

Cartographie de l'habitat du chamois des Balkans et évaluation des perturbations humaines et des impacts des énergies renouvelables sur le mont Oiti, en Grèce

Papakostas et al. *Discover Conservation* (2025) 2:29
<https://doi.org/10.1007/s44353-025-00050-2>

Discover Conservation

RESEARCH

Open Access

Mapping Balkan chamois habitat use and assessing human disturbance and renewable energy impacts on Mount Oiti, Greece



Konstantinos Papakostas¹, Christos Astaras² and Vassiliki Kati^{1*}

Résumé

Le chamois des Balkans (*Rupicapra rupicapra balcanica*) est un ongulé protégé dont le statut de conservation est précaire en Grèce. Nous avons mené des enquêtes saisonnières (2023) afin de recenser 652 occurrences de l'espèce sur le mont Oiti (zone d'étude : 156 km²). Les aires de répartition saisonnières et les zones centrales respectives (estimations de densité kernel) ont montré une variation de taille limitée et un grand chevauchement spatial, indiquant des mouvements saisonniers limités. L'habitat approprié (valeurs d'adéquation $\geq 0,6$) tel que défini par les modèles de distribution des espèces (SDMs) couvrait 12,2 km², dont 28% s'étendaient au-delà du réseau Natura 2000 des zones protégées. Les chamois habitaient les forêts tout au long de l'année, en plus des prairies en été et en automne. Les trois variables qui contribuaient le plus aux SDMs étaient liées aux perturbations humaines. L'espèce évitait fortement les zones proches des enclos à bétail, des routes et des terrains de chasse. Trois centrales éoliennes sont prévues ; si elles sont construites, l'espèce perdra 17% de son habitat approprié et pourrait voir son aire de répartition réduite. L'impact de neuf petites centrales hydroélectriques proposées reste incertain. Ces résultats soulignent la nécessité d'éviter la construction d'infrastructures et de routes dans les habitats adaptés aux chamois, d'étendre les zones protégées et les refuges fauniques, et de gérer les activités d'élevage, en soutenant la mise en œuvre du plan d'action national pour l'espèce.

Mots clés : *Rupicapra*, Aire de répartition, Forêt, Sélection de l'habitat, Adéquation de l'habitat, Chasse, Bétail, Centrales éoliennes

1. INTRODUCTION

Les perturbations humaines ont un impact profond sur la faune sauvage à travers de multiples mécanismes, notamment la perte et l'altération des habitats dues au développement des infrastructures, à la pollution et au changement climatique. Elles réduisent également directement la densité des populations par la chasse et la récolte, créent des paysages anthropiques anxiogènes et remodelent les communautés biologiques en introduisant des

prédateurs ou des agents pathogènes [1]. Les espèces d'ongulés ont développé plusieurs stratégies pour éviter les humains, notamment une activité nocturne accrue [2, 3], une réduction de leur rayon d'action [4] et des modifications dans leurs modes d'utilisation des ressources [1, 5, 6]. **En outre**, le réchauffement climatique induit par l'homme devrait réduire l'aire de répartition des ongulés de montagne en les poussant vers des altitudes plus élevées ou dans les forêts pour échapper à la hausse des températures [7, 8].

Il est essentiel de mieux comprendre les besoins écologiques des espèces face aux pressions induites par l'homme afin d'atténuer les menaces, et les modèles d'adéquation des habitats constituent un outil clé dans cet effort. Ces modèles analysent la relation entre la présence des espèces et les variables environnementales et humaines perturbatrices, pour aboutir à la cartographie des habitats adaptés aux espèces et à l'identification des facteurs clés qui les façonnent [9]. Ces prévisions fournissent des informations précieuses pour la gestion et la planification de la conservation. Elles peuvent par exemple aider les décideurs à désigner des zones protégées, à prévoir les changements d'aire de répartition dus au changement climatique et à mener à bien des projets de restauration [10-13].

Une espèce dont la conservation est préoccupante et qui a été classée comme prioritaire au niveau national pour bénéficier de telles mesures de conservation est le chamois des Balkans (*Rupicapra rupicapra balcanica*). Sa population mondiale est inférieure à 10 000 individus répartis dans neuf pays, avec 1 330 à 1 765 individus en Grèce répartis dans 30 populations, ce qui montre une tendance à la hausse de la population nationale [14]. Elle est protégée par la législation Européenne (inscrite aux annexes II et IV de la directive 92/43/CEE « Habitats »), mais son état de conservation en Grèce est médiocre et classé comme « inadéquat-mauvais » (U2) [15], **malgré l'interdiction de la chasse depuis plus de cinquante ans. C'est pourquoi un plan d'action national pour le rétablissement de la population a été élaboré et approuvé pour mise en œuvre** [16]. Selon ce plan d'action, environ 7 409 km² de la Grèce (5,6% du territoire national) constituent un habitat potentiel pour le chamois. **Cependant**, le chamois n'occupe actuellement qu'environ un quart de cette superficie (1,5% de la Grèce), et la qualité de ces habitats n'a pas encore été évaluée. Les pressions synergiques exercées par le braconnage des chamois, la construction de nouvelles routes et la chasse d'autres espèces prédominent, tandis que d'autres pressions comprennent la concurrence avec le bétail dans les pâturages montagneux, le tourisme, l'exploitation minière, l'isolement génétique et le changement climatique [16].

La présente étude se concentre sur la population de chamois des Balkans du mont Oiti, une montagne réputée pour la diversité et l'endémisme de sa flore [17], qui abrite une faune riche [18] et est protégée en tant que parc national depuis 1966. La montagne est située près du mont Giona, les deux occupant la partie sud de l'aire de répartition du chamois des Balkans. Un schéma de répartition saisonnière « méditerranéen » particulier a été signalé pour le mont Giona, la population se regroupant autour des sommets les plus élevés pendant l'été afin de surmonter le stress hydrique imposé par la période estivale chaude [19]. Nous avons cherché à savoir si ce modèle s'appliquait également à la population du mont Oiti, qui se caractérise par des conditions climatiques similaires, avec des étés chauds et arides et des hivers doux, mais qui, d'un autre côté, dispose de forêts plus étendues et d'une disponibilité permanente en eau. La population du mont Oiti pourrait suivre soit le modèle « méditerranéen » (période de stress en été), observé dans les montagnes arides (mont Giona et mont Olympe) [19, 20],

soit le modèle « continental » typique (période de stress en hiver) observé dans les montagnes plus fraîches et plus humides (mont Tymfi) [21], soit ne subir aucun stress saisonnier. Nous avons également cherché à savoir si la population présentait un comportement forestier ou suivait le modèle typique de rotation saisonnière des chamois [22]. Ce modèle a été observé chez d'autres populations en Grèce : les animaux vivent dans des habitats forestiers de basse altitude, principalement en hiver, puis montent progressivement vers les prairies montagneuses ouvertes au-dessus de la limite des arbres en été, où ils restent en automne pendant la saison du rut [19-21]. Notre objectif était d'évaluer l'habitat approprié de l'espèce sur le mont Oiti, d'identifier les principaux facteurs qui le façonnent et de déterminer quelles pressions anthropiques décrites dans le plan d'action sont présentes dans la région. **En outre**, nous discutons de l'impact probable des nouvelles infrastructures d'énergie renouvelable prévues [23] et de leur impact potentiel sur les habitats des chamois. Il existe de plus en plus de preuves des impacts négatifs cumulatifs des infrastructures d'énergie renouvelable sur la faune sauvage et les écosystèmes naturels, notamment la mortalité directe des espèces, la perte, la dégradation et la fragmentation des habitats, la déforestation, l'érosion, la pollution sonore et lumineuse, la perturbation des cycles hydrologiques et la perte de stocks de carbone [24-26]. **Cependant**, l'impact de ces projets d'énergie renouvelable sur les populations de chamois n'a pas été étudié, et notre compréhension des impacts sur les mammifères terrestres en général reste limitée [27]. Alors que le secteur de l'énergie éolienne se développe rapidement en Grèce, le pays figurant parmi les marchés les plus attractifs au monde en matière d'énergies renouvelables [28], notre étude sert de paradigme typique des conflits entre les politiques de biodiversité et celles d'énergie renouvelable, qui nécessitent des solutions d'aménagement du territoire durables [29]. Nous avons fixé quatre objectifs pour l'étude de cas de la population de chamois des Balkans sur le mont Oiti. Nous avons cherché à : (a) explorer les aires de répartition annuelles et saisonnières, y compris les zones centrales fréquemment utilisées par la population ; (b) identifier les facteurs clés qui déterminent un habitat approprié et fournir une carte de l'adéquation des habitats ; (c) explorer les préférences de l'espèce en matière d'habitat ; et (d) évaluer l'impact des infrastructures d'énergie renouvelable prévues sur l'habitat des chamois. Nous discutons enfin de nos conclusions dans une perspective de conservation, dans le cadre des actions suggérées par le plan d'action national [16].

2. MATERIEL et METHODES

2.1. Zone d'étude

La zone d'étude est située sur le mont Oiti, dans le sud de la Grèce (38°49'43"N 22°17'19"E). Elle couvre 156 km², ce qui correspond à l'aire de répartition de l'espèce sur le mont Oiti selon la liste rouge des espèces menacées de l'UICN [14] (Fig. 1). Il s'agit d'une zone montagneuse dont l'altitude moyenne est de 1 361 m, s'étendant de 92 à 2 152 m (sommet du Pyrgos), 81% de sa superficie se situant au-dessus de 1 000 m. Le substrat géologique est principalement constitué de calcaire (60%) et de flysch (32%), et la montagne se caractérise par des cours d'eau et des plans d'eau pérennes (Fig. S1). Les précipitations annuelles étaient de 854 mm et la température variait de -16,4°C (moyenne des valeurs minimales) à 33,7°C (moyenne des valeurs maximales) (données de la station météorologique de Vrizes, 1 250 m : 2020-2022). Il s'agit d'une zone boisée (76% de couverture forestière), dominée par des forêts de conifères, principalement des forêts de sapins grecs (*Abies cephalonica*), avec une petite zone au nord-est où l'on trouve des pins noirs (*Pinus nigra*), selon la typologie EUNIS [30]. Les forêts de feuillus sont principalement composées de chênes à feuilles caduques (*Quercus* spp.).

Les forêts mixtes se composent principalement de peuplements mixtes de chênes et de sapins dans les parties sud et ouest. Les prairies montagneuses dominent à des altitudes plus élevées (16% de couverture), combinées à des zones rocheuses et des éboulis. Les broussailles (5% de couverture) se composent d'espèces thermophiles à feuilles persistantes (*Quercus ilex*, *Pistacia lentiscus*, *Arbutus* spp., *Quercus coccifera*).

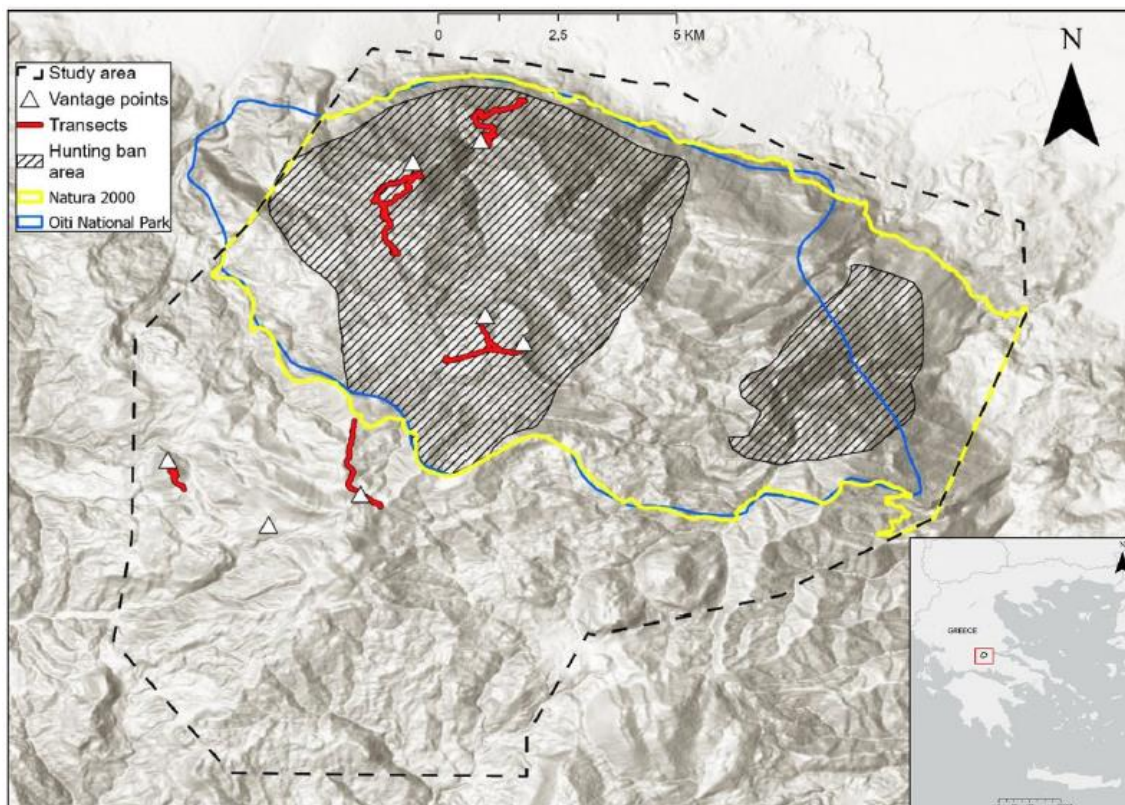


Fig. 1. Zone d'étude sur le mont Oiti et transects et points d'observation utilisés pour le recensement des chamois en 2023. La carte montre les limites du parc national d'Oiti (fondé en 1966) et les limites fusionnées des trois sites Natura 2000 situés dans la zone d'étude (GR2440003, GR2440004, GR2440007) ainsi que les zones d'interdiction de chasse (le grand polygone correspond à la zone centrale du parc national d'Oiti et le petit polygone à la réserve naturelle). Plus de détails dans la Figure S3

La population de **chamois** des Balkans est passée d'environ 10 à 30 individus dans les années 1980 [31] à 65 à 80 individus en 2016 et affiche une tendance à la hausse [16]. Les autres espèces d'ongulés sauvages présentes dans la région sont le chevreuil (*Capreolus capreolus*) et le sanglier (*Sus scrofa*). Les prédateurs du chamois comprennent le loup gris (*Canis lupus*) et l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*). Des ours bruns (*Ursus arctos*) ont également été signalés occasionnellement dans la région. Les activités humaines dans la zone d'étude comprennent le tourisme de montagne, la sylviculture et l'élevage de bovins et d'ovins/caprins en liberté, qui a généralement lieu de fin juin à septembre (9 438 animaux représentant 0,09 unité de bétail par hectare en 2015) [32] (Tableau S1). Le pâturage du bétail est considéré comme modéré en termes de densité de bétail, par rapport à la moyenne nationale [33].

Plus de la moitié de la zone d'étude (52%) se trouve dans les limites du réseau Natura 2000 de zones protégées, qui comprend trois sites qui se chevauchent, totalisant 80,5 km² sur les 156 km² de la zone d'étude (Fig. S2) [34]. L'un de ces sites (GR2440004) est le parc national d'Oiti, qui comprend une zone centrale strictement protégée (34,7 km²) correspondant à la catégorie II de l'UICN (parc national) [35], où la construction de routes et autres aménagements, la chasse et l'exploitation forestière sont interdits. En outre, une réserve

naturelle (8,5 km²) chevauche les trois sites Natura 2000 [34], où la chasse est interdite (catégorie IV de l'UICN : zone de gestion des habitats/espèces) [35]. L'unité de gestion des parcs nationaux de Parnassos et d'Oiti et des zones protégées de la Grèce centrale orientale de l'Agence pour l'environnement naturel et le changement climatique (NECCA) gère la zone. La gestion forestière est assurée par le Service des forêts.

2.2. Recensements des chamois

Nous avons recensé cinq transects d'une longueur totale de 24 km, ainsi que sept points d'observation, au cours des quatre saisons de l'année 2023, couvrant tous les principaux habitats des chamois entre 470 et 2 120 m d'altitude (Fig. 1). Chaque enquête saisonnière a été menée pendant sept jours consécutifs sur le terrain (printemps : 27/4-3/5 ; été : 27/6-3/7 ; automne : 22/9-28/9 ; hiver : 7/12-13/12). Les quatre saisons reflétaient les phases clés du cycle annuel des chamois [36] : le printemps (y compris la période de mise bas, du 10/03 au 09/06), l'été (période chaude, du 10/06 au 09/09), l'automne (du 10/09 au 09/12, y compris la période du rut qui commence en novembre [22]) et l'hiver (période froide, du 10/12 au 09/03). Compte tenu de la visibilité le long de la ligne de visée des transects, nous avons effectivement étudié 17% de la zone d'étude (26,6 km²) (Fig. S3). À l'aide de jumelles et d'un télescope, nous avons recueilli des observations directes (animaux) et indirectes (crottes et traces) de chamois, et nous avons géoréférencé toutes les observations (appareil GPS).

Dans le cas d'un groupe, nous avons enregistré chaque individu séparément. Les crottes qui n'étaient pas fraîches, déterminées par leur couleur et leur texture, ont été attribuées à la saison précédente, et les crottes très anciennes n'ont pas été enregistrées. Les ensembles de données non filtrés peuvent entraîner des biais géographiques et environnementaux, ce qui se traduit par une surreprésentation des conditions environnementales associées aux zones plus densément échantillonnées [37].

Pour remédier à ce problème, nous avons appliqué un éclaircissement spatial en superposant une grille de 25 × 25 m et en ne conservant qu'une seule observation par cellule de la grille, à l'aide du package « spThin » dans R [38]. L'éclaircissement spatial réduit le surajustement et améliore les performances du modèle en minimisant l'autocorrélation spatiale et le biais d'échantillonnage [39].

2.3 Analyse des données

2.3.1 Variables environnementales

Nous avons créé une base de données environnementale de dix variables à une échelle de 25 × 25 m liées à la topographie, aux principaux types de végétation et aux perturbations humaines. Nous avons calculé trois variables topographiques (altitude, pente et rugosité du terrain) à l'aide d'un modèle numérique d'élévation (DEM) d'une résolution de 25 m (Copernicus Land Monitoring Service, version 3, 2021). Pour les calculs de pente et de rugosité, nous avons utilisé la fonction « terrain » du package « terra » [40] dans R. Nous avons pris en compte trois types de végétation principaux : les forêts (G1-G5), les prairies (E1, E2, E4, F2) et les broussailles (F5) selon la typologie EUNIS [30] (Tableau S2). Nous avons calculé quatre paramètres liés à la perturbation humaine. Nous avons utilisé le réseau routier (263 km) [41] pour générer une couche SIG indiquant la distance par rapport à la route la plus proche (goudronnée et non goudronnée) (Fig. S3). Nous avons également utilisé

la base de données disponible sur les enclos à bétail (50 enclos) [32] (Fig. S3) fournie par l'unité de gestion locale du NECCA et les polygones des zones d'interdiction de chasse (données provenant de geodata.gov.gr) (Fig. 1) pour générer deux couches SIG représentant les distances par rapport à ces deux caractéristiques. En outre, nous avons cartographié le terrain de fuite sous forme de pentes raides ($> 45^\circ$) et étendues ($\geq 2\,500\text{ m}^2$) [20] et nous avons calculé la distance des observations par rapport à celui-ci. Nous avons effectué les calculs de distance dans ArcGIS Pro (version 3.1.0) à l'aide de l'outil « Accumulation de distance ».

2.3.2 Aires de répartition annuelles et saisonnières

Pour déterminer les aires de répartition saisonnières et annuelles du chamois des Balkans sur le mont Oiti, nous avons utilisé l'ensemble des données d'observations directes et indirectes pour la partie de la zone d'étude étudiée, et avons employé les estimations de densité du noyau (KDE) et le package « adehabitatHR » [42] dans R, avec une estimation du noyau fixe à 95% [43]. **De plus**, nous avons délimité les zones centrales saisonnières et annuelles, définies comme les zones présentant la plus forte intensité d'utilisation spatiale (c'est-à-dire les zones où les chamois sont susceptibles de passer le plus de temps) [44]. Nous avons calculé l'aire de répartition annuelle et la zone centrale en fusionnant respectivement les quatre aires de répartition saisonnières et les zones centrales. Les calculs de traitement et d'analyse des données ont été effectués à l'aide d'ArcGIS Pro (version 3.1.0) et du programme R (version 4.3.0) [45].

2.3.3 Modèle d'adéquation de l'habitat

Nous avons utilisé le package « sdm » dans R [46] pour modéliser l'habitat approprié de l'espèce et fournir la carte d'adéquation de l'habitat correspondante. Dans un premier temps, nous avons évalué la multicollinéarité entre les variables à l'aide du facteur d'inflation de la variance (VIF) avec la fonction « vifstep » (<3) [47, 48]. Le VIF est basé sur le carré du coefficient de corrélation multiple (R^2) résultant de la régression de la variable prédictive par rapport à toutes les autres variables prédictives et constitue une méthode plus précise que la corrélation de Pearson [46]. Les forêts, la pente et la distance par rapport au terrain de fuite se sont avérées présenter une colinéarité avec les prairies, la rugosité et la distance par rapport aux zones d'interdiction de chasse, respectivement, et ont été exclues de l'analyse.

Comme nous ne disposions pas de données réelles sur les absences, nous avons adapté notre base de données sur les présences uniquement afin de l'utiliser dans un cadre de modélisation des présences et des pseudo-absences en générant des points de pseudo-absence. Pour ce faire, nous avons utilisé la technique de modélisation Random Forest (RF) et un rapport de 1:1 entre les points de présence et les points de pseudo-absence, comme recommandé pour les modèles RF dans les applications écologiques [49], et avons alloué 30% des données comme données de test pour la validation du modèle. Nous avons utilisé deux mesures d'évaluation pour évaluer les performances du modèle : l'aire sous la courbe (AUC) et la statistique de compétence réelle (TSS). L'AUC évalue la capacité du modèle à distinguer les points de présence et d'absence, avec des valeurs allant de 0,5 (prédiction aléatoire) à 1 (prédiction parfaite), et est une mesure largement utilisée pour l'évaluation des modèles dans les études écologiques [50]. La TSS tient compte à la fois de la sensibilité (taux de vrais positifs) et de la spécificité (taux de vrais négatifs), avec des valeurs allant de -1 à 1, 1 indiquant une concordance parfaite et les valeurs ≤ 0 suggérant des performances qui ne sont pas

meilleures que le hasard [51]. Nous avons ensuite combiné les résultats de tous les modèles RF pour créer une prédiction d'ensemble (fonction « ensemble ») qui intègre plusieurs modèles, capturant ainsi un éventail plus large de projections et générant des prévisions plus fiables sur l'adéquation des habitats [52]. Nous avons évalué l'importance relative des variables incluses dans le modèle à l'aide des mesures de corrélation de Pearson et de l'AUC. La corrélation de Pearson met en évidence la contribution linéaire directe de chaque variable au modèle [53], tandis que l'AUC capture la contribution globale des variables au modèle [54], y compris les effets non linéaires et les interactions. Nous avons adopté cette double approche afin de garantir une évaluation plus complète de l'importance des prédicteurs en intégrant les aspects complémentaires des effets des variables. En outre, nous avons défini les zones appropriées comme celles dont les valeurs d'adéquation prévues sont supérieures à l'adéquation moyenne des données d'apprentissage [55].

2.3.4 Préférences saisonnières en matière d'habitat

Nous avons calculé la valeur moyenne des variables environnementales dans les points de présence des chamois pour chaque saison et chaque année (habitat utilisé). Nous avons ensuite produit 652 points aléatoires (ratio 1:1 entre les points de présence et les points d'arrière-plan) dans ArcGIS Pro et estimé leurs valeurs moyennes dans la zone d'étude (habitat disponible). À l'aide du test H non paramétrique de Kruskal-Wallis, nous avons cherché à savoir si les variables environnementales variaient de manière significative au cours des quatre saisons. Nous avons comparé les variables environnementales annuelles entre les ensembles de données observés et aléatoires (habitat utilisé vs habitat disponible) à l'aide du test U de Mann-Whitney ($p < 0,05$).

2.3.5 Projets d'énergie renouvelable

Nous avons pris en compte la base de données de l'Autorité nationale de régulation de l'énergie (RAE) pour toutes les infrastructures d'énergie renouvelable dans la zone d'étude [23]. Nous avons ensuite pris en compte la superficie totale des trois polygones de centrales éoliennes prévus dans la zone d'étude et calculé leur pourcentage de chevauchement avec l'aire de répartition annuelle trouvée, avec l'habitat approprié de l'espèce (valeurs d'adéquation supérieures à l'adéquation moyenne dans les données d'apprentissage), ainsi qu'avec la couverture des zones protégées.

3. RESULTATS

L'ensemble de données comprenait 652 observations de chamois des Balkans sur le mont Oiti, dont 63 observations directes d'animaux (9,7%), 541 observations de crottes (83%) et 48 traces (7,3%) (Tableau S3). Après élagage des observations, 121 occurrences de chamois ont été conservées et utilisées pour l'analyse.

3.1 Aire de répartition annuelle et saisonnière

L'aire de répartition annuelle minimale estimée du chamois des Balkans sur le mont Oiti couvrirait une superficie de 50 km², dont un tiers (34,8%) correspondait à l'aire centrale annuelle. Les aires de répartition saisonnières et leurs zones centrales respectives pour la partie de la montagne étudiée présentaient une variation de taille limitée et un grand chevauchement spatial (74 à 90% et 65 à 87%, respectivement) (Tableau 1, Figure S4).

Tableau 1. Aire de répartition annuelle et saisonnière et zones centrales respectives des chamois des Balkans sur le mont Oiti (2023) et leur chevauchement (chevauchement des zones centrales entre parenthèses) pour la partie de la montagne étudiée

Season	Range (km ²)	Core area (km ²)	Core area proportion (%)	Overlap (%) of ranges (core areas)			
				Spring	Summer	Autumn	Winter
Spring	32.9	12.2	37	100	74(75)	74(79)	90(69)
Summer	31.5	11.3	35.9	–	100	85(87)	75(65)
Autumn	36.9	13.6	36.9	–	–	100	77(65)
Winter	36.6	10.7	29.2	–	–	–	100
Annual	50	17.4	34.8	–	–	–	–

3.2 Modèle d'adéquation de l'habitat

L'analyse portait sur sept variables. Les modèles RF ont démontré des performances élevées, avec une valeur AUC de 0,96 et une valeur TSS de 0,85. Les trois variables qui ont le plus contribué au modèle étaient associées aux perturbations humaines : la distance par rapport aux enclos à bétail, aux zones d'interdiction de chasse et aux routes, suivies par l'altitude. Les autres variables, à savoir la rugosité du terrain, la brousse et la couverture herbacée, ont moins contribué au modèle prédictif d'adéquation de l'habitat (Tableau 2). Selon la carte d'aptitude de l'habitat (Fig. 2), les zones d'habitat appropriées (valeurs supérieures à 0,6 ou 60%) couvraient 12,2 km², soit 7,8% de la zone d'étude (Fig. 3). Une partie considérable de l'habitat approprié à l'espèce (27,9%, 3,4 km²) se trouvait en dehors du réseau Natura 2000.

Tableau 2. Préférence de l'habitat des chamois : valeurs moyennes (ou pourcentages de fréquence) des variables aux points d'observation des chamois au fil des saisons et sur une année, comparées à 652 points aléatoires (R) répartis dans toute la zone d'étude (test de Mann-Whitney, valeurs p), et contribution des variables au modèle d'adéquation de l'habitat selon le coefficient de corrélation de Pearson (P) et le critère de l'aire sous la courbe (AUC)

Variable	Seasons				Habitat preference			Contribution to the model	
	Spring	Summer	Autumn	Winter	Annual	R	p	P	AUC
Elevation (m)	1,568 (± 376)	1,709 (± 446)	1,791 (± 315)	1,780 (± 236)	1,668 (± 365)	1,391 (± 487)	*	14.9	12.8
Slope (degrees)	18.2 (± 9.7)	14.9 (± 6.4)	18.7 (± 9)	20.8 (± 9.3)	18.4 (± 9.3)	17.4 (± 8.7)	ns		
Roughness	28.1 (± 15.6)	23.2 (± 10.9)	28.1 (± 14.3)	32.6 (± 14.2)	28.5 (± 14.8)	26.8 (± 15)	ns	2.3	1.7
Forests (%)	92	50	48	83	78	75	ns		
Grasslands (%)	8	50	52	17	22	17	*	1.6	0.8
Scrubs (%)	0	0	0	0	0	4	*	0	0
Distance to roads (m)	548 (± 292)	364 (± 347)	474 (± 422)	618 (± 300)	529 (± 331)	370 (± 330)	*	11.3	7.1
Distance to pens (m)	2,021 (± 618)	2,028 (± 338)	1,984 (± 413)	2,064 (± 604)	2,027 (± 558)	1,181 (± 636)	*	25.4	17.5
Distance to hunting ban areas (m)	353 (± 1,031)	71 (± 274)	242 (± 762)	409 (± 1,073)	311 (± 942)	1,594 (± 1,824)	*	9.8	4.3
Distance to escape terrain (m)	1,973 (± 1,948)	1,786 (± 1,450)	2,150 (± 1,959)	2,568 (± 1,898)	2,111 (± 1,890)	3,664 (± 3,078)	*		

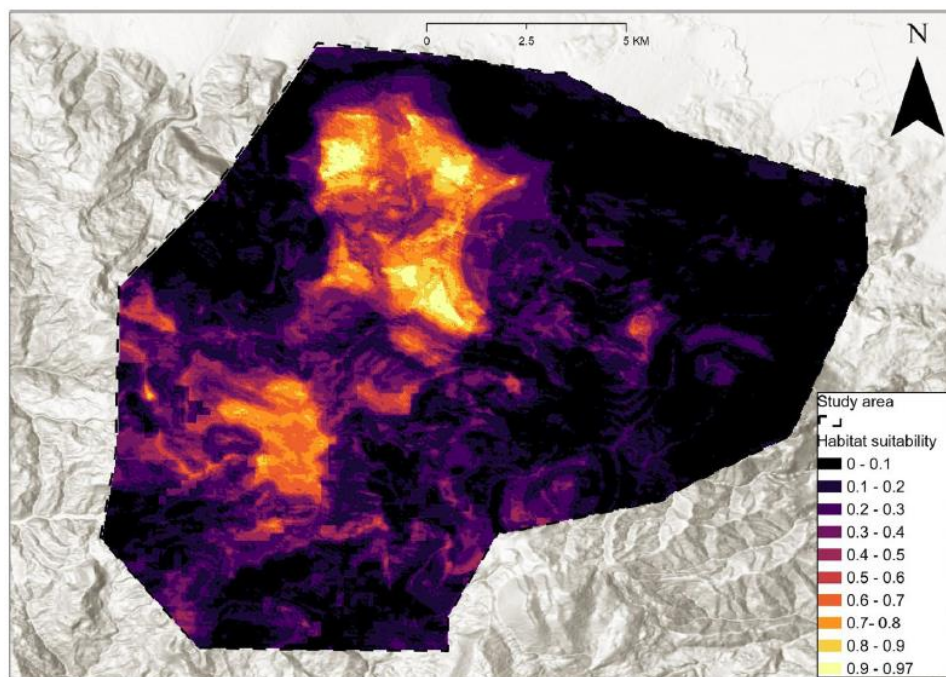


Fig. 2. Carte de l'adéquation de l'habitat du chamois des Balkans sur le mont Oiti, présentée selon un gradient à dix échelles (intervalle de 10%)

3.3 Préférences saisonnières en matière d'habitat

Nous n'avons constaté aucune différence saisonnière statistiquement significative pour les variables environnementales analysées (test de Kruskal-Wallis, $p > 0,05$). Toutes les variables, à l'exception de trois (pente, rugosité et couverture forestière), présentaient des différences significatives entre les points d'observation et les 1 000 points aléatoires de la zone d'étude (tests U, $p < 0,05$).

L'espèce préférait les zones de haute altitude et les prairies et évitait les zones de broussailles (**Tableau 2**). Toutes les variables liées aux perturbations humaines étaient significativement différentes dans les points de présence des chamois par rapport aux points aléatoires de la zone d'étude. L'espèce préférait les zones éloignées des enclos à bétail, des routes et des zones proches des zones d'interdiction de chasse et des terrains de fuite. **Cependant**, ces derniers ne représentaient que 0,45 km², soit moins de 1% de la zone d'étude.

3.4 Projets d'énergie renouvelable

Les projets d'énergie renouvelable dans la zone d'étude comprennent trois centrales éoliennes qui sont actuellement en phase d'obtention d'une licence de production, d'une capacité totale de 81,6 MW (16 éoliennes de 15,6 à 34,8 MW chacune, hauteur des pylônes de 84 à 101 m et diamètre des rotors de 131 à 158 m) et neuf petites centrales hydroélectriques (0,48 à 0,95 MW) totalisant 5,6 MW (**Tableau S4**). Les polygones des centrales éoliennes sont situés en dehors des limites du parc national d'Oiti et du réseau Natura 2000 (**Figure 3**). La superficie des polygones des centrales éoliennes couvre 6,2 km², dont 61% se trouvent dans l'aire de répartition annuelle des espèces recensées (3,8 km²) et 33,9% (2,1 km²) chevauchent les zones propices au chamois (valeurs d'adéquation de l'habitat supérieures à 0,6) (**Fig. 3**). Si leur construction est autorisée, 17,2% (2,1 km²) de l'habitat approprié sera perdu sur le mont Oiti. Aucune des neuf centrales hydroélectriques prévues ne coïncide avec l'aire de répartition annuelle actuelle ou l'habitat approprié de l'espèce. Sept d'entre elles sont incluses dans le réseau Natura 2000 (dont deux dans le parc national d'Oiti) (**Tableau S4**).

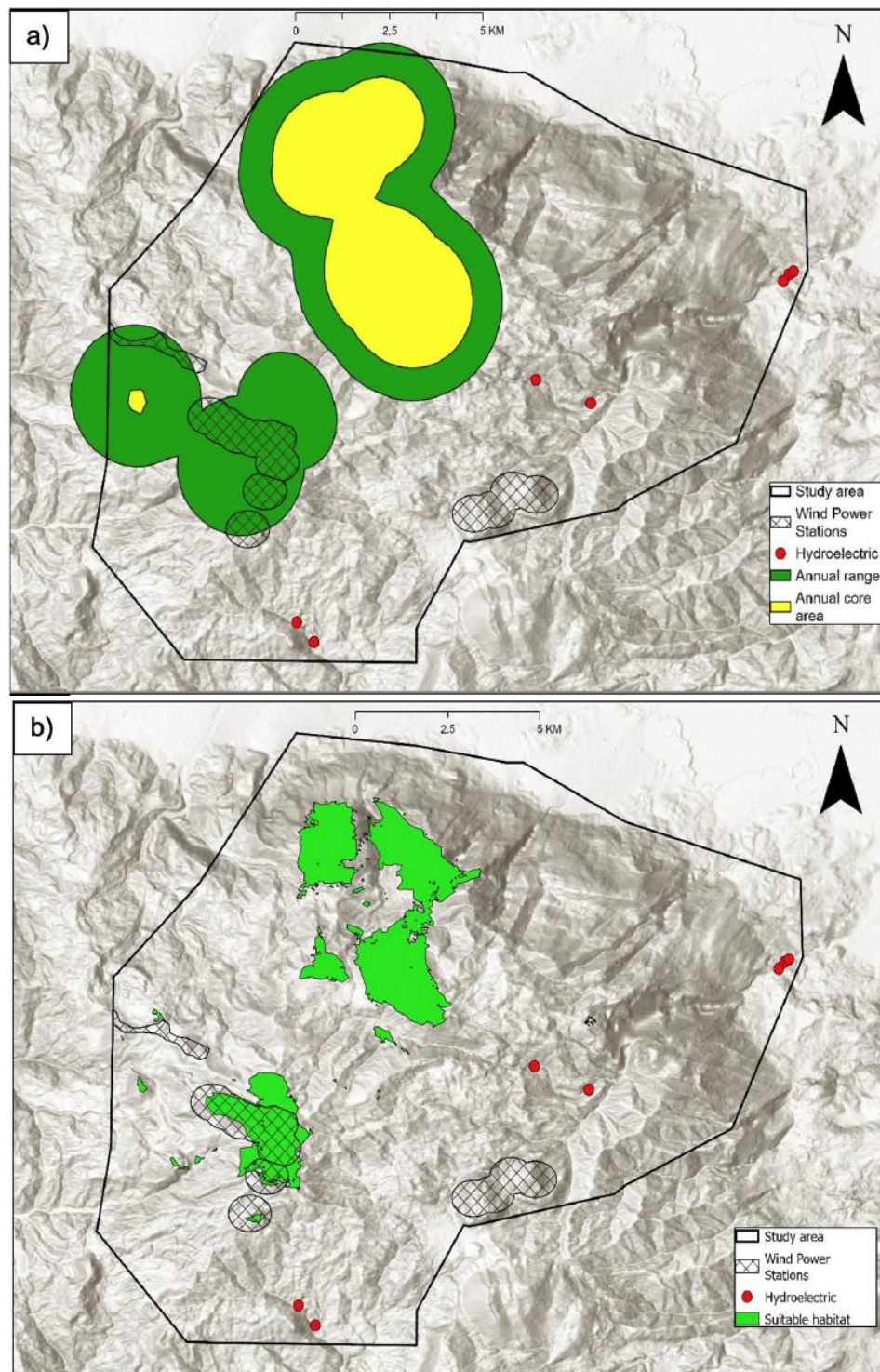


Fig. 3. Centrales éoliennes et petites centrales hydroélectriques prévues sur le mont Oiti, à travers (a) l'aire de répartition annuelle et la zone centrale de l'espèce trouvée et (b) l'habitat approprié pour les chamois (valeurs supérieures à 0,6)

4. DISCUSSION

4.1 Aperçu méthodologique

Les études d'écologie spatiale utilisant des données de télémétrie GPS fournissent des résultats très fiables pour la modélisation des habitats et des aires de répartition [56]. En l'absence d'un équipement aussi coûteux, la présente étude a eu recours à des enquêtes sur le terrain qui ont nécessité un travail de terrain approfondi. Cependant, deux difficultés sont apparues : la couverture forestière limitait la visibilité le long des transects, ne permettant de scanner que 17% de la zone d'étude, et les terrains inaccessibles en raison d'une topographie

escarpée, tels que les zones proches des gorges de Gorgopotamos dans la partie orientale de la montagne, n'ont pas pu être étudiés. **Par conséquent**, l'aire de répartition annuelle n'est pas représentative de l'ensemble de la zone d'étude. Notre étude a fourni un premier aperçu des aires de répartition saisonnières et de leurs zones centrales d'utilisation intensive au niveau de la population. Les études futures devraient se concentrer sur l'écologie des mouvements des chamois au niveau individuel en utilisant des animaux équipés de balises GPS afin de déterminer les domaines vitaux individuels, ce qui permettrait de surmonter le problème d'accessibilité. De telles études pourraient également révéler une aire de répartition annuelle élargie sur le mont Oiti. L'étude a également fourni un modèle d'adéquation de l'habitat suffisamment performant et nous a permis d'identifier de manière fiable les facteurs humains ayant un impact négatif sur l'utilisation de l'habitat par les chamois. D'autres variables, telles que le rayonnement solaire ou l'exposition, n'ont pas été prises en compte dans le processus de modélisation en raison de problèmes d'échelle ou de données, mais il a été rapporté que ces dernières n'ont pas d'effet significatif sur l'utilisation de l'habitat ou qu'elles peuvent être interprétées par d'autres variables topographiques, telles que la proximité d'un terrain de fuite [19, 21]. Il est recommandé de mener des recherches supplémentaires afin de délimiter l'habitat approprié du chamois des Balkans dans les montagnes grecques et à des échelles spatiales plus larges, et d'identifier les facteurs communs qui le façonnent.

4.2 Aire de répartition annuelle et saisonnière

En considérant comme zone d'étude l'aire de répartition de l'espèce indiquée dans la liste rouge des espèces menacées de l'UICN [14], nous avons constaté que l'aire de répartition annuelle de la population de chamois des Balkans sur le mont Oiti couvrirait au moins un tiers de celle-ci (Fig. 2). Les chamois peuvent également habiter d'autres parties des montagnes, compte tenu des limites du travail de terrain et de la présence d'habitats appropriés au-delà de l'aire de répartition annuelle (Fig. 3). Dans tous les cas, l'aire de répartition annuelle est dynamique et peut évoluer au fil du temps en raison des changements dans les régimes de perturbation humaine et de la croissance de la population de l'espèce à l'échelle locale et nationale, ce qui entraîne progressivement la colonisation de nouveaux habitats appropriés [16].

Nous avons constaté une variation mineure de la taille de l'aire de répartition entre les saisons et un chevauchement spatial saisonnier élevé (74-90 %) (Tableau 1), ce qui implique une plus grande fidélité à l'habitat et des mouvements saisonniers limités depuis les zones forestières basses en hiver vers les prairies d'altitude en été et en automne (Tableau 2). **De même**, l'espèce présente sur le mont Oiti ne semble suivre aucun des deux schémas de répartition saisonnière signalés en Europe ni subir de stress climatique important. Dans les climats plus froids, les chamois recherchent généralement des microhabitats adéquats leur offrant un abri contre les conditions météorologiques extrêmes et des ressources alimentaires de meilleure qualité, ce qui se traduit par une aire de répartition hivernale restreinte, selon le schéma « continental » [21, 57-59]. **Dans les climats plus chauds, le chamois des Balkans semble se retirer dans des microhabitats plus frais qui conservent des ressources alimentaires fraîches et appétissantes pendant la période estivale aride, ce qui justifie l'aire de répartition estivale restreinte du modèle « méditerranéen ».** Ce modèle est signalé pour deux populations en Grèce, qui habitent les montagnes arides de Giona et de l'Olympe [19, 20], mais pas pour la montagne plus humide de Timfi, dans le nord de la Grèce, où l'espèce adopte le modèle

continental [21]. Bien que le mont Oiti se trouve dans la partie sud de l'aire de répartition de l'espèce et connaisse des taux de précipitations aussi faibles que la montagne voisine de Giona, la population ne semble pas souffrir de stress hydrique. Les animaux vivent dans des zones boisées tout au long de l'année, bénéficiant ainsi de forêts étendues qui leur permettent de réguler leur température corporelle, leur offrent un abri contre les températures extrêmes et leur fournissent des ressources alimentaires [60], tout en profitant des conditions hivernales douces et de la disponibilité permanente d'eau dans les ruisseaux et les plans d'eau tout au long de l'année.

4.3 Habitat et perturbations humaines

Nous avons constaté que le mont Oiti abrite de vastes habitats adaptés au chamois des Balkans et que les trois principaux facteurs limitant ces habitats étaient liés aux perturbations humaines. La plupart des menaces signalées pour toutes les espèces de chamois sont en effet d'origine humaine, notamment le braconnage, la surexploitation, la perte et la dégradation de l'habitat, le pâturage du bétail et la transmission de maladies associées, ainsi que les perturbations liées au développement humain, au tourisme et aux activités récréatives [61]. Selon le plan d'action national [16], toutes ces menaces s'appliquent également au chamois des Balkans en Grèce, à l'exception de la surexploitation, car la chasse au chamois est interdite, ainsi que des menaces spécifiques telles que la construction de routes, l'exploitation minière, l'isolement génétique, le réchauffement climatique et les perturbations liées à la chasse.

La variable limitante la plus influente était la distance par rapport à l'enclos de bétail le plus proche ; les chamois ont montré un comportement d'évitement significatif à leur égard. La présence de bétail peut augmenter le stress hormonal chez les chamois [62]. La stratégie d'évitement du bétail est souvent un facteur plus important que le changement climatique dans les changements comportementaux spatio-temporels qui éloignent les animaux des habitats appropriés et des ressources alimentaires de haute qualité [63]. Outre la concurrence pour les ressources alimentaires, la présence du bétail est associée à des perturbations causées par la présence des bergers et de leurs chiens [64]. La présence du bétail est saisonnière sur le mont Oiti, de fin juin à septembre, mais coïncide avec la période chaude pendant laquelle les chamois occupent les prairies d'altitude. En l'absence de perturbations liées à l'activité du bétail et de concurrence interspécifique avec celui-ci, il est possible que les chamois puissent utiliser plus intensivement les prairies montagneuses à plus haute altitude et présenter un comportement moins dépendant de la forêt. Bien qu'aucun animal infecté n'ait été observé lors de nos enquêtes, nous soulignons que la présence du bétail peut augmenter les risques de transmission de maladies [65], ce qui peut avoir des impacts importants sur les populations de chamois [66].

Nous avons également constaté que les chamois préféraient clairement s'éloigner des terrains de chasse et des routes, deux éléments liés aux perturbations humaines et contribuant de manière substantielle au modèle d'adéquation de l'habitat. Les perturbations humaines ne sont pas nécessairement liées à la présence humaine en soi, car les animaux d'une autre montagne (le mont Olympe) n'évitent pas les randonneurs, mais préfèrent plutôt se trouver à proximité des sentiers de randonnée [20]. Elle semble être plus étroitement liée à la présence de paysages anthropiques effrayants, générés par les activités de chasse légales et illégales qui impliquent l'utilisation de fusils et de chiens de chasse. Pour cette raison, l'espèce a également

montré une préférence pour les terrains propices à la fuite, bien que limités dans notre zone d'étude, afin de se protéger des prédateurs et des perturbations [22]. **Par conséquent**, le rôle de la chasse et du braconnage dans le processus de sélection de l'habitat des chamois semble être important sur le mont Oiti, ainsi que sur d'autres montagnes du pays [21]. Ces perturbations sont encore intensifiées par les routes forestières, qui facilitent l'accès du public aux habitats des chamois et intensifient les activités de chasse et de braconnage. Le comportement marqué d'évitement des routes de la population de chamois du mont Oiti semble répandu en Grèce et est également signalé pour d'autres populations [20, 21].

Trois autres facteurs environnementaux influencent considérablement l'adéquation de l'habitat des chamois. **Compte tenu du caractère montagneux de l'espèce [22], les animaux ont montré une préférence pour les altitudes plus élevées, même si leur gamme altitudinale de migration saisonnière était limitée.** Les chamois ont également privilégié les prairies et évité les zones arbustives, comme cela a également été observé sur le mont Timfi [21]. Les prairies offrent un fourrage de grande qualité [67], mais elles ne sont pas exploitées autant qu'elles le pourraient sur le mont Oiti, en raison des changements dans l'utilisation de l'habitat liés à la présence de bétail pendant la période chaude, ou de la grande qualité du fourrage dans les forêts, qui renforce le **caractère sylvicole** de la population.

4.4 Projets d'énergie renouvelable

Notre analyse a montré que les projets de centrale éolienne proposés empiètent considérablement sur l'habitat le plus approprié pour les chamois sur le mont Oiti. La perte d'habitat est une menace majeure pour le chamois des Balkans dans toute son aire de répartition [61]. Situés dans des prairies de haute altitude (1600-2128 m), les projets devraient constituer une menace importante pour la population locale de chamois, principalement en raison de la réduction des pâturages et de la perte et de la fragmentation globales de l'habitat. L'espèce pourrait s'éloigner des éoliennes dans la zone d'étude, trouvant probablement refuge dans les zones forestières les plus inaccessibles, compte tenu de sa grande sensibilité aux perturbations humaines et des effets néfastes des éoliennes signalés pour d'autres ongulés vivant dans les forêts [68]. Si certaines études sur les ongulés indiquent que le développement de l'énergie éolienne n'augmente pas le risque de mortalité [69] et n'affecte pas de manière significative la nutrition et les domaines vitaux [70], d'autres études font état d'un stress accru à proximité des grands parcs éoliens [71], de forts comportements d'évitement et de changements dans l'utilisation des couloirs de déplacement [72, 73], voire de déplacements de plusieurs kilomètres, hors de la zone de visibilité des éoliennes [74]. **Les effets négatifs sont associés à la fois aux phases de construction et d'exploitation des éoliennes** [73, 74].

L'impact des infrastructures éoliennes va au-delà de la perte d'habitat dans les polygones d'investissement (2,1 km²), où les éoliennes seront installées sur des bases en béton. L'empreinte foncière réelle est plus importante si l'on tient compte des autres infrastructures nécessaires (lignes de transport et pylônes électriques, tours météorologiques, bâtiments d'exploitation et routes d'accès nouvelles et élargies) et du déboisement nécessaire le long des routes d'accès, qui aurait un impact direct sur les habitats forestiers des chamois. En Grèce, l'industrie éolienne entraîne une conversion des terres naturelles en terres artificielles 3,5 fois supérieure à la moyenne mondiale, en raison de la tendance à installer des éoliennes dans des zones naturelles isolées, avec des pentes plus raides, loin des infrastructures existantes, les routes d'accès étant un important consommateur de terres dans ce processus [75]. **En outre,**

l'ensemble de la zone d'étude présente un caractère naturel élevé et une faible fragmentation, ce qui la qualifie comme zone sans parc éolien dans une étude à l'échelle nationale pour la planification durable de l'énergie éolienne, excluant ces zones naturelles des investissements dans l'énergie éolienne sans compromettre la réalisation des objectifs énergétiques nationaux pour 2030 [29]. **D'autre part**, aucune des neuf petites centrales hydroélectriques prévues ne se trouve dans des habitats propices aux chamois. Leur impact semble mineur, mais reste incertain. On ne sait pas si les centrales auront une incidence sur la disponibilité de l'eau pour la faune sauvage dans les cours d'eau et les plans d'eau de montagne, ni sur l'étendue de l'occupation des terres prévue en raison de l'extension du réseau routier et des infrastructures nécessaires.

4.5 Implications pour la conservation

Nos conclusions fournissent des preuves scientifiques solides qui éclairent l'élaboration des politiques et les mesures de conservation à l'échelle locale et à grande échelle, comme suit : **premièrement**, nous recommandons de préserver l'intégrité naturelle de la zone d'étude en empêchant l'occupation des terres et la **fragmentation** des habitats.

Cela implique de **décourager** les projets d'énergie renouvelable à grande échelle, les autres aménagements consommateurs de terres et l'extension des routes qui y est associée, compte tenu de leur impact négatif prévu sur la population de chamois. Ces mesures devraient profiter largement à la biodiversité du mont Oiti, y compris aux espèces d'insectes endémiques et menacées à l'échelle mondiale qui habitent les prairies montagneuses, y compris la zone où des investissements dans l'énergie éolienne sont prévus [76]. À plus grande échelle, nous préconisons des politiques audacieuses pour protéger le caractère naturel du paysage et empêcher une nouvelle **fragmentation** de l'écosystème due aux routes et à l'aménagement artificiel des terres. Une politique d'interdiction des routes a déjà été mise en œuvre en Grèce, offrant un statut de protection strict mais provisoire à neuf montagnes isolées de grande valeur naturelle [77, 78], ce qui profite aux quatre populations de chamois qui y vivent. Le gouvernement aspire à protéger 55 montagnes dans le cadre de l'objectif 15.4 des objectifs de développement durable pour la préservation des écosystèmes montagneux [79, 80]. Ces mesures sont conformes au plan d'action national qui suggère l'extension des zones sans routes et la modification des grands projets de construction par des solutions alternatives dans l'aire de répartition des espèces [16].

Deuxièmement, nous recommandons des mesures de lutte contre le braconnage et l'extension des refuges fauniques afin d'augmenter les zones calmes et exemptes de chasse qui se sont avérées préférées par les chamois. À plus grande échelle, la législation nationale autorise librement la chasse dans toute la campagne (à quelques exceptions près), y compris dans les zones protégées du réseau Natura 2000 ou sur les terres privées non clôturées, en tant que terrains de chasse. Il n'existe pas de cartographie nationale précise des terrains de chasse. Moins de 10% du pays est déclaré zone d'interdiction de chasse pour la conservation de la faune sauvage, couvrant environ 40% de l'aire de répartition du chamois des Balkans à l'échelle nationale [21], ce qui prouve leur importance en tant que refuges pour les chamois. Outre l'extension des zones d'interdiction de chasse, nous soulignons la nécessité d'une planification spatiale globale de la chasse, comprenant la cartographie des terrains de chasse, la régulation de l'intensité de la chasse et la mise en œuvre d'un suivi dirigé par le gouvernement, tenant compte des besoins des chamois et des autres espèces sauvages

protégées. Cela permettrait de réduire les « paysages de peur » induits par l'homme et serait bénéfique pour les populations de chamois du mont Oiti et de tout le pays.

Troisièmement, nous suggérons d'élaborer et de mettre en œuvre des plans de pâturage durable tenant compte de la préservation de la biodiversité et des besoins des chamois. Bien que les chamois puissent bénéficier d'une atténuation de la concurrence intraspécifique, on ne sait toujours pas comment les écosystèmes des prairies et la biodiversité seront affectés à long terme, car le pâturage du bétail est modéré dans les montagnes et pourrait diminuer à l'avenir. La cartographie des pâturages montagneux du mont Oiti, de leur capacité de pâturage, de la densité du cheptel et de leur utilisation temporelle, tout en surveillant l'activité de pâturage du bétail sur une base annuelle, est une condition préalable à la planification et à la mise en œuvre de programmes de pâturage durables favorisant à la fois les écosystèmes des prairies, la faune sauvage et l'économie locale, conformément aux suggestions du plan d'action [16].

References

1. Gaynor KM, Abrahms B, Manlove KR, Oestreich WK, Smith JA. Anthropogenic impacts at the interface of animal spatial and social behaviour. *Philos Trans Royal Soc B Biol Sci.* 2024;379:20220527. <https://doi.org/10.1098/rstb.2022.0527>.
2. Gaynor KM, Hohnowski CE, Carter NH, Brashares JS. The influence of human disturbance on wildlife nocturnality. *Science.* 2018;360:1232–5. <https://doi.org/10.1126/science.aar7121>.
3. Petridou M, Benson JF, Gimenez O, Kati V. Spatiotemporal patterns of wolves, and sympatric predators and prey relative to human disturbance in northwestern Greece. *Diversity.* 2023;15:184. <https://doi.org/10.3390/d15020184>.
4. Tucker MA, et al. Moving in the Anthropocene: global reductions in terrestrial mammalian movements. *Science.* 2018;359:466–9. <https://doi.org/10.1126/science.aam9712>.
5. Ciach M, Peksa Ł. Human-induced environmental changes influence habitat use by an ungulate over the long term. *Curr Zool.* 2019;65:129–37. <https://doi.org/10.1093/cz/zoy035>.
6. Richard JH, Côté SD. Space use analyses suggest avoidance of a ski area by mountain goats. *J Wildl Manag.* 2016;80:387–95. <https://doi.org/10.1002/jwmg.1028>.
7. Lovari S, et al. Climatic changes and the fate of mountain herbivores. *Clim Change.* 2020;162:2319–37. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02801-7>.
8. Reiner R, Zedrosser A, Zeiler H, Hackländer K, Corlatti L. Forests buffer the climate-induced decline of body mass in a mountain herbivore. *Glob Change Biol.* 2021;27:3741–52. <https://doi.org/10.1111/gcb.15711>.
9. Guisan A, et al. Predicting species distributions for conservation decisions. *Ecol Lett.* 2013;16:1424–35. <https://doi.org/10.1111/ele.12189>.
10. Angelieri CCS, Adams-Hosking C, Ferraz KMPMDB, de Souza MP, McAlpine CA. Using species distribution models to predict potential landscape restoration effects on puma conservation. *PLoS ONE.* 2016;11: e0145232. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0145232>.
11. Rondinini C, Stuart S, Boitani L. Habitat suitability models and the shortfall in conservation planning for African vertebrates. *Conserv Biol.* 2005;19:1488–97. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00204.x>.
12. Villero D, Pla M, Camps D, Ruiz-Olmo J, Brotons L. Integrating species distribution modelling into decision-making to inform conservation actions. *Biodivers Conserv.* 2017;26:251–71. <https://doi.org/10.1007/s10531-016-1243-2>.
13. Salas EAL, Valdez R, Michel S, Boykin KG. Habitat assessment of Marco Polo sheep (*Ovis ammon polii*) in Eastern Tajikistan: modeling the effects of climate change. *Ecol Evol.* 2018;8:5124–38. <https://doi.org/10.1002/ece3.4103>.
14. Anderwald P et al. *Rupicapra rupicapra* (amended version of 2020 assessment). The IUCN Red List of Threatened Species 2021. 2021.
15. EIONET. Report on progress and implementation (Article 17-Habitats Directive). 2019.
16. Papaioannou D-H. National Action Plan for the Balkan chamois (*Rupicapra rupicapra balcanica*). LIFE-IP 4 NATURA Project: Integrated actions for the conservation and management of Natura 2000 sites, species, habitats and ecosystems in Greece. Deliverable Action A.1. Ministry of Environment and Energy, VI Annexes. Final version. 2021. 95 pp
17. Karetsoy, G., Solomou, A. D., Trigas, P. & Tsagari, K. The vascular flora of Mt. Oiti National Park and the surrounding area in Greece. (2018). <https://doi.org/10.17221/65/2018-JFS>
18. Mertzanis A, Syleouni S, Mertzanis K, Zogaris S. Ecotourism promotion in a Greek national park: the development and management of Farmakides trail on Mt Oiti. *J Int Sci Publ Ecol Saf.* 2016;10:204–28.

19. Papaioannou H, et al. Demographic characteristics, seasonal range and habitat topography of Balkan chamois population in its southernmost limit of its distribution (Giona mountain, Greece). *J Nat Hist*. 2015;49:327–45. <https://doi.org/10.1080/00222933.2013.869365>.
20. Papakostas K, Papaioannou H, Apollonio M, Kati V. Seasonal distribution pattern and habitat selection of the Balkan chamois on Olympus mountain: summer heat, hikers, roads. *J Nat Conserv*. 2025;83:126773. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2024.126773>.
21. Kati V, Kassara C, Vassilakis D, Papaioannou H. Balkan chamois (*Rupicapra rupicapra balcanica*) avoids roads, settlements, and hunting grounds: an ecological overview from Timfi Mountain Greece. *Diversity*. 2020;12:124. <https://doi.org/10.3390/d12040124>.
22. Corlatti L, et al. *Terrestrial cetartiodactyla*. Berlin: Springer; 2022. p. 325–66.
23. RAE. Geospatial map for energy units and requests, 2024. <https://geo.rae.gr/?lang=EN>
24. Bennun L et al. Mitigating biodiversity impacts associated with solar and wind energy development. Guidelines for project developers. 2021.
25. EC. Commission notice. Guidance document on wind energy developments and EU nature legislation. COM (2020) 7730 final. Brussels, 2020. https://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/management/docs/wind_farms_en.pdf
26. Gasparatos A, Doll CNH, Esteban M, Ahmed A, Olang TA. Renewable energy and biodiversity: implications for transitioning to a Green Economy. *Renew Sustain Energy Rev*. 2017;70:161–84. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.08.030>.
27. Perrow MR. Wildlife and wind farms, conflicts and solutions. Volume 1 Onshore: Potential Effects. Vol. 1 298. Pelagic Publishing, 2017
28. EY. Renewable Energy Country Attractiveness Index, 62 edition. 2023.
29. Kati V, Kassara C, Vrontisi Z, Moustakas A. The biodiversity-wind energy-land use nexus in a global biodiversity hotspot. *Sci Total Environ*. 2021;768:144471. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144471>.
30. Davies CE, Moss D, Hill M. O. EUNIS habitat classification revised 2004. 2004; 127–143
31. Papaioannou HI, Kati VI. Current status of the Balkan chamois (*Rupicapra rupicapra balcanica*) in Greece: Implications for conservation. *Belg J Zool*. 2007;137:33.
32. Iliopoulos Y, Petridou M, Giannakopoulos A, Ntolka E, Tsaparis D. Addressing the conflict with the wolf in Mt. Oiti National Park., 185.Callisto NGO, Management Body of Oiti National Park., 2015.
33. Eurostat. Agri-environmental indicator - livestock patterns. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_livestock_patterns. (2023).
34. Protected Planet. World Database on Protected Areas (WDPA), <https://www.protectedplanet.net/555539707>. (2025).
35. Dudley N. Guidelines for applying protected area management categories. Gland: IUCN; 2008.
36. Pepin D, Menaut P, Desneux L, Cargnelutti B. Seasonal changes in the use of space by isards (*Rupicapra pyrenaica*) in a protected area. *Ongules/ungulates*. 1992;91:327–30.
37. Anderson RP, Gonzalez I. Species-specific tuning increases robustness to sampling bias in models of species distributions: an implementation with Maxent. *Ecol Model*. 2011;222:2796–811. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.04.011>.
38. Aiello-Lammens ME, Boria RA, Radosavljevic A, Vilela B, Anderson RP. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography*. 2015;38:541–5. <https://doi.org/10.1111/ecog.01132>.

39. Boria RA, Olson LE, Goodman SM, Anderson RP. Spatial filtering to reduce sampling bias can improve the performance of ecological niche models. *Ecol Model.* 2014;275:73–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.12.012>.
40. Hijmans, R. J. terra: Spatial Data Analysis. R package version 1.7–39. The R Foundation for Statistical Computing. 2023.
41. OSM. Open Street Map. 2025.
42. Calenge C. The package “adehabitat” for the R software: a tool for the analysis of space and habitat use by animals. *Ecol Model.* 2006;197:516–9. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.03.017>.
43. Worton BJ. Kernel methods for estimating the utilization distribution in home-range studies. *Ecology.* 1989;70:164–8. <https://doi.org/10.2307/1938423>.
44. Vander Wal E, Rodgers AR. An individual-based quantitative approach for delineating core areas of animal space use. *Ecol Modell.* 2012;224:48–53. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.10.006>.
45. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Core Team; 2023.
46. Naimi B, Araújo MB. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. *Ecography.* 2016;39:368–75. <https://doi.org/10.1111/ecog.01881>.
47. Dormann CF, et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography.* 2013;36:27–46. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2012.07348.x>.
48. Zuur AF, Ieno EN, Elphick CS. A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol Evol.* 2010;1:3–14. <https://doi.org/10.1111/j.2041-210X.2009.00001.x>.
49. Barbet-Massin M, Jiguet F, Albert CH, Thuiller W. Selecting pseudo-absences for species distribution models: how, where and how many? *Methods Ecol Evol.* 2012;3:327–38.
50. Fielding AH, Bell JF. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environ Conserv.* 1997;24:38–49. <https://doi.org/10.1017/S0376892997000088>.
51. Allouche O, Tsoar A, Kadmon R. Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *J Appl Ecol.* 2006;43:1223–32. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2006.01214.x>.
52. Araújo MB, New M. Ensemble forecasting of species distributions. *Trends Ecol Evol.* 2007;22:42–7. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2006.09.010>.
53. Franklin J. Mapping species distributions: spatial inference and prediction. Cambridge: Cambridge University Press; 2010.
54. Lobo JM, Jiménez-Valverde A, Real R. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Glob Ecol Biogeogr.* 2008;17:145–51. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2007.00358.x>.
55. Liu C, White M, Newell G. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *J Biogeogr.* 2013;40:778–89. <https://doi.org/10.1111/jbi.12058>.
56. Hebblewhite M, Haydon DT. Distinguishing technology from biology: a critical review of the use of GPS telemetry data in ecology. *Philos Trans Royal Soc B: Biol Sci.* 2010;365:2303–12. <https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0087>.
57. Crampe J-P, et al. Site fidelity, migratory behaviour, and spatial organization of female isards (*Rupicapra pyrenaica*) in the Pyrenees National Park France. *Can J Zool.* 2007;85:16–25. <https://doi.org/10.1139/z06-185>.

58. García-González, R., Hidalgo, R., Amezcua, J. & Herrero Cortés, J. Census, population structure and habitat use of a chamois population in Ordesa NP living in sympatry with Pyrenean wild goat. 1992.
59. Nesti I, Posillico M, Lovari S. Ranging behaviour and habitat selection of Alpine chamois. *Ethol Ecol Evol.* 2010;22:215–31. <https://doi.org/10.1080/03949370.2010.502316>.
60. Anderwald P, Buchmann S, Rempfler T, Filli F. Weather-dependent changes in habitat use by Alpine chamois. *Mov Ecol.* 2024;12:1–14. <https://doi.org/10.1186/s40462-024-00449-x>.
61. Corlatti L, et al. Past, present and future of chamois science. *Wildl Biol.* 2022;2022: e01025. <https://doi.org/10.1002/wlb3.01025>.
62. Formenti N, et al. Increased hormonal stress response of Apennine chamois induced by interspecific interactions and anthropogenic disturbance. *Eur J Wildl Res.* 2018;64:1–8. <https://doi.org/10.1007/s10344-018-1228-4>.
63. Mason TH, Stephens PA, Apollonio M, Willis SG. Predicting potential responses to future climate in an alpine ungulate: interspecific interactions exceed climate effects. *Glob Change Biol.* 2014;20:3872–82. <https://doi.org/10.1111/gcb.12641>.
64. Chirichella R, Ciuti S, Apollonio M. Effects of livestock and non-native mouflon on use of high-elevation pastures by Alpine chamois. *Mamm Biol.* 2013;78:344–50. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2013.04.005>.
65. Fankhauser R, Galeffi C, Suter W. Dung avoidance as a possible mechanism in competition between wild and domestic ungulates: two experiments with chamois *Rupicapra rupicapra*. *Eur J Wildl Res.* 2008;54:88–94. <https://doi.org/10.1007/s10344-007-0115-1>.
66. Garrido-Amaro C, Jolles A, Velarde R, López-Olvera JR, Serrano E. The synzootic potential of common epidemics in chamois populations. *Eur J Wildl Res.* 2023;69:79. <https://doi.org/10.1007/s10344-023-01700-3>.
67. Gálvez-Cerón A, et al. Predicting seasonal and spatial variations in diet quality of Pyrenean chamois (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) using near infrared reflectance spectroscopy. *Eur J Wildl Res.* 2013;59:115–21. <https://doi.org/10.1007/s10344-012-0672-9>.
68. Schöll EM, Nopp-Mayr U. Impact of wind power plants on mammalian and avian wildlife species in shrub- and woodlands. *Biol Cons.* 2021;256:109037. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109037>.
69. Taylor KL, Beck JL, Huzurbazar SV. Factors influencing winter mortality risk for pronghorn exposed to wind energy development. *Rangel Ecol Manage.* 2016;69:108–16. <https://doi.org/10.1016/j.rama.2015.12.003>.
70. Walter WD, Leslie DM, Jenks JA. Response of Rocky Mountain Elk (*Cervus elaphus*) to Wind-power development. *Am Midland Nat.* 2006;156:363–75.
71. Klich D, Łopucki R, Ścibior A, Gołębiowska D, Wojciechowska M. Roe deer stress response to a wind farms: methodological and practical implications. *Ecol Indic.* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106658>.
72. Łopucki R, Klich D, Gielarek S. Do terrestrial animals avoid areas close to turbines in functioning wind farms in agricultural landscapes? *Environ Monit Assess.* 2017;189:343. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6018-z>.
73. Skarin A, Nellemann C, Rönnegård L, Sandström P, Lundqvist H. Wind farm construction impacts reindeer migration and movement corridors. *Landscape Ecol.* 2015;30:1527–40. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0210-8>.
74. Skarin A, Sandström P, Alam M. Out of sight of wind turbines—Reindeer response to wind farms in operation. *Ecol Evol.* 2018;8:9906–19. <https://doi.org/10.1002/ece3.4476>.
75. Kati V, et al. The overlooked threat of land take from wind energy infrastructures: quantification, drivers and policy gaps. *J Environ Manage.* 2023;348:119340. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119340>.
76. Stefanidis A, et al. Distribution patterns and habitat preferences of five globally threatened and endemic montane Orthoptera (*Parnassiana* and *Oropodisma*). *Ecologies.* 2025. <https://doi.org/10.3390/ecologies6010005>.
77. Kati V, et al. How much wilderness is left? A roadless approach under the Global and the European Biodiversity Strategy focusing on Greece. *Biol Cons.* 2023;281:110015. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110015>.
78. Kati V, Selva N, Sjögren-Gulve P. Greek roadless policy: a model for Europe. *Science.* 2022;375:984–984. <https://doi.org/10.1126/science.abo2014>.
79. Hellenic Republic. Voluntary National Review 2022 on the implementation of the 2030 Agenda for Sustainable Development. Greece: National Printing House; 2022.
80. UN. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, A/RES/70/1, United Nations. 2015