


Modèle de risque spatial et implications en matière d'atténuation des conflits loup-homme dans un agroécosystème hautement modifié de l'ouest de l'Iran


Biological Conservation 177 (2014) 156–164




Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Biological Conservation

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biocon



Spatial risk model and mitigation implications for wolf–human conflict in a highly modified agroecosystem in western Iran 

Neda Behdarvand ^a, Mohammad Kaboli ^{a,*}, Mohsen Ahmadi ^a, Elham Nourani ^a, Abdolrassoul Salman Mahini ^b, Marzieh Asadi Aghbolaghi ^a

^a Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran
^b Department of the Environment, Faculty of Fishery and Environment, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources Sciences, Golestan Province, Gorgan, Iran

Résumé

Les conflits entre l'homme et les carnivores entravent la conservation des carnivores dans le monde entier. Les conflits entre l'homme et le loup (*Canis lupus*) dans l'ouest de l'Iran, en particulier dans la province de Hamedan (HP), prennent la forme de déprédations du bétail et d'attaques prédatrices sur les personnes. Ces conflits sont devenus une préoccupation majeure pour la vie et les moyens de subsistance des populations locales ainsi qu'un obstacle à la conservation du loup. Afin de déterminer les facteurs prédictifs les plus importants de ces conflits et d'identifier la distribution des zones présentant un risque potentiel d'attaques de loups sur les humains et le bétail en HP, nous avons utilisé l'algorithme d'entropie maximale (Maxent) pour construire des modèles prédictifs avec les données de conflits rapportées de 2001 à 2010. Les modèles obtenus ont correctement attribué les sites d'attaques ultérieures de 2011 et 2012 aux zones à haut risque. Nous avons constaté que les variables liées aux types d'utilisation et de couverture des sols affectés par les influences anthropiques sur le paysage, comme les fermes irriguées et les établissements humains, étaient les plus importantes pour prédire les niveaux de risque d'attaques de loups. Les cartes de risque développées dans cette étude sont des outils utiles pour identifier les points chauds de conflit et faciliter l'élaboration de politiques et la planification d'actions pour l'atténuation des conflits dans l'ouest de l'Iran.

1. INTRODUCTION

La croissance rapide de la population humaine et, par conséquent, l'augmentation de l'utilisation des ressources et la destruction des habitats ont exacerbé le problème des conflits entre l'homme et la faune sauvage dans le monde entier (Graham et al., 2005 ; Holmern et al., 2007 ; Treves et al., 2004). En particulier, les grands prédateurs sont sujets à de tels conflits en raison de leurs vastes domaines vitaux qui chevauchent les distributions humaines et de leurs besoins alimentaires qui les attirent vers les établissements humains et les sources de nourriture (Iftikhar Dar et al., 2009 ; Linnell et al., 2001 ; Treves et Karanth, 2003). Cela peut menacer les vies humaines et les moyens de subsistance (Gurung et al., 2008 ; Iftikhar Dar et al., 2009 ; Michalski et al., 2006 ; Sidorovich et al., 2003 ; Vos, 2000) et susciter des attitudes négatives à l'égard des carnivores, conduisant à

l'extermination des populations de carnivores par les populations locales (Sacks et al., 1999 ; Sillero-Zubiri et Switzer, 2004).

La compréhension des conflits entre les carnivores et les humains est devenue une préoccupation importante de la communauté scientifique. La majorité des conflits carnivores-humains dans le monde est attribuée à la déprédation du bétail (Graham et al., 2005). Il s'agit d'un problème courant, en particulier dans les pays où vit le loup (*Canis lupus*), qui est généralement atténué par des programmes de compensation (Bostedt et Grahn, 2008 ; Breck et al., 2011 ; Muhly et Musiani, 2009) et l'amélioration des techniques d'élevage (Ciucci et Boitani, 1998 ; Mishra, 1997). Cependant, les attaques de loups sur les humains, qui sont relativement rares dans le monde (Linnell et al., 2002, 2003), ne peuvent pas être compensées et la prévention reste la meilleure approche pour les atténuer.

Globalement, les attaques de loups sur les humains sont classées en trois types (Linnell et al., 2002). La majorité des attaques sont attribuées à des loups **enragés**. Le deuxième type implique des animaux provoqués par des interventions humaines (pièges, persécution des petits et destruction des tanières). Ces types d'attaques sont imprévisibles et accidentelles par nature (Linnell et al., 2002). Les plus rares de toutes les attaques de loups sont les attaques de prédateurs non-rabiques, les animaux impliqués étant le plus souvent identifiés comme des hybrides loup-chien. Les hybrides ont généralement moins peur des humains que les loups sauvages (Linnell et al., 2002 ; McNay et Hicks, 2002), et sont plus susceptibles de vivre à proximité des établissements humains. Ce type d'attaque a été signalé dans des pays comme l'Espagne, l'Inde, la Lituanie et l'Italie (Mech et Boitani, 2010).

En Iran, le loup était autrefois largement répandu dans le pays, à l'exception des déserts, mais il a été fortement persécuté en réponse à l'augmentation des conflits avec les communautés rurales (Ziaie, 2008). Le problème s'est aggravé ces dernières années, principalement en raison de l'expansion de l'agriculture et d'autres activités anthropiques, créant un paysage dominé par l'homme, particulièrement évident dans l'ouest de l'Iran (Imani Harsini, 2012). Bien que les attaques de loups sur les humains aient été historiquement assez rares et les incidents mortels encore moins fréquents, une augmentation des attaques mortelles sur les humains au cours des dernières années révèle un niveau élevé de conflit loup-homme dans la province de Hamedan (HP), **atteignant un pic de 10 attaques l'été 2010** (DOE Hamedan Provincial Office, rapports non publiés). Les tests de rage (DOE Hamedan Provincial Office, rapports non publiés) et d'hybridation (Khosravi et al., 2013) se sont révélés négatifs, et les attaques en HP peuvent donc généralement être classées comme des attaques prédatrices faites par des **loups affamés** (Behdarvand et Kaboli, sous presse). Avec l'augmentation des conflits loup-homme dans la province, la tendance des populations locales à exterminer les loups et les louveteaux a augmenté (DOE Hamedan Provincial Office, données non publiées), faisant de l'atténuation des conflits une priorité élevée pour le gouvernement local.

Un critère important pour le succès de la gestion des conflits entre loups et humains, et par conséquent pour la conservation des loups, est le maintien de ces conflits à un faible niveau (Ifitkhar Dar et al., 2009). Atteindre cet objectif peut s'avérer difficile dans les paysages à usages multiples habités par les hommes et les loups (Edge et al., 2011 ; Løe et Røskaft, 2004 ; Northrup et al., 2012). Cependant, comme ces conflits sont distribués selon des schémas non aléatoires (Treves et al., 2011 ; Wydeven et al., 2004), des modèles spatiaux prédictifs, ou cartes de risques, peuvent être utilisés pour déterminer les lieux de conflits possibles. Les cartes de risque permettent une alerte

précoce et une prévention ciblée des dommages causés par les prédateurs aux humains et au bétail (Iftikhar Dar et al., 2009 ; Jones et al., 2008 ; Kaartinen et al., 2009 ; Løe et Röskaft, 2004 ; Treves et al., 2004 ; Venette et al., 2010 ; Wydeven et al., 2004).

Nous avons développé des cartes de risque pour les attaques de loups sur le bétail et les humains en HP pour (i) identifier les paramètres environnementaux associés aux attaques de loups sur les humains et le bétail dans la province et (ii) fournir des recommandations d'atténuation pour ces conflits. Nous nous sommes particulièrement attachés à détecter l'influence des types d'utilisation des terres dans les paysages fortement modifiés dominés par l'homme.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

La présente étude a été menée à HP, dans l'ouest de l'Iran (47°34'-49°36' E, 33°59' -35°48' N ; Fig. A1). La température annuelle moyenne varie entre 4°C (janvier-février) et 35°C (juillet-août). Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 300 mm, réparties de manière inégale entre les différents mois de l'année. La province s'étend sur environ 19 493 km² et abrite une population de plus de deux millions d'habitants. La province de Hamedan se caractérise par un paysage dominé par l'homme avec une densité moyenne de population humaine d'environ 88 habitants par km², soit deux fois la densité moyenne de population du pays. Le paysage est dominé par les pâturages (33%) et les terres cultivées (32%), tandis que les forêts mixtes à feuilles caduques couvertes de chêne persian (*Quercus brantii*), d'aubépine (*Crataegus* spp.) et de prunier cerise (*Prunus divaricata*) ne représentent que 2% de la province. Ces parcelles de forêt naturelle sont réparties au sein d'une matrice agricole composée de vergers, de fermes irriguées intensives de pommes de terre et de maïs et de fermes sèches éparpillées de cultures céréalières. Il y a six zones protégées dans la province (62 km²), comprenant une combinaison d'habitats montagneux, de collines ondulées et de plaines. La couverture végétale et les faibles niveaux de perturbation humaine dans ces zones fournissent un habitat approprié pour les principales proies ongulées des loups dans la zone d'étude, notamment la chèvre sauvage (*Capra aegagrus*), le mouflon sauvage (*Ovis orientalis*) et le sanglier (*Sus scrofa*). Les activités économiques de la région consistent principalement en l'élevage et l'agriculture (Reyahi Khoram et Fotros, 2011). L'élevage est une source importante de revenus pour les populations locales de la province et consiste en des troupeaux de moutons et de chèvres qui paissent librement dans les champs et les parcours, surveillés par un couple de bergers (y compris des enfants) et des chiens de garde autochtones. **Le bétail est rassemblé la nuit et gardé dans des enclos fermés, soit dans les villages, soit sur les terres de parcours.**

2.2. Lieux des conflits

Entre 2001 et 2010, 47 incidents d'attaques de loups sur des personnes, principalement des enfants (70%), et 57 incidents d'attaques de loups sur du bétail ont été documentés (DOE Hamedan Provincial Office, données non publiées). Un grand nombre d'attaques sur les humains et le bétail ont été fatales, tandis que dans d'autres cas, le loup offensif a été effrayé ou tué après avoir blessé la victime (Behdarvand et Kaboli, sous presse). La documentation des déprédations de loups sur le bétail est couramment effectuée en Iran à des fins d'indemnisation. Les compagnies d'assurance indemnisent les blessures et les pertes de bétail dues à diverses causes, dont la déprédation par les loups. **Dans les cas d'attaques sur des humains ayant entraîné des pertes de vie, le ministère de l'Environnement verse un remboursement aux familles afin de prévenir les attitudes négatives et vengeresses envers la faune en général et les loups en particulier.** Les gouverneurs des districts

ruraux signalent immédiatement toutes ces attaques au DOE, qui est chargé de déterminer la cause de l'attaque. Outre le loup, les hyènes sont les seuls grands carnivores sauvages de la région. Les rangers et les fonctionnaires du DOE différencient les attaques en examinant les indices des animaux sur le lieu de l'attaque et les types de blessures et de dommages sur la victime ou la proie, ainsi qu'en interrogeant les témoins oculaires et, en cas d'attaque contre des humains, les survivants. Dans certains cas, le loup fautif est tué par la population locale sur place et le DOE confirme l'attaque du loup en identifiant la carcasse comme appartenant à un loup. Cependant, dans certains cas, notamment lorsque les victimes ou les proies sont supposées avoir été prises par le loup mais qu'aucun indice d'elles ne peut être trouvé, il n'y a pas assez de preuves pour que le DOE confirme l'attaque.

Nous avons enregistré les emplacements des sites d'attaques de loups confirmés sur le terrain en compilant une liste de sites d'attaques basée sur les travaux précédents de Behdarvand et Kaboli (sous presse) ainsi que sur les données fournies par le DOE. Nous avons visité les villages mentionnés dans la liste et avons ensuite localisé et enregistré 88 des 105 sites d'attaques documentés (31 sites d'attaques sur des personnes et 57 sites de déprédation du bétail ; Fig. 1) par le biais d'entretiens avec la population locale et les gardes du DOE.

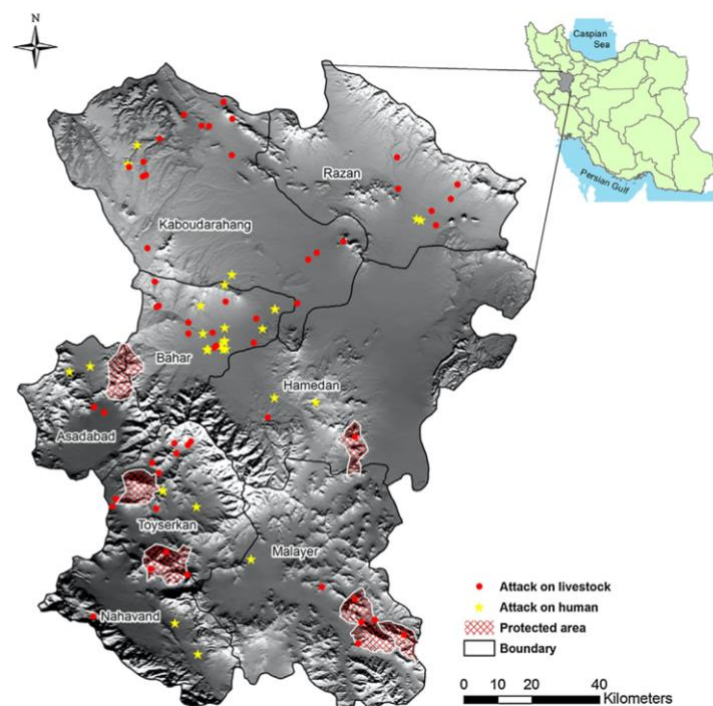


Fig. 1. Sites d'attaques de loups sur des humains et du bétail entre 2001 et 2010 dans une vue topographique de la province de Hamedan. La plupart des attaques se sont produites dans des zones ouvertes avec une faible rugosité topographique

Pour déterminer si les attaques sur le bétail et les humains sont spatialement corrélées, nous avons divisé la zone d'étude en grilles de 14 km et le nombre de cellules contenant des enregistrements d'attaques de loups a été classé dans un tableau de contingence. La taille des cellules a été choisie en fonction des valeurs empiriques de la distance du plus proche voisin pour les loups reproducteurs comme valeur de l'étendue de l'activité des meutes de loups et calculée d'après Jedrzejewski et al. (2004). Ensuite, à l'aide du tableau de contingence et du test du Khi-deux, la probabilité de l'indépendance des attaques de loups sur les humains par rapport aux attaques sur le bétail a été déterminée.

2.3. Variables prédictives environnementales

Un ensemble de variables connues pour être des prédicteurs importants des conflits loup-homme a été sélectionné en examinant la littérature pertinente (Eggermann et al., 2011 ; Mladenoff et al., 1999 ; Norris et al., 2002). Bien que l'aire de distribution des meutes de loups soit une variable affectant de manière importante la prédiction des conflits loup-homme (Treves et al., 2011 ; Wydeven et al., 2004), le manque d'études à long terme sur l'écologie des loups qui fourniraient des mesures directes ou indirectes du territoire des loups dans la zone d'étude nous a confinés à omettre les aspects biologiques des meutes de loups de notre modélisation. Cependant, nous avons inclus une couche de données des zones de forte probabilité de mise en terrier des loups (Ahmadi et al., 2013). Parce que ces zones présentent un intérêt particulier pour les loups tout au long de l'année, elles sont identifiées comme des centres d'agrégation de loups (Trapp et al., 2008 ; Unger et al., 2009) et ont été incluses comme un indice de la distribution des meutes de loups en HP.

Les prédicteurs environnementaux que nous avons utilisés comprennent les caractéristiques de l'occupation du sol, la distance aux cours d'eau (ruisseaux et rivières ; pérennes et non pérennes), la distance aux routes, les variables liées à la topographie, la densité du bétail, la densité de la population humaine, la probabilité de repaire des loups et la distance aux zones protégées (Tableau A1).

Les variables de couverture du sol comprenaient les parcours (y compris les broussailles et les prairies), les parcours avec des cultures éparses, les terrains rocheux et nus, les fermes sèches et les fermes irriguées. Les types d'utilisation du sol et de culture ont été pris en compte en détail car ils décrivent la quantité d'activité humaine dans le paysage. La proportion de chaque type de couverture a été calculée en exécutant l'analyse de voisinage Spatial Analyst d'ArcGIS 9.3 (ESRI INC, 2008) sur un rayon de trois kilomètres. Nous avons choisi cette taille de tampon de trois kilomètres en nous basant sur l'examen de la littérature (par exemple, Larsen et Ripple, 2006 ; Belongie, 2008), qui décrit bien la caractérisation du paysage sur une large gamme géographique.

Nous avons également calculé la distance aux établissements humains, y compris les villes et les villages identifiables sur l'image Landsat à résolution de 30 m qui a été utilisée pour produire la carte d'occupation des sols. Les données sur l'occupation du sol ont été obtenues à partir de la carte nationale d'occupation du sol de l'Organisation Iranienne des forêts, des pâturages et des bassins versants (IFRWO). Ces données ont été dérivées de l'imagerie Landsat 30 m Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) pour l'Iran continental en 2010.

On pense que le bétail constitue une grande partie du régime alimentaire des loups dans les paysages dominés par l'homme (Eggermann et al., 2011 ; Llaneza et al., 2012). Par conséquent, la source de nourriture la plus importante pour les loups dans la zone d'étude pourrait être le bétail, principalement les bovins, les moutons et les chèvres. Les ongulés sauvages (c'est-à-dire les espèces de gibier), en particulier les mouflons sauvages, les chèvres sauvages et les sangliers, peuvent également être importants. Cependant, comme leurs populations en HP sont limitées aux zones protégées et qu'il n'existe pas d'estimations précises de leur nombre et de leur distribution, nous avons inclus la proximité des zones protégées comme indice de disponibilité des ongulés sauvages dans nos analyses. Dans l'ensemble, nous avons estimé la disponibilité alimentaire comme étant la densité d'ongulés domestiques et la distance aux zones protégées dans la zone d'étude. Les données sur la densité du bétail ont été obtenues auprès des secteurs gouvernementaux à HP pour chaque

village. Nous avons utilisé la fonction Inverse Weighted Distance d'ArcGIS 9.3 (Schuette et al., 2013) pour interpoler la densité du bétail dans une couche matricielle.

Nous avons également considéré l'élévation et la rugosité topographique comme les paramètres physiographiques les plus déterminants. Étant donné que la zone d'étude ne dispose pas d'une végétation appropriée (par exemple, des broussailles, des bois et des forêts) pour dissimuler efficacement les loups, les terrains accidentés fournissent probablement la dissimulation nécessaire aux déplacements des loups (Ahmadi et al., 2013). Pour chaque point du paysage, la rugosité a été estimée comme l'écart-type de l'élévation de toutes les cellules matricielles sur le rayon de trois kilomètres.

Toutes les cartes ont été préparées avec une résolution spatiale de 100 m dans ArcGIS 9.3 (ESRI INC, 2008). Nous avons calculé les coefficients de corrélation pour éviter la multicollinéarité entre les variables. Aucune des variables n'était fortement corrélée ($|r| > 0,80$; Northrup et al., 2012), par conséquent toutes les variables susmentionnées ont été appliquées dans le processus de modélisation.

2.4. Modélisation des attaques de loups

Afin de déterminer les zones potentielles à haut risque et d'identifier les caractéristiques environnementales associées aux attaques de loups sur le bétail et les personnes en HP, nous avons effectué une analyse d'entropie maximale à l'aide du logiciel Maxent v.3.3.3 (Phillips et al., 2006). Maxent, souvent considéré comme l'un des modèles les plus efficaces en matière de présence (Elith et al., 2011 ; Phillips et al., 2006), est un processus d'apprentissage automatique qui peut être utilisé pour estimer la distribution des espèces en trouvant la distribution de probabilité de l'entropie maximale (c'est-à-dire la plus proche de l'uniformité) pour une zone sous un ensemble spécifié de contraintes environnementales.

Nous avons construit nos modèles séparément pour les attaques sur le bétail et les humains. Maxent a été exécuté en appliquant des valeurs par défaut pour le seuil de convergence (105), le nombre maximal d'itérations (500), un multiplicateur de régularisation de 1 et 10 000 points d'arrière-plan, car ces paramètres se sont avérés fournir de bonnes performances dans de nombreux cas (Phillips et Dudík, 2008).

Pendant l'exécution de Maxent, le « gain » a été calculé comme la distribution de probabilité du modèle qui représente la concentration du modèle autour des échantillons de présence par rapport aux pixels de fond aléatoires de la zone d'étude. Étant donné que Maxent peut avoir tendance à trop s'adapter aux données d'apprentissage, en particulier avec des échantillons de petite taille (Phillips et al., 2006), les modèles sont développés en utilisant la régularisation qui, dans une procédure parcimonieuse, se concentre sur les variables les plus importantes (Phillips et al., 2006). Pour faciliter la conceptualisation de la carte de probabilité, une sortie logistique, avec une estimation entre 0 et 1 pour la probabilité d'attaque, a été générée pour chaque carte de risque.

Il convient de mentionner que Maxent est la méthode de modélisation la plus apte à produire des résultats utiles avec des échantillons de moins de 25 occurrences (Hernandez et al., 2006 ; Pearson et al., 2007). Pour mieux exploiter la petite taille de l'échantillon d'attaques de loups dans HP, nous avons utilisé la méthode de validation croisée de Maxent. Au lieu d'extraire un ensemble de données d'entraînement et de test, tous les points d'attaque de loups ont été utilisés pour construire le

modèle Maxent. Les sites d'attaque de loups ont été divisés de manière aléatoire en 10 plis contenant un nombre égal d'occurrences, et des modèles d'apprentissage ont été créés en éliminant chaque pli à tour de rôle. Le pli éliminé a ensuite été utilisé pour tester le modèle dérivé des autres plis de formation. Nous avons utilisé l'aire sous la courbe de la caractéristique d'opération du récepteur (AUC), calculée pour les plis de test, pour évaluer les modèles dérivés des plis d'entraînement.

De plus, Maxent fournit une analyse du pourcentage de contribution de chaque variable au processus de construction du modèle, ce qui permet de déterminer l'influence de chaque variable sur le résultat du modèle. Nous avons également évalué l'importance des variables pour nos modèles en effectuant une analyse jackknife dans le logiciel Maxent. Dans la procédure jackknife, nous avons calculé la perte en gain d'apprentissage régularisé des modèles lorsque chaque variable était séquentiellement omise. Nous avons également estimé le gain obtenu pour chaque variable lorsqu'elle était utilisée seule dans le modèle. Ensuite, en considérant les gains de formation régularisés, les variables les plus importantes ont été déterminées.

Maxent calcule certains seuils pour catégoriser les cartes de probabilité continues en classes convenables/inconvenables. Ceci est plus important lorsque l'identification d'habitats appropriés et l'application d'activités de gestion sont inévitables (Phillips et al., 2006). En utilisant la méthode de validation croisée pour le rééchantillonnage, Maxent fournit un certain nombre de seuils pour chaque pli validé par croisement, ce qui rendra ambigu le choix d'un seuil unique pour catégoriser la carte de probabilité finale. De plus, il est peu probable que l'on puisse traiter des zones où la possibilité d'une attaque de loups est absolue. Nous avons donc classé les cartes de probabilité continues en cinq classes représentant des seuils de probabilité par incréments de 20%. Nous avons émis l'hypothèse que les zones comprises dans les classes de probabilité élevées seront confrontées à une probabilité plus élevée d'attaques de loups.

Nous avons ensuite utilisé les données sur les attaques de loups survenues en 2011 et 2012 comme mesure d'évaluation pour les cartes prédictives. Le modèle a été appliqué à ces données, dont six incidents d'attaques de loups sur des humains et 16 incidents d'attaques sur du bétail, pour voir si elles étaient correctement placées dans des classes à haut risque.

3. RESULTATS

3.1. Cartes de prévision des risques d'attaques de loups sur l'homme et le bétail

Le résultat de la corrélation spatiale n'a montré aucune corrélation significative ($\chi^2 = 3,01$; $P < 0,05$) entre les attaques de loups sur le bétail et les attaques sur les humains en HP. Nous avons généré des cartes de risque indiquant les zones potentielles où des conflits loup-homme peuvent se produire dans toute l'HP (Fig. 2). Nos résultats ont montré que les zones avec une forte probabilité de conflit loup-homme étaient situées principalement dans les comtés de Bahar et Kaboudarahang, où la plupart des données sur les attaques de loups ont été collectées. Selon nos résultats, Maxent a généralement mieux prédit la distribution potentielle des attaques de loups sur les humains (AUC moyenne = 0,920 ; SD = 0,013) par rapport aux attaques sur le bétail (AUC moyenne = 0,862 ; SD = 0,078) et a indiqué des niveaux élevés de pouvoir prédictif et de précision pour les modèles humains et animaux. Nous avons classé la carte de probabilité continue en cinq classes de probabilité de taille égale. Les cartes résultantes ont révélé que 10,9% et 15,65% de la

zone d'étude étaient affectés par un risque élevé (classes 4 et 5) d'attaques de loups sur les humains et le bétail, respectivement (Tableau 1).

Tableau 1. Superficie et pourcentage des classes de probabilité avec la probabilité potentielle d'une attaque de loup sur l'homme et le bétail dans cinq classes égales de valeurs P des modèles Maxent

Maxent probability intervals	Attack on humans		Attack on livestock	
	% of area	Area (km ²)	% of area	Area (km ²)
0-0.2	55.52	10822.51	40.78	7950.02
0.2-0.4	21.93	4274.81	29.28	5902.61
0.4-0.6	11.62	2265.09	14.29	2980.56
0.6-0.8	6.35	1237.81	9.12	1581.87
0.8-1	4.57	890.83	6.53	1077.95

Le test des modèles avec les données d'attaque de 2011 et 2012 a montré que nos modèles ont attribué avec précision des probabilités élevées (classes 4 et 5) d'attaque de loup à cinq points de test pour les attaques sur les humains (83%) et à 12 points de test pour les attaques sur le bétail (75%) (Fig. 2), vérifiant la bonne performance du modèle et sa capacité à être utilisé comme un outil valide pour la gestion des conflits loup-homme.

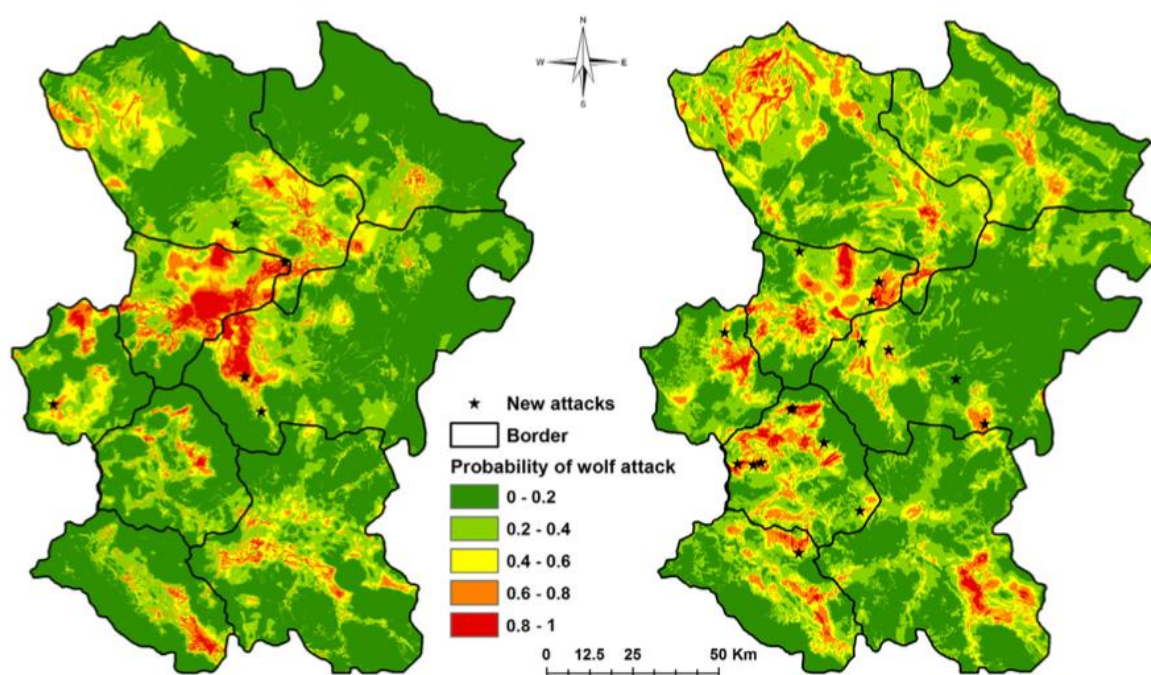


Fig. 2. Cartes représentant les zones présentant un risque potentiel d'attaque de loup sur l'homme (à gauche) et le bétail (à droite) en HP, dérivées des modèles Maxent à validation croisée et reclassées en 5 classes de probabilité de taille égale. Les étoiles indiquent les endroits où de nouvelles attaques ont eu lieu

3.2. Facteurs environnementaux

Nos résultats ont révélé que la variable environnementale la plus importante pour prédire les attaques de loups sur les humains était la proportion de fermes irriguées (Fig. 3a ; 18,5% de la contribution). Les variables les plus importantes suivantes étaient la densité de population humaine (16,7% de la contribution), la rugosité (14,9%), la probabilité de tanière (11,4%) et la distance à un cours d'eau (9%) (Fig. 3a). De plus, pour les attaques de loups sur le bétail, la distance aux habitations (31% de la contribution), la distance aux zones protégées (11,8%), la probabilité de tanière (9,4%), la proportion de fermes sèches (8,8%) et la distance aux cours d'eau (8,2%) ont été

identifiées comme les variables les plus importantes pour déterminer les zones à haut risque (Fig. 3b). Les résultats du test du jackknife ont indiqué que les variables environnementales ayant le gain le plus élevé lorsqu'elles sont utilisées isolément, ainsi que les variables qui diminuent le plus le gain lorsqu'elles sont omises, comprennent la proportion de fermes irriguées, la densité de population humaine, la rugosité, la probabilité de dénuement et la distance aux voies d'eau pour les attaques sur les humains (Fig. 3c) et la distance aux établissements, la distance aux zones protégées, la probabilité de dénuement et les fermes sèches pour les attaques sur le bétail (Fig. 3d).

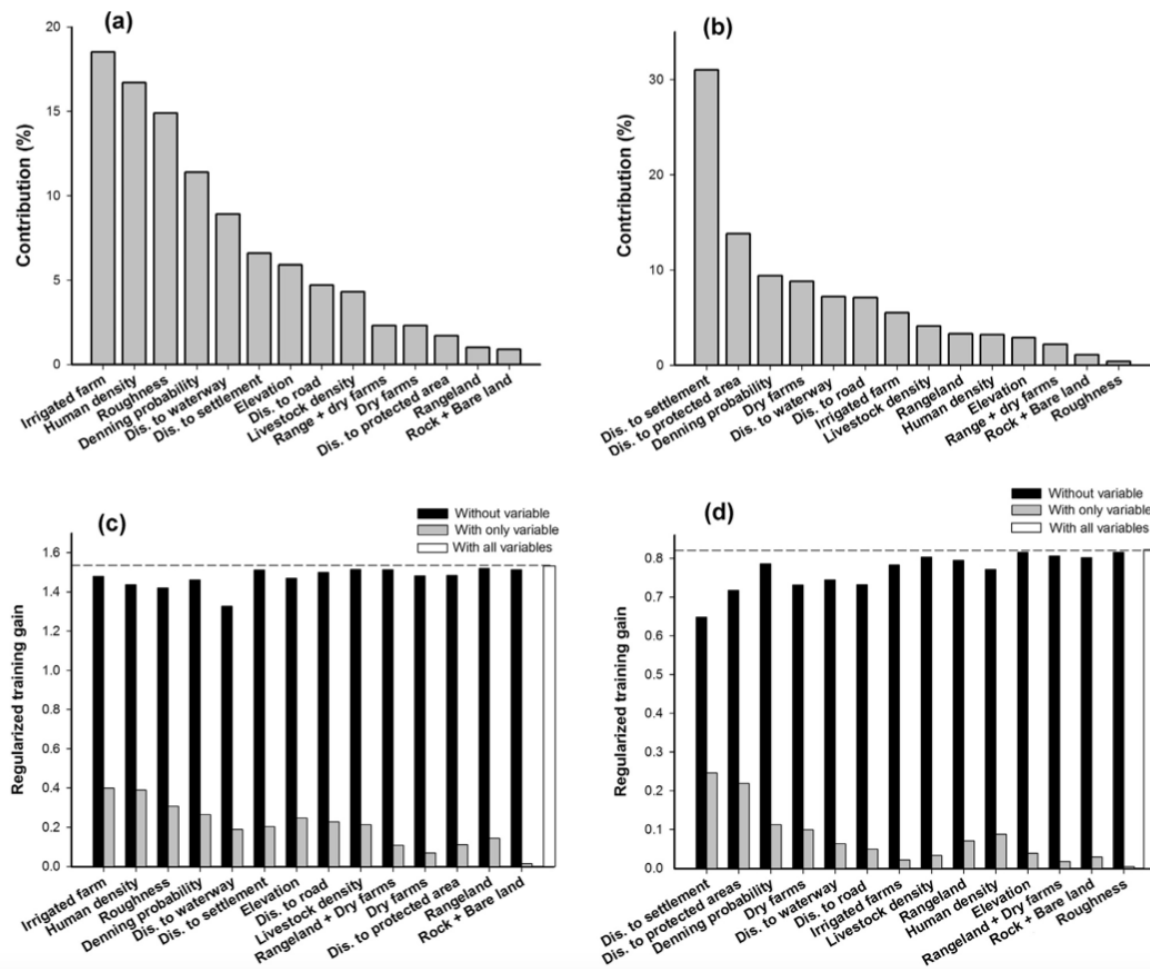


Fig. 3. Contribution relative des variables au modèle pour l'attaque des loups sur les humains (a) et le bétail (b) et importance des variables environnementales pour les modèles Maxent (attaque sur les humains : c, attaque sur le bétail : d) calculée sur la base du gain d'apprentissage régularisé pour les modèles avec chaque variable omise (barres noires) et pour les modèles contenant chaque variable de manière isolée (barres grises). La barre blanche fait référence au gain d'apprentissage régularisé obtenu pour le modèle général avec toutes les variables

Les courbes de réponse produites pour les modèles Maxent montrent la direction de l'effet des paramètres les plus importants sur les attaques de loups (Fig. 4). Nous avons constaté que la probabilité d'attaques de loups sur des humains augmente dans les zones où la proportion de fermes irriguées et la densité humaine sont plus élevées. Inversement, dans les zones où la probabilité de sélection des tanières par les loups est plus élevée et où le paysage est plus accidenté, la probabilité d'attaques de loups sur l'homme diminue. Les courbes de réponse indiquent également que les attaques de loups sur les humains se produisent principalement à proximité des habitations et des cours d'eau, avec un écart type élevé dans les zones éloignées des habitations et des cours d'eau (Fig. 4). En ce qui concerne les attaques sur le bétail, nos résultats indiquent que les attaques de loups diminuent fortement avec l'augmentation de la distance par rapport aux habitations et une

probabilité plus élevée de sélection des sites de tanières par les loups, tout en augmentant dans les zones plus éloignées des zones protégées avec une plus grande proportion de fermes sèches (mais avec un écart type élevé lié à ces deux dernières variables) (Fig. 4).

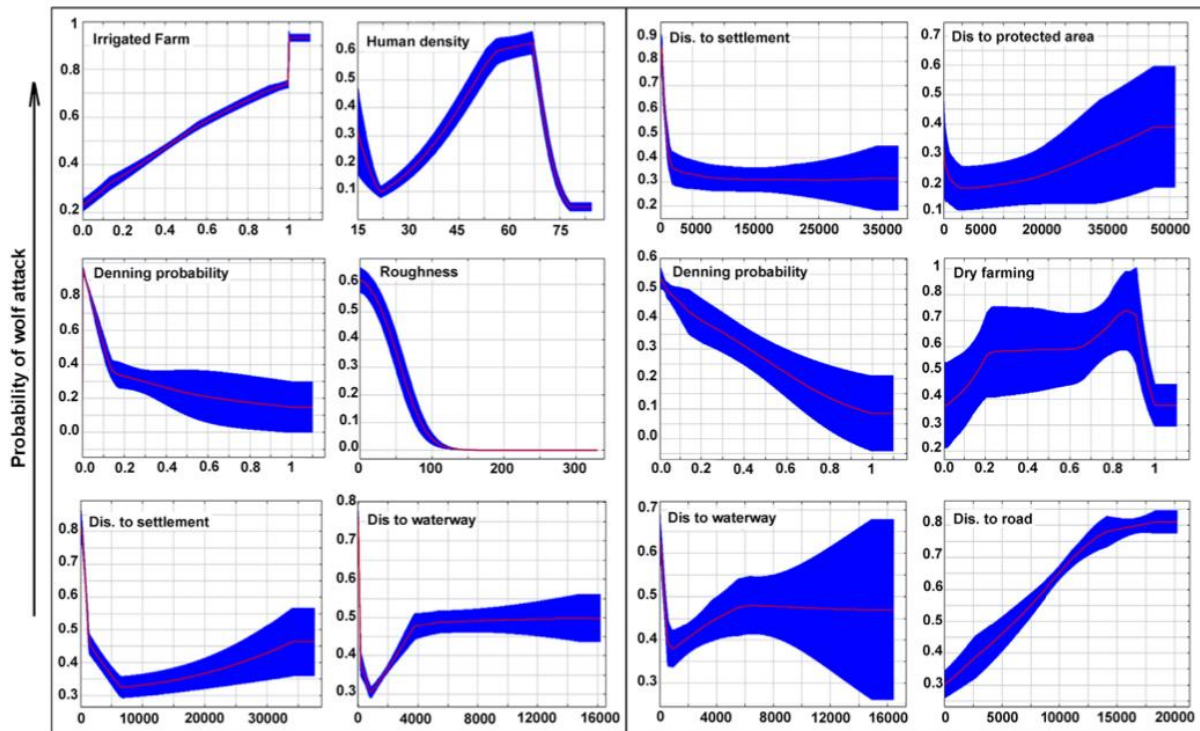


Fig. 4. Courbes de réponse des modèles Maxent pour les attaques de loups sur les humains (à gauche) et le bétail (à droite) en HP. Ces courbes sont générées pour les variables les plus importantes et montrent la réponse moyenne des modèles validés par croisement avec 10 répétitions (rouge) et la moyenne \pm un écart-type (bleu). Pour les descriptions des variables, voir le Tableau A1. (Pour l'interprétation des références aux couleurs dans la légende de cette figure, le lecteur est renvoyé à la version web de cet article)

La comparaison des types d'utilisation du sol dans les catégories de probabilité a révélé que dans les catégories à forte probabilité d'attaque de loups, les activités agricoles, en particulier les fermes irriguées, étaient le principal type d'utilisation du sol. Nous avons constaté qu'avec une probabilité accrue d'attaque de loups sur des humains dans les classes de probabilité, les fermes irriguées couvrent un plus grand pourcentage des zones à haut risque. Cette tendance s'est inversée pour les pâturages, un type d'utilisation des terres avec le plus faible niveau d'intrusion humaine (Fig. 5).

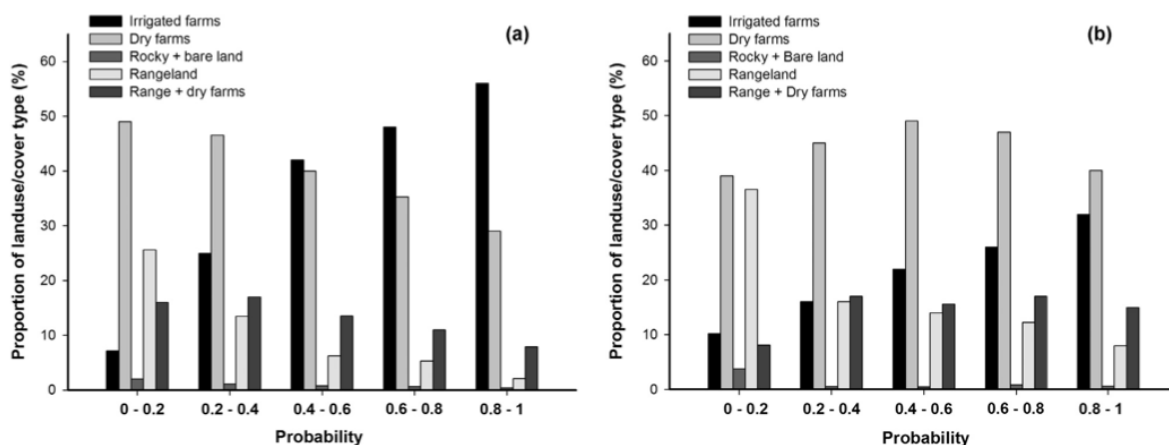


Fig. 5. Proportion de types d'utilisation des sols se retrouvant dans les classes de probabilité dérivées des modèles Maxent développés pour les attaques de loups sur les humains (a) et le bétail (b)

4. DISCUSSION

4.1. Caractéristiques des sites d'attaques de loups dans le paysage modifié de HP

Nous avons construit nos modèles à partir des rapports d'attaques de loups faits par les populations locales et confirmés par le DOE. Les gouverneurs des districts ruraux sont chargés de rapporter les conflits, qu'il s'agisse de déprédation du bétail ou d'attaques contre les humains, aux secteurs supérieurs du gouvernement. Le programme de compensation pour la déprédation du bétail exigeant la confirmation d'une attaque de loup par l'DOE, les éleveurs locaux sont déterminés à identifier et à signaler toute perte de bétail qui pourrait avoir été causée par des loups. Ce système garantit des taux élevés de détection et de signalement des conflits loup-homme dans le pays. De plus, la couverture forestière et le terrain accidenté, qui diminuent les chances de détection correcte des attaques de loups (Breck et al., 2011 ; Oakleaf et al., 2003), ne sont pas susceptibles de poser des problèmes en HP car la couverture forestière est minimale et la végétation herbacée facilite la détection dans les plaines et les régions montagneuses. Malgré cela, il reste quelques cas de pertes humaines et de bétail qui n'ont pas été confirmés par l'DOE. Ces cas, dans lesquels il n'y avait pas de témoin et aucun indice de la victime n'a pu être trouvé, concernaient principalement du bétail insuffisamment surveillé et/ou des enfants non surveillés (DOE Hamedan Provincial Office, pers. Comm.).

Nos modèles ont réussi à identifier diverses caractéristiques de l'environnement qui rendent les attaques de loups plus probables en HP. Bien que nous n'ayons pas une connaissance approfondie de la distribution des loups en HP, nos résultats indiquent que la présence de loups à proximité d'éléments anthropogéniques du paysage avec une plus grande densité d'humains est non seulement commune, mais, comme le montrent les courbes de réponse (Fig. 4), a également conduit à une majorité de conflits loup-homme. On pense généralement que les loups évitent les régions peuplées, se retirant principalement dans les zones naturelles et loin des établissements humains (Jedrzejewski et al., 2008 ; Kaartinen et al., 2005), mais une agrégation de ressources appropriées dans les paysages modifiés par l'homme suffit à attirer les carnivores sauvages dans ces zones (Wilson et al., 2006). Diverses analyses spatiales des sites d'attaques de canidés ont montré que la densité de population humaine ou des paramètres connexes, tels que le changement d'utilisation des terres et la fragmentation de l'habitat, augmentent considérablement le risque d'attaques de prédateurs à proximité des établissements humains (Jhala, 2003 ; Timm et al., 2004).

Nos modèles suggèrent principalement que les éléments anthropiques du paysage et l'altération des habitats naturels par l'homme sont responsables de la recrudescence des attaques de loups en HP. **En particulier près des comtés de Bahar et Kaboudarahang où la plupart des attaques ont eu lieu, l'expansion agricole des trois dernières décennies a détruit presque toutes les forêts naturelles, ne laissant que des pâturages dégradés, des pentes abruptes et nues, et des montagnes rocheuses** (Imani Harsini, 2012). Les seuls habitats intacts et les seules populations naturelles d'ongulés se trouvent dans les zones protégées. Plus la distance aux zones protégées augmente, plus le paysage devient dominé par l'homme, avec peu ou pas d'habitats naturels et de populations de proies naturelles. Les loups sont donc limités aux zones où leurs besoins les plus importants, habitat et nourriture, sont pris en compte.

Les champs de culture, identifiés dans notre étude comme le facteur le plus important affectant les attaques de loups sur les humains, sont particulièrement importants pour les loups en HP en raison de la fourniture d'habitat et d'eau. De petites meutes de deux à cinq loups sont couramment

observées dans les champs agricoles (rapporté par les rangers, bureau provincial du DOE Hamedan). De plus, les loups préfèrent se reproduire dans des fermes soumises à de faibles perturbations humaines et à une bonne disponibilité en eau (José Vicente López-Bao, 2013 ; comm. pers.), une condition que l'on retrouve dans les champs agricoles de HP. Ces champs offrent également une couverture adéquate aux loups pour effectuer leurs attaques sur les enfants non surveillés. Les enfants sont temporairement laissés sans surveillance dans de telles fermes à HP pendant que leurs parents travaillent, offrant une chance aux loups d'attaquer et de prendre l'enfant. Des événements similaires ont été rencontrés dans des paysages modifiés en Inde où de grands carnivores, dissimulés dans des cultures hautes, se sont approchés et ont attaqué des humains (Athreya et al., 2013).

Les loups sont attirés par les établissements humains où leurs seules sources de nourriture, les ordures et le bétail, sont abondantes, ce qui augmente les chances d'attaques prédatrices dans ces zones (Jhala, 2003 ; Timm et al., 2004). Nous avons identifié la proximité des établissements humains comme un facteur important dans les attaques de loups sur le bétail et une forte densité de population ayant une contribution élevée aux attaques sur les humains. Les mauvaises méthodes d'élimination des déchets pratiquées en HP (Hasanzadeh et al., 2012), ainsi que la disponibilité du bétail à proximité des villages, attirent les loups affamés à la périphérie des villages et des villes. Dans ces situations, les loups s'habituent facilement aux humains (Eggermann et al., 2011 ; Krithivasan et al., 2009 ; Llana et al., 2012) et sont donc plus enclins à montrer un comportement prédateur envers eux (Linnell et al., 2002 ; Mech et Boitani, 2010 ; Sillero-Zubiri et Switzer, 2004).

De plus, la plupart des attaques contre les humains se sont produites dans des plaines plates à faible rugosité (Fig. 4), qui sont les terres les plus propices à l'agriculture, notamment à l'agriculture irriguée. Cependant, l'importance relativement faible de la rugosité pour la prédiction des attaques sur le bétail (Fig. 3b, 3d) indique que la déprédation du bétail est susceptible de se produire sur des terres présentant une variété de caractéristiques topographiques. Cela peut être lié à la méthode d'élevage du bétail en HP où les bergers conduisent les troupeaux dans une variété de plaines basses, de régions montagneuses et de hauts plateaux.

Bien que l'interprétation de nos résultats soit entravée par le manque de données sur la distribution des meutes de loups en HP, l'utilisation de la probabilité de tanière comme indice de distribution des meutes de loups reproducteurs dans la région a indiqué que, bien que cette variable soit un prédicteur important dans les attaques de loups à la fois sur les humains et le bétail (Fig. 3), la probabilité des attaques dans les zones à forte probabilité de mise en terrier des loups - plaines plates avec de faibles perturbations humaines (Ahmadi et al., 2013) - est plus faible (Fig. 4). Cela pourrait s'expliquer par le fait que les loups ont tendance à localiser les tanières dans les zones où la disponibilité naturelle des proies est plus élevée, ou que, la sécurité étant une caractéristique importante de la localisation des tanières, ils évitent les conflits dans ces régions et concentrent leur comportement prédateur dans les zones éloignées des tanières. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour confirmer ces explications possibles.

La proximité de cours d'eau a également contribué de manière considérable à notre carte des risques, tant pour les humains que pour le bétail. L'eau est un facteur important dans le choix du site de la tanière du loup pendant la lactation (Ahmadi et al., 2013). Les attaques de loups sur le bétail et les humains en HP sont concentrées entre la fin du printemps et le début de l'été (Behdarvand & Kaboli, sous presse). Cette période, enregistrée couramment pour les attaques de

loups prédateurs dans plusieurs autres pays (Linnell et al., 2002), correspond au moment où les loups font face à une augmentation de leurs besoins alimentaires, car ils commencent à mettre bas, à allaiter leurs petits et à les nourrir (Edge et al., 2011).

4.2. Implications de l'atténuation des conflits

Nos modèles de risques spatiaux montrent les points chauds de conflit en HP et peuvent être d'une grande aide pour le gouvernement local dans la planification des stratégies d'atténuation des conflits. C'est sur ces points chauds que les autorités locales et les futurs chercheurs devraient concentrer leurs efforts et leurs ressources pour mettre en œuvre et tester l'efficacité de diverses méthodes non létales de contrôle des loups (Breck et al., 2002 ; Breitenmoser et al., 2005 ; Gehring et al., 2006 ; Shivik, 2004 ; Shivik et Martin, 2000) et/ou l'élimination sélective des individus problématiques (Treves et al., 2011, 2009).

Généralement, les populations locales de HP manquent des connaissances nécessaires concernant la manière de prévenir les rencontres avec le loup et les actions à entreprendre lorsque de telles rencontres se produisent, croyant que la persécution est le seul moyen efficace de réduire les conflits. En considérant les facteurs importants qui conduisent aux conflits en HP, il est maintenant possible pour le gouvernement local de fournir des directives pertinentes pour éviter les conflits, à la fois pour les éleveurs de bétail et les populations locales dans les zones à haut risque. Les enfants étant la cible principale des loups (Behdarvand & Kaboli, sous presse), **il est particulièrement important de ne pas les laisser sans surveillance dans les fermes ainsi qu'à la périphérie des villes et des villages. Il est particulièrement recommandé de ne pas recruter d'enfants comme ouvriers agricoles et bergers.**

Les pratiques d'élevage sont en partie responsables des attaques de prédateurs, en particulier sur les types de bétail autorisés à paître librement (Iftikhar Dar et al., 2009 ; Sangay et Vernes, 2008). Le gouvernement local de HP et le DOE devraient mettre en garde les éleveurs de moutons dans les points chauds du conflit sur les pratiques d'élevage et surtout encourager l'utilisation d'un certain nombre de bergers expérimentés et de chiens de garde entraînés de races appropriées (Gehring et al., 2011 ; Tug, 2005) pour protéger les troupeaux et assurer une surveillance efficace. De plus, la proximité des cours d'eau augmentant le risque de déprédation, les éleveurs devraient recevoir des conseils sur l'approvisionnement en eau potable et la surveillance des troupeaux lors des visites de cours d'eau naturels.

Malgré la capacité des loups à persister dans les agroécosystèmes, une grande partie du paysage étant consacrée aux activités agricoles et d'élevage, (Schuette et al., 2013 ; Treves et al., 2011), les rencontres et les conflits entre l'homme et le loup peuvent également augmenter, par exemple en raison d'une faible disponibilité de proies sauvages. La meilleure méthode d'atténuation possible de la déprédation du bétail dans des situations similaires à celle de HP serait de restaurer les populations de proies sauvages (Sidorovich et al., 2003 ; Vos, 2000), ce qui, en raison de la perte d'habitats naturels, ne semble pas être réalisable à HP. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour envisager la possibilité de réintroduire des proies naturelles telles que les lièvres (*Lepus europaeus*) qui peuvent survivre dans le paysage modifié de HP.

La méthode de modélisation que nous avons utilisée peut-être appliquée dans d'autres pays où les données biologiques font défaut pour cartographier le conflit homme-carnivore et identifier les zones les plus à risque où les ressources de conservation et de gestion devraient être allouées. Les suggestions d'atténuation que nous avons fournies peuvent être très pertinentes pour toute région confrontée à un conflit homme-carnivore dans des paysages modifiés similaires. Le succès de ces méthodes peut être significatif pour réduire les attitudes négatives envers les carnivores et contribuer ainsi à une conservation efficace des carnivores.