffisant pour prévenir le déclin des populations à moyen terme (Fig. 3). Les coûts estimés par an pour atteindre cet objectif sont estimés entre 303 732 € et 455 598 € en Andalousie, entre 150 488 € et 176 814 € en Estrémadure, entre 20 181 € et 24 521 € pour la Catalogne et entre 7 392 € et 11 088 € en Aragon (en incluant le cas échéant les coûts de main-d'œuvre pour les travaux sur le terrain).

Étonnamment, la petite population de Madrid semble très peu dépendante des mesures de protection dans cette région, mais elle est également concernée par les efforts de protection mis en œuvre dans les régions voisines du fait de l'importante dispersion des individus nicheurs chez le Busard cendré (cela est mis en évidence par la différence entre le haut et le bas des lignes pleines sur la Figure 3).

Des analyses de sensibilité suggèrent que les variations de la fécondité et de la survie adulte de l'ordre de 5% et 10% ont un impact significatif sur le risque d'extinction de la métapopulation. Le même résultat a été trouvé lorsque le taux de dispersion augmente de 10 %. En revanche, les résultats semblent ne pas être sensibles aux variations ( $\pm 5\%$  et  $10\%$ ) de la survie juvénile. L'examen visuel des figures produites en modifiant chaque paramètre démographique de 5 % suggère que les résultats sont plus sensibles aux variations de la survie des adultes.

**Tableau 3 :** Résultats de cinq GLMs (distribution de Poisson avec log) pour évaluer l'impact sur la taille de chaque population régionale, de la mise en œuvre des différentes mesures de protection par rapport à un état initial (sans mesures de protection).

- Le signe (+/-) des coefficients indique si une mesure a augmenté ou diminué la taille de la population dans cette région après 20 ans de simulation à l'aide des analyses de viabilité des populations (PVA) par rapport à l'état initial c'est-à-dire en absence de protection.
- Les mesures de protection les plus efficaces dans chaque région sont en caractères gras. RemRel signifie « Retrait ou délocalisation » des poussins. Buffer signifie « zone tampon ». Delay signifie « Retard de récolte ».
- A Noter que toutes les mesures de protection n'ont été mises en œuvre dans chaque région.

	Coeff	SE	T	P
<i>Andalucia</i>				
Buffer	0.017	0.004	4.21	<0.001
<b>RemRel</b>	0.046	0.005	9.56	<0.001
<i>Aragon</i>				
Buffer	0.049	0.007	7.44	<0.001
<b>RemRel</b>	0.053	0.006	9.15	<0.001
Delay	-0.071	0.006	-12.27	<0.001
<i>Extremadura</i>				
Buffer	-0.002	0.002	-1.42	0.159
RemRel	0.006	0.002	3.95	<0.001
<b>Delay</b>	0.015	0.002	9.21	<0.001
<i>Madrid</i>				
Buffer	-0.001	0.001	-0.98	0.329
<b>RemRel</b>	0.001	0.001	1.04	0.299
<i>Catalunya</i>				
<b>Delay</b>	0.121	0.005	25.37	<0.001

## Discussion

Les résultats montrent que les mesures de protection des nids de Busard cendré mises en œuvre en Espagne dans les habitats cultivés ont un impact élevé, quoique variable, sur l'augmentation de la productivité et le maintien de la viabilité des populations. La productivité moyenne des nids non protégés est inférieure à 1,5 poussin par couple, excepté lorsque l'écart moyen entre la date de ponte et la date de récolte est proche de deux mois (c'est-à-dire lorsque la moisson se produit à proximité de la date d'envol), ce qui se passe dans de très rares occasions en Espagne. Même si les résultats de la modélisation doivent être pris avec précaution (voir ci-dessous), ils suggèrent qu'en l'absence de mesures de protection des nids, les populations de Busard cendré diminueraient dans les habitats agricoles durant les 20 prochaines années, en accord avec les suggestions initiales émises par Arroyo et al., (2002).

### 4.1. Rapport coût/efficacité des différentes mesures de protection

Nos résultats suggèrent qu'en général, les mesures de protection les plus rentables pour améliorer la productivité des nids dans les habitats cultivés pour atteindre des niveaux proches de ceux trouvés dans les habitats naturels (Arroyo et al., 2002) étaient les mesures « retrait ou délocalisation » des poussins et « retard de récolte ». Cependant, ces résultats varient selon les régions, selon les comportements locaux des oiseaux (par exemple, le niveau de colonialité du Busard cendré) mais aussi avec les conditions agronomiques (par exemple, rentabilité de la production céréalière). Ainsi, la mesure « Retard de récolte » a été la mesure de protection la plus rentable dans des situations de nidification coloniale et avec des céréales à faible rentabilité (d'où un coût d'indemnisation plus faible), mais cette mesure a été une des moins rentables lorsque les nids étaient isolés et la rentabilité des cultures élevée. De plus, l'efficacité de différentes mesures varie également entre les régions (Tableau 3), en lien, peut-être, avec des densités variables de prédateurs.

Par ailleurs, pour les acteurs agissant à l'échelle locale et sur des terrains privés, des contraintes logistiques liées au contexte socio-écologique peuvent gêner la mise en œuvre des mesures les plus rentables. Par exemple, la mesure « Retrait des poussins » ne peut être appliquée que si la récolte a lieu après l'éclosion et dans des zones où la paille n'est pas emballée immédiatement après la moisson. De même, pour la délocalisation des poussins, il faut que des champs favorables avec de la végétation (ou bien des bordures de champs) soient disponibles à proximité du nid. Ce n'est pas souvent le cas dans les zones agricoles espagnoles cultivées de façon intensive. La mesure « Retard de récolte » est également mieux acceptée par les agriculteurs lorsqu'ils possèdent leurs propres moissonneuses-batteuses, et ne sont pas obligés de les louer. Le coût de la main-d'œuvre influence également la rentabilité de la mesure de protection, ainsi, les meilleures options varient lorsque les protecteurs sont des bénévoles ou bien des salariés. Étant donné que le contexte socio-écologique varie dans l'espace, et éventuellement dans le temps, cela cause une grande variabilité de la rentabilité des différentes mesures de protection. Cela induit aussi que des solutions locales soient plus efficaces qu'une solution unique, généralisée. Cela explique également la raison pour laquelle des mesures moins optimales en terme de rapport coût/efficacité, comme par exemple la « Zone tampon », soient parfois préférentiellement mises en œuvre.

La mesure « Zone tampon » autour du nid, bien qu'elle soit souvent moins coûteuse que les autres mesures de protection, n'était pas la plus efficace. Cela est intéressant car c'est la mesure de protection la plus souvent appliquée en Espagne (53 % des nids protégés dans notre jeu de données). La grande majorité des « zones tampon » dans nos études (et ailleurs en Espagne) ont été réalisées sans pose de clôture et sont généralement de petite taille. Ainsi, après la récolte, le nid est laissé dans une parcelle petite et très visible qui peut attirer les prédateurs terrestres et aériens. La prédation peut donc expliquer la diminution de la

productivité de cette mesure de protection par rapport aux autres mesures telles « Retard de récolte » ou « Retrait et délocalisation », où les poussins demeurent dans un environnement peu différencié et donc sont moins détectables par les prédateurs. La prédation au nid est reconnue comme étant probablement la principale cause de mortalité de la nichée (Martin, 1995), en particulier pour les espèces nichant au sol (Rickenbach et al., 2011 ; Schekkerman et coll., 2009) et, de ce fait, la mortalité est souvent dépendante du degré de dissimulation du nid (voir, par exemple, Gillis et al., 2012).

Un potentiel d'amélioration pour la gestion de la conservation à l'aide d'une « zone tampon » pourrait donc être de le protéger avec une clôture. Aux Pays-Bas, la conservation d'une petite zone tampon, entouré d'une clôture a fait ses preuves dans la protection des nids de Busard cendré, et il a été facilement accepté par les agriculteurs locaux (Koks et Visser, 2002). Des preuves similaires sont également observées en France (Santangeli, 2013). Il est cependant nécessaire d'évaluer si une zone tampon clôturée serait efficace dans les habitats espagnols (car il y a de nombreux prédateurs aviaires en plus des mammifères terrestres), si elle serait acceptée aussi par les agriculteurs dans le contexte agronomique local et quels seraient les coûts supplémentaires induits.

Le déclin évident de la population du Busard cendré en l'absence de mesures de protection des nids est un argument que doivent prendre en compte les Administrations afin de maintenir les engagements de l'UE pour protéger cette espèce de l'annexe 1. Néanmoins, les coûts estimatifs pour la mise en œuvre des mesures de protection les plus rentables dans chacune des régions pourraient être jugés trop élevés, et cela pourrait poser un problème pour les Administrations ayant des budgets limités et beaucoup d'autres responsabilités environnementales. Par conséquent, il apparaît crucial de trouver des solutions durables pour assurer la conservation à long terme du Busard cendré.

Dans cette même optique, une question pertinente est de savoir s'il ne serait pas plus rentable sur le long terme de concentrer les efforts de conservation vers les populations nichant dans les habitats naturels plutôt que dans les habitats agricoles où la protection des nids est plus coûteuse (Cardador et coll. In prep). La végétation naturelle pourrait être protégée ou restaurée, et les populations pourraient pouvoir progressivement se déplacer depuis les habitats cultivés vers des habitats naturels, répondant ainsi aux objectifs à long terme des programmes de conservation. Cette solution rejoint le débat actuel concernant la gestion des habitats, entre la notion d'espaces partagés (prônant l'application d'une agriculture respectueuse de l'environnement) et d'espaces protégés (maintien d'espaces naturels non productifs contigus aux espaces cultivés de façon intensive, Green et al., 2005). Pour savoir si l'une ou l'autre de ces approches ne serait pas plus efficace à long terme pour maintenir les populations de Busard cendré, il faudrait mettre en œuvre de nouvelles évaluations écologiques et agro économiques.

#### **4.2. Méthodes et biais possible**

Notre méthode est basée sur une analyse de viabilité des populations selon des scénarios « hypercube », cela représente un premier pas pour définir le rapport coût-efficacité des différentes mesures de protection. Cela nous a permis de simuler des trajectoires de population à travers une gamme complète de scénarios d'attribution des ressources pour chaque mesure de protection, de définir quelle est la mesure la plus efficace pour accroître la taille de la population à moyen terme, et finalement, d'estimer les coûts globaux nécessaires pour atteindre un état de population viable. Généralement, les évaluations des mesures de conservation se contentent de déterminer la mesure qui induit la plus forte augmentation des principaux paramètres démographiques (voir, par exemple, Grüebler et al., 2012 ; Santangeli et al., 2012). En réalité, les protecteurs intervenant sur des propriétés privées doivent tenir compte

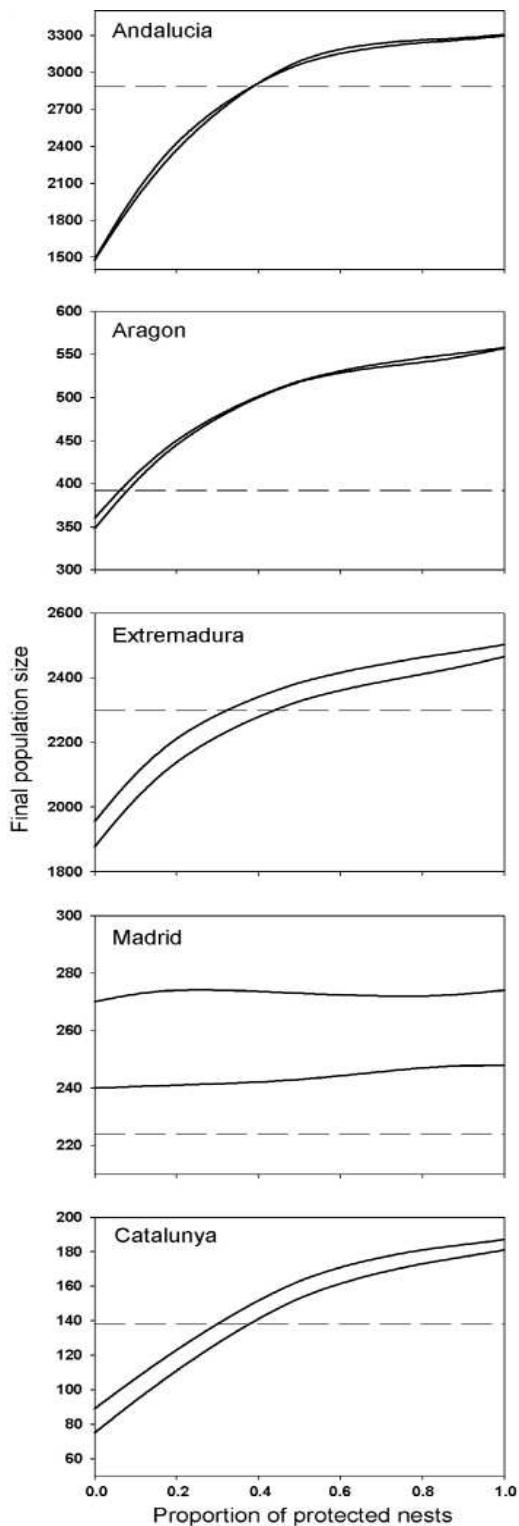


de la dimension sociale qui affecte souvent la faisabilité des actions (Knight et al., 2010). Ils sont également contraints par les ressources budgétaires. En intégrant explicitement un continuum de scénarios dans une analyse coût-efficacité, cela permet d'explorer des options réalistes et applicables. Cependant, ces résultats ne sont pas dépourvus d'incertitudes et de biais possibles dont nous discutons dans les paragraphes suivants.

Malheureusement, lorsque vous travaillez avec des données collectées à des fins autres que l'objectif de l'étude spécifique, il y a toujours un risque de manque d'informations ou de biais d'échantillonnage. Il peut y avoir des préjugés relatifs à la façon dont les nids sont attribués à une mesure spécifique de protection ou laissé sans protection. Idéalement cette allocation aurait été faite au hasard, mais il est probable que des mesures de protection pour les nids particulières ont été sélectionnées fondées sur une évaluation a priori des leurs chances de réussir. Si c'est le cas, la productivité de ces mesures de protection peut avoir été surestimée. D'autre part, les acteurs de terrain peuvent également décider de façon subjective de laisser sans protection des nids qu'ils considèrent avoir de fortes chances de réussir s'ils étaient laissés sans protection. La productivité peut également varier entre les régions pour des raisons autres que la protection. Conscients de ces limites, nous avons appliqué une approche prudente, en utilisant les seules données des sites où les nids non protégés étaient également surveillés, en demandant des éclaircissements aux propriétaires des données, en excluant éventuellement certaines données, et en réalisant des analyses supplémentaires pour vérifier la robustesse des résultats. Dans l'ensemble, nous croyons que ces incertitudes peuvent, le cas échéant, s'annuler mutuellement, et ainsi, avoir peu d'incidences sur les conclusions générales de notre étude.

En revanche, la précision de nos analyses de viabilité des populations (PVA) dépend de l'exactitude de l'information démographique que nous avons entrée. Des données sur la survie, la fécondité et la dispersion des populations du Busard cendré en Espagne et de France étaient disponibles, mais elles étaient également entourées de beaucoup d'incertitudes. Cette incertitude pourrait avoir été amplifiée du fait de la variation spatiale des paramètres démographiques clés pour lesquelles des informations détaillées n'étaient pas disponibles au niveau régional (à l'exception de la fécondité). Dans l'ensemble, cette incertitude peut masquer les véritables motifs qui se produisent à l'échelle locale, et par conséquent nos résultats sur les analyses de viabilité doivent toujours être interprétés avec prudence, en gardant cela à l'esprit. Dans cette optique, nos analyses de sensibilité montrent que les résultats varient avec les variations de certains paramètres démographiques clés, tels que de la survie des adultes. Cela appelle à la prudence dans l'interprétation des résultats, mais souligne également la nécessité de recueillir des informations plus précises sur la survie des adultes et éventuellement d'autres paramètres. Par exemple, une réduction de la survie des adultes, en raison de facteurs agissant à des échelles spatiale et temporelle plus larges (par exemple, les lieux d'hivernage et de migration ; Limiñana et al., 2012b) que celles considérés dans notre étude, risquent d'entraver les coûteux programmes de conservation menés pour accroître la productivité en Espagne.

Enfin, dans cette étude, nous avons volontairement mis l'accent sur les populations de Busard cendré se reproduisant dans les habitats agricoles des cinq régions étudiées. Nous avons négligé les populations relativement localisées qui se reproduisent dans les habitats naturels, mais ces dernières peuvent affecter les populations étudiées, par exemple, par le biais de la dispersion. Par conséquent, nos résultats fournissent seulement une vue partielle de la conservation du Busard Cendré en Espagne, même si elle concerne une grande part de la population compte tenu de la forte proportion d'oiseaux se reproduisant dans les habitats agricoles.



**Figure 3 :** Taille de la population finale après 20 ans de simulation en fonction de la proportion de nids protégés par la mesure la plus efficace dans les 5 régions étudiées.

- La mesure de protection « Retrait ou délocalisation » a été appliquée en Andalousie, Aragon et Madrid et la mesure « retard de récolte » en Estrémadure et Catalogne.

- La taille de population provient des valeurs obtenues directement par l'analyse de la viabilité des populations en fonction d'un taux variable de protection des nids par la mesure la plus efficace, tandis que les autres mesures moins efficaces ne sont pas ici prises en compte.

- Les deux lignes courbes dans chaque graphique décrivent les scénarios d'une part où il n'y n'aurait aucune protection dans chacune des quatre autres régions (ligne inférieure basée sur la productivité des nids non protégés), et d'autre part, où les nids des autres régions seraient protégés par la mesure la plus efficace (ligne supérieure).

- Le trait horizontal en pointillés indique dans chaque graphique la taille de la population au début de la période de simulation.

## **Conclusions**

Nous avons mis en évidence la rentabilité des différentes mesures de protection des nids de Busard cendré dans les habitats agricoles et suggérons des solutions pratiques et efficaces d'attribution des ressources financières dans chacune des cinq régions étudiées afin de soutenir le maintien de la viabilité des populations. Ces informations sont particulièrement utiles aux gestionnaires pour prendre des décisions de gestion basées sur des éléments de preuve dans des conditions critiques de réductions budgétaires et compte-tenu des nombreuses priorités d'actions. Les mesures de protection des nids de Busard cendré sont appliquées depuis de nombreuses années dans plusieurs régions d'Espagne, ainsi qu'en France, en Italie, en Pologne, aux Pays-Bas, en Allemagne, au Bélarus et éventuellement dans d'autres pays (Arroyo et al., 2003). En Espagne, ces mesures entraînent des investissements annuels, parfois importants, des autorités locales ou des ONG de conservation (Arroyo et al., 2003). Jusqu'à présent, il n'existait pas d'évaluation précise du rapport coût-efficacité des mesures de protection, et les décisions devaient être prises sur la base d'éléments de preuve anecdotiques ou traditionnels, plutôt que scientifiques.

Bien que les résultats concernent un contexte spécifique à l'espèce, les implications s'étendent bien au-delà de cette étude. Néanmoins, l'importante variabilité spatiale observée dans l'estimation de la rentabilité de chaque mesure de protection plaide pour la mise en œuvre d'évaluations spécifiques à l'échelle locale. Compte tenu de la spécificité dans le rapport coût/efficacité des mesures de gestion, au sein et entre les taxons, ainsi qu'à différentes échelles spatiales, nous recommandons de généraliser des études d'évaluation telle la présente étude. Les résultats peuvent aider à réduire le gaspillage de ressources financières déjà rares et permettre de résoudre plus efficacement les défis majeurs pour la conservation de la biodiversité.