

Échecs de localisation des colliers GPS : une source d'erreurs à maîtriser

Gilles Bourgoïn¹, Mathieu Garel¹, Dominique Dubray, Daniel Maillard, Éric Marty & Jean-Michel Gaillard¹

¹ UMR-CNRS 5558, Biométrie et Biologie Évolutive, Université de Lyon 1, 69622 Villeurbanne Cedex

CONTEXTE DE L'ÉTUDE

Aujourd'hui, les colliers munis d'un système de localisation satellitaire GPS permettent aux biologistes de collecter automatiquement de grandes quantités de localisations géographiques précises à des intervalles de temps programmables et sur une large échelle spatiale. Cependant, deux principales limites et sources d'erreurs ont été rapidement identifiées : le niveau de précision de la localisation géographique et l'échec de localisation dans certaines conditions (D'Eon *et al.*, 2002 ; Frair *et al.*, 2004 ; Lewis *et al.*, 2007). Il est indispensable d'apprendre à les maîtriser, tout particulièrement dans les études de sélection de l'habitat.

Dans ces approches, l'imprécision de la localisation géographique aboutit généralement à une moindre puissance du traitement des données ou à des erreurs de classification (White & Garrott, 1986 ; Nams, 1989). L'ampleur de ces biais dépend du degré d'erreur de localisation mais aussi de la fragmentation du paysage. Cependant, la précision des systèmes GPS a été nettement améliorée à la fin des années 90 (Hulbert & French, 2001 ; Adrados *et al.*, 2002) et est devenue en général meilleure que la résolution des cartes d'habitats (Mahoney & Virgl, 2003 ; Dussault *et al.*, 2005). Cette évolution et l'abandon de la dégradation volontaire des signaux satellites par l'armée américaine en mai 2000 ont nettement réduit l'impact des biais causés à l'origine par l'imprécision des localisations.

Dans ce travail, nous avons étudié la seconde source d'erreurs : l'échec de localisation quand le système GPS n'arrive pas à obtenir de localisation à l'instant programmé. Ces échecs peuvent fortement influencer les conclusions des études sur la sélection de l'habitat car ils ne se produisent pas au hasard. Depuis 1997, plusieurs études expérimentales de terrain ont été menées pour déterminer les facteurs (topographie, activités et mouvements de l'animal, caractéristiques de l'environnement végétal) qui influencent la probabilité d'obtenir avec succès une localisation à l'instant programmé. Elles ont conduit à proposer des modèles de correction des biais. Néanmoins, plusieurs écueils limitent encore l'utilisation optimale de ces modèles.

Tout d'abord, la majorité des expérimentations de terrain a été menée à partir de colliers GPS fixes alors qu'il a été démontré que les mouvements de ces colliers peuvent réduire le succès de localisation. De plus, la plupart des études récentes réalisées à partir de colliers mobiles n'ont étudié que les impacts de la végétation et de la topographie sur le succès de localisation, sans tenir compte des autres paramètres en jeu. Ensuite, les courts intervalles entre deux localisations souvent utilisés pour les tests de terrain sont reconnus comme responsables d'une augmentation du succès de localisation par rapport à des intervalles plus longs classiquement utilisés sur des animaux en liberté. En outre, le succès de localisation obtenu sur des animaux en liberté s'est révélé plus faible que celui obtenu à l'occasion de tests préalables réalisés sur la même zone géographique. De plus, des modèles de correction des biais mis au point après des tests n'ont pas permis de corriger la majorité des données manquantes très probablement à cause de l'influence du comportement des animaux. Enfin, il semble évident que le recours à des tests préalables sur points fixes ne reproduit pas toutes les composantes d'un comportement animal, notamment la vitesse de déplacement, la position et la hauteur du collier par rapport au sol et la sélection de microhabitats. Dans ce contexte, on doit s'interroger sur l'efficacité de telles approches expérimentales, longues et coûteuses en main d'œuvre (les références bibliographiques détaillées seront consultables dans une publication en cours).

Face à ce constat, nous proposons une approche alternative en utilisant des données GPS collectées sur des animaux sauvages en liberté (voir aussi Graves & Waller, 2006) pour pouvoir tenir compte directement des caractéristiques comportementales et de la sélection d'habitat de l'espèce étudiée. Nous avons ainsi recherché les facteurs susceptibles d'influencer le succès de localisation de colliers GPS posés sur des femelles de mouflon méditerranéen (*Ovis gmelini musimon* x *Ovis sp.*).

Colliers GPS utilisés

Au total, 15 femelles de mouflon du massif du Caroux-Espinouse ont été équipées au printemps de colliers GPS 3300S – version 2 (Lotek, 2003) : 8 en 2003, 4 en 2004 et 3 en 2005. Ces colliers ont été programmés pour enregistrer la localisation des individus toutes les 20 minutes sur des périodes de deux jours, une à trois fois par mois. Les localisations obtenues ont subi une correction différentielle. Les localisations 2D, trop imprécises, ont ensuite été éliminées. La proportion d'échecs de localisation est ainsi passée de 18,1 % à 31,5 %. Des capteurs d'activité à deux axes enregistraient l'activité verticale et latérale de la tête et du cou de l'animal et le pourcentage de temps passé la tête basse, toutes les 5 minutes.

En 2003, les capteurs d'activité de deux femelles n'ont pas fonctionné et les données ont été éliminées. Deux femelles ont été accidentellement prélevées à l'automne au cours des saisons de chasse 2003/2004 et 2005/2006 (respectivement, 8 et 16 périodes disponibles pour 1 152 et 2 304 essais de

localisation). Les onze autres femelles ont été suivies sur 20 à 35 périodes, c'est-à-dire entre 2 880 et 5 040 essais de localisation. Sur l'ensemble des femelles ($n = 13$), on a enregistré une moyenne de 18,6 % d'échecs de localisation par individu, ce pourcentage ayant varié de 11,0 à 31,8 %.

Facteurs de biais étudiés et Interpolation des localisations manquantes

Activités des femelles

Les capteurs d'activité ont été calibrés sur la Réserve nationale de chasse et de faune sauvage des Bauges par deux observateurs, sur quatre femelles munies de colliers GPS semblables et observées durant six jours au cours de l'été 2006. Une analyse discriminante linéaire réalisée sur un sous-échantillon du jeu de données a permis de classer, après calibrage, chaque période de 5 minutes comme étant une période d'activité ou d'inactivité.



Pose d'un collier GPS sur une femelle mouflon

Conditions climatiques (température)

La température extérieure a été suivie avec fiabilité et enregistrée toutes les 5 minutes par un capteur de température intégré au collier.

Topographie (carte du « ciel visible »)

En réduisant la portion apparente de ciel, le relief affecte directement la probabilité de contact avec les satellites du système GPS et les configurations qui en résultent. Pour estimer cet impact, la proportion de « ciel visible » a été calculée sur une superficie de 15 km² à l'aide d'une première grille de points (résolution de 250 m) disposée virtuellement dans le ciel, 100 m au dessus de l'altitude la plus élevée (D'Eon *et al.*, 2002), et d'une seconde grille de points (résolution de 81 m) disposée virtuellement au sol. Pour un point de la grille du sol, nous avons défini la proportion de ciel visible comme étant le pourcentage de points visibles de la grille du ciel.

Végétation

Une carte de végétation (résolution de 81 m) a été dressée à partir de photographies aériennes de 2001. Huit classes de végétation ont été distinguées : habitats ouverts, forêts de conifères, forêts de feuillus en période de feuilles (1^{er} avril-31 octobre), forêts de feuillus en période sans feuilles (1^{er} novembre-31 mars), forêts mixtes feuillus/conifères, forêts de chênes verts, forêts de chênes verts parsemés, et zones rocheuses.

Interpolation des localisations manquantes

Les localisations manquantes (échecs de localisation et localisations de faible précision) ont été estimées par interpolation : la localisation manquante est placée au milieu du segment de droite qui relie le point précédent au point suivant (Cargnelutti *et al.*, 2007). En tenant compte de l'activité de l'animal, l'individu était placé au même point quand il était

au repos. Pour une longue période de repos, c'est un point moyen qui a été calculé. Sur une période d'activité, pour limiter l'erreur d'interpolation, les séquences de plus de deux données manquantes n'ont pas été interpolées. En conséquence, 34,4 % des localisations manquantes n'ont pas pu être interpolées. La précision de l'interpolation, testée sur un échantillon des données, s'est avérée très satisfaisante.

Principaux résultats

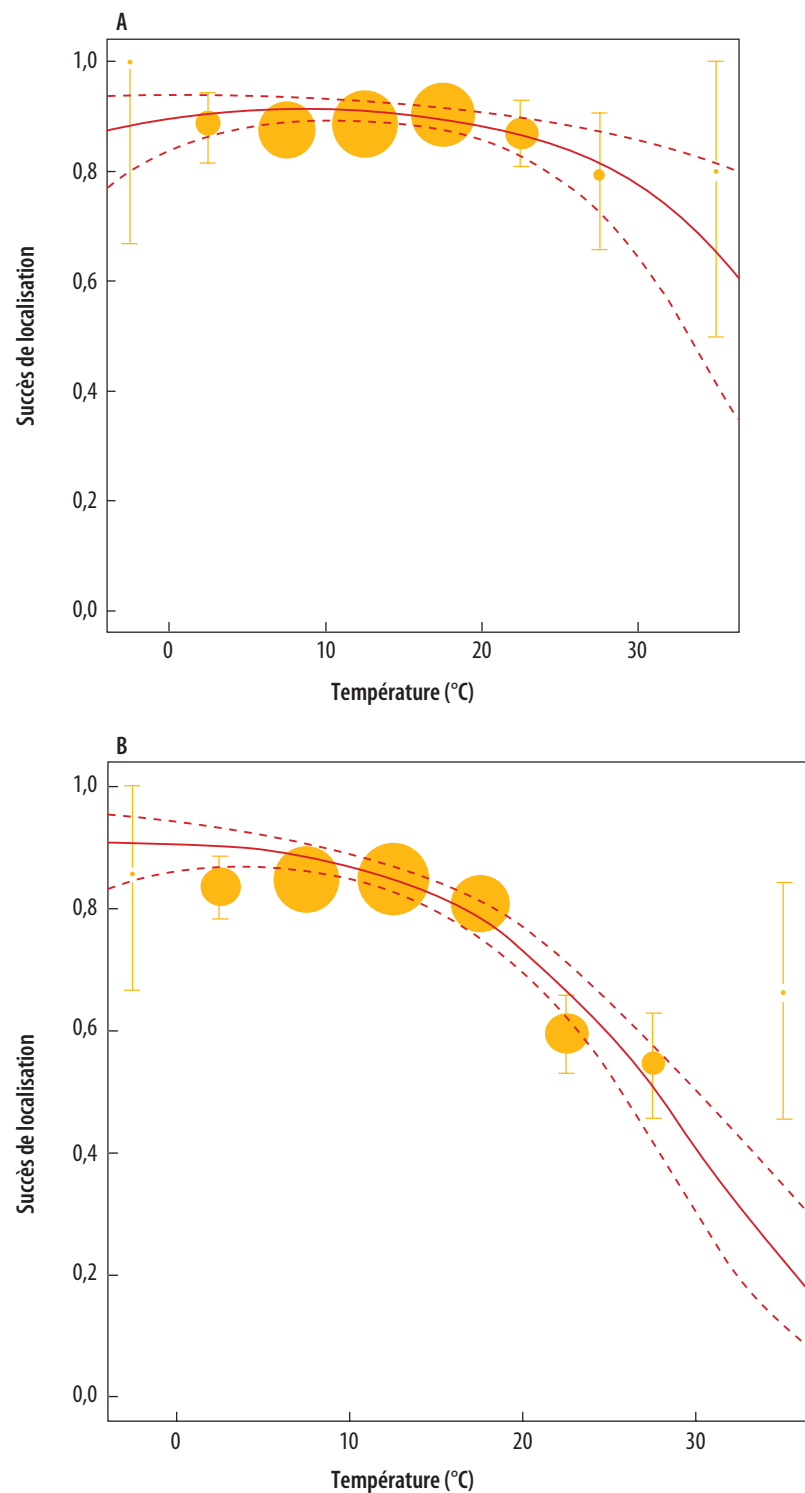
Influences de l'activité de l'animal et de la température sur le succès de localisation

La température et l'activité de l'animal affectent le succès de localisation dans les deux modèles statistiques les plus probables (modèles mixtes linéaires généralisés, et critères d'Akaike). Le succès de localisation s'est révélé significativement plus faible pour les femelles au repos que pour les femelles actives à la température moyenne de la zone d'étude (13,6° C). Cependant, il est grossièrement constant et semblable pour les deux types de femelles pour les faibles températures. Par contre, on observe une forte décroissance au delà de la température moyenne chez les femelles au repos (figure 1b), alors qu'il reste relativement élevé chez les femelles actives (figure 1a).

Influences de la topographie et de la végétation sur le succès de localisation

L'interpolation a permis d'estimer les localisations de 66 % des données manquantes (échecs de localisation et localisations à faible précision) et de 55 % des échecs de localisation de l'ensemble du jeu de données. La classe de végétation et la proportion de ciel visible affectent le succès de localisation dans les deux modèles statistiques les plus probables (modèles mixtes linéaires généralisés, et critères d'Akaike).

Figure 1 : Effets de la température sur le succès de localisation de colliers GPS 3300S pour 13 femelles de mouflon lorsque celles-ci sont (A) actives ou (B) inactives. Ces femelles ont été suivies sur le massif du Caroux-Espinouse entre 2003 et 2006. [Les cercles pleins sont les valeurs observées par classe de température. La taille des cercles est proportionnelle au nombre de données disponibles. La ligne continue (médiane) et les lignes en pointillés (quantiles de 2,5 % et de 97,5 %) sont les valeurs prédites par le modèle.]



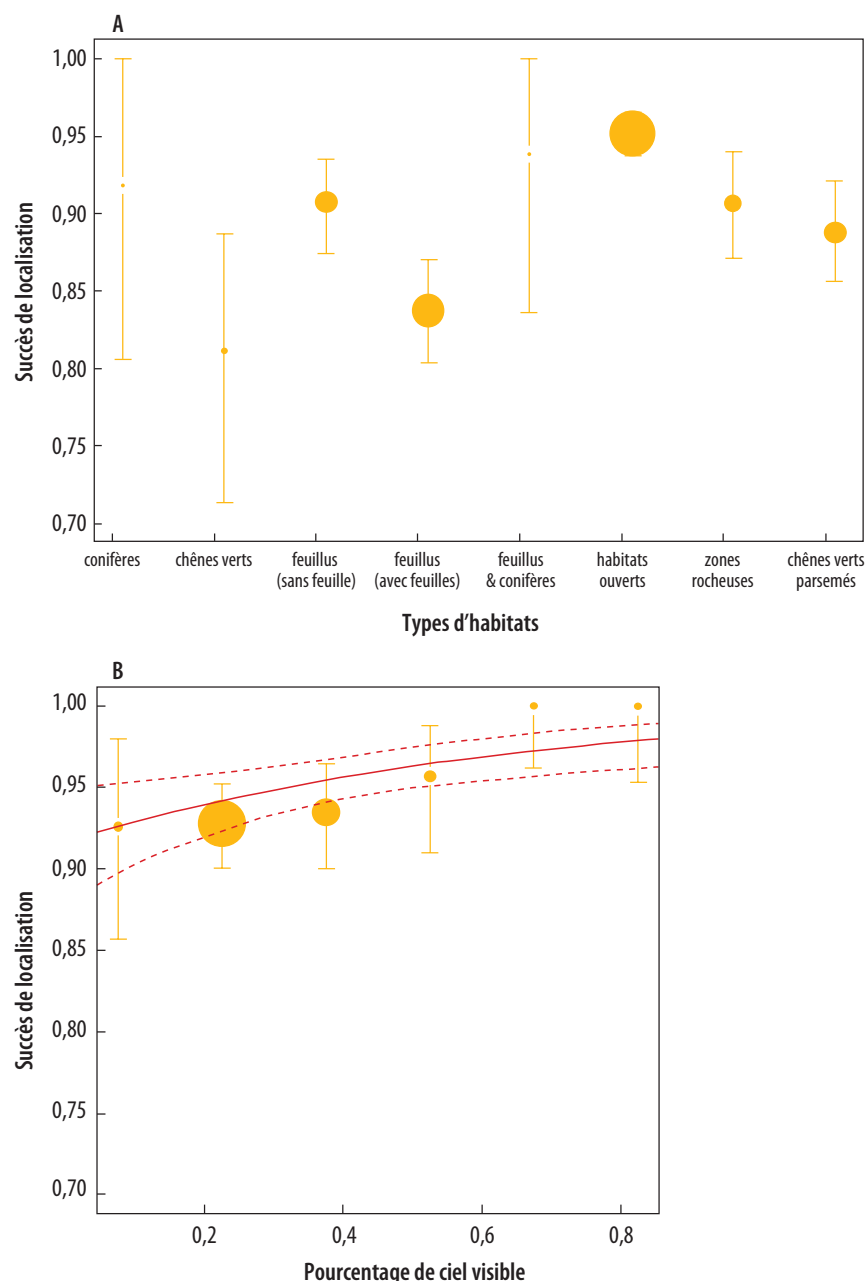
Le type de végétation influence fortement le succès de localisation (figure 2a) avec la plus faible incidence dans les habitats ouverts et le plus fort impact sous les chênes verts. Tous les habitats testés présentent un succès de localisation significativement plus faible que les habitats ouverts, à l'exception des forêts de conifères et des forêts mixtes (feuillus et conifères). Les forêts de conifères ne se révèlent différentes d'aucune autre classe de végétation alors que les forêts mixtes présentent un succès de localisation significativement plus important que ceux des chênes verts et des forêts de feuillus en période de feuilles. La très faible fréquentation des conifères et des forêts mixtes comparée à celle des autres types de végétation a certainement contribué à l'impossibilité de mettre en évidence leurs impacts attendus sur le succès de localisation. Les zones rocheuses ont un succès de localisation plus faible que les habitats ouverts mais plus fort que les chênes verts et que les forêts de feuillus en période de feuilles. Dans les forêts de feuillus, le succès de localisation est significativement plus faible quand le feuillage est présent. On note aussi une différence significative entre chênes verts et forêts de feuillus sans feuilles. Enfin, le succès de localisation est meilleur dans les chênes verts parsemés que dans les chênes verts denses et que dans les forêts de feuillus en période de feuilles.

Le succès de localisation se révèle plus faible dans les zones à plus faible visibilité du ciel et augmente linéairement avec cette disponibilité (figure 2b).

Discussion

Sans recourir à une lourde expérimentation préalable, nous avons pu déterminer le rôle de certains facteurs sur le succès de localisation de nos colliers GPS. À l'opposé des expérimentations de terrain, nous avons directement utilisé les données spatiales et temporelles recueillies par des colliers posés sur des femelles de mouflon vivant à l'état sauvage. L'influence du comportement de l'animal a été facilement

Figure 2 : Effets du type d'habitat (A) et de la proportion de « ciel visible » (B) sur le succès de localisation de colliers GPS 3300S pour 13 femelles de mouflon. Ces femelles ont été suivies sur le massif du Caroux-Espinouse entre 2003 et 2006. [Les cercles pleins sont les valeurs observées par type de végétation (A) et par classe de « ciel visible » (B). La taille des cercles est proportionnelle au nombre de données disponibles. La ligne continue (médiane) et les lignes en pointillés (quantiles de 2,5 % et de 97,5 %) sont les valeurs prédites par le modèle.]



testée en utilisant les capteurs d'activité. Le calibrage des capteurs d'activité réalisé par des observations directes de femelles en liberté nous a permis de prédire de manière

fiable leur comportement, actif ou inactif, sur toute la période d'étude. Ces informations comportementales ont aussi fourni l'occasion de réaliser une procédure d'interpolation solide

et précise et, par là, de pouvoir tester à une échelle fine l'influence des conditions environnementales. Ainsi, nous avons démontré que les échecs de localisation n'apparaissent pas au hasard, mais sont influencés par les températures élevées, le comportement de l'animal et les caractéristiques de l'habitat.

Pour limiter le stress et les coûts énergétiques induits par les températures extrêmes, les ongulés utilisent de préférence les zones de couvert. Les conditions climatiques hivernales peu contraignantes sur notre zone d'étude (température moyenne en hiver = 3,3° C, écart-type = 3,8) expliquent les fortes et constantes valeurs du succès de localisation aux températures les plus basses. De plus, le mouflon peut rejoindre les fonds de vallée du Caroux-Espinouse pour éviter les conditions climatiques les plus rudes. En 1991, les femelles étaient ainsi principalement observées en milieux ouverts en hiver où la probabilité d'obtenir une localisation est forte. Au contraire, au cours des périodes chaudes, les mouflons s'abritaient sous un couvert dense, ce qui peut expliquer les faibles valeurs de succès de localisation observées. La forte dégradation du succès de localisation des femelles au repos suggère que les mouflons sont fortement affectés par les sécheresses estivales qui affectent le Caroux-Espinouse. On doit noter que ces conditions climatiques et de tels habitats ont été imposés à cette population allochtone introduite il y a cinquante ans (les références bibliographiques détaillées seront consultables dans une publication en cours).

Un plus faible succès de localisation a été enregistré pour des animaux au repos par rapport à des animaux actifs. Les variations de hauteur du collier par rapport au sol pourraient être la cause de ce phénomène (Graves & Radandt, 2004). Le collier d'un animal couché est plus proche du sol ce qui favorise les effets d'obstruction d'obstacles environnants (Bowman *et al.*, 2000) En outre, le sol reflète ou absorbe une partie des signaux émis par les satellites, et l'antenne ne reçoit plus tout à fait les mêmes signaux (Graves & Waller 2006). Enfin l'antenne n'est plus orientée de la même manière



© A. Roobrouck/ONCFS

vers le ciel ce qui diminue le succès de localisation (Moen *et al.*, 1996 ; D'Eon & Delparte, 2005). De la même manière, quand un animal est proche d'un arbre ou d'un rocher, le rayonnement satellitaire capté par l'antenne est plus ou moins fortement réduit. La sélection de microhabitats est donc supposée avoir un fort impact sur le succès de localisation (Edenius, 1997 ; Sager-Fradkin *et al.*, 2007). Cependant, le succès de localisation des femelles de mouflons de notre zone d'étude ne varie pas suivant qu'elles soient actives ou au repos pour les basses températures. Ceci suggère que d'autres facteurs sont en jeu. En raison de leur régime alimentaire (herbes et arbustes), les mouflons sont principalement actifs en milieux ouverts. Au contraire, au cours de l'été, ils ont tendance à se reposer dans des zones rocheuses escarpées ou en milieux fermés à la recherche de l'ombre, milieux où le succès de localisation est plus faible que celui des milieux ouverts. Ainsi, cette inversion dans l'utilisation de l'habitat en période chaude doit expliquer la forte différence de succès de localisation entre femelles actives et au repos au cours des journées chaudes.

De précédentes études n'ont enregistré aucune influence de l'obstruction topographique ou, au contraire, un effet négatif sur le succès de localisation dans les zones à visibilité du ciel

réduite (ou en interaction avec la fermeture du couvert) avec une forte variabilité des impacts suivant les études. À l'opposé d'autres approches, nous avons corrigé la visibilité du ciel par la classe de végétation, et testé ensuite la propre influence de la visibilité du ciel indépendamment de la classe de végétation. Nous avons pu ainsi observer une influence réellement négative de l'obstruction topographique. Avec une disponibilité réduite, les colliers GPS ne pouvaient contacter qu'un nombre plus réduit de satellites dans une moins bonne configuration. Cette situation entraîne un plus faible succès de localisation (Lewis *et al.*, 2007).

Les caractéristiques de la végétation influencent aussi le succès de localisation : les plus forts succès sont enregistrés en milieux ouverts et les plus faibles en milieux fermés. La décroissance de ce succès suivant un continuum allant des milieux ouverts aux forêts de feuillus en saison de port des feuilles peut être expliquée par l'obstruction générée par les arbres proportionnellement à leur densité (Rempel *et al.*, 1995 ; Rumble & Lindzey, 1997). Par contre, l'influence du feuillage sur le succès de localisation est actuellement controversée. Le plus faible succès en forêts de feuillus en saison de port des feuilles par rapport à la saison hivernale suggère un effet

d'obstruction du feuillage au passage des signaux satellitaires (Sigrist *et al.*, 1999 ; Moen *et al.*, 2001). Cependant, dans de précédentes études, l'accroissement hivernal du succès de localisation n'était pas seulement observé en forêt décidue mais aussi dans les forêts de conifères comme dans les forêts mixtes. Cet effet pourrait être causé par des changements atmosphériques saisonniers qui créent de meilleures conditions de réception en hiver (Dussault *et al.*, 1999). À l'opposé de ces résultats, des expérimentations de terrain ont révélé de plus forts succès de localisation pour la période avec feuilles que pour la période sans feuilles ou des succès de localisation semblables. Dans cette étude, nous avons montré un clair accroissement du succès de localisation pour la période sans feuilles par rapport à la période avec feuilles qui démontre un réel effet d'obstruction généré par les feuilles.

L'influence de zones rocheuses sur le succès de localisation est mise en évidence, à notre connaissance, pour la première fois. Bien qu'aucune obstruction de la végétation n'apparaît, par définition, dans les zones rocheuses comme en milieux ouverts, un plus faible succès de localisation a été enregistré dans ces secteurs. Ce résultat est peut-être dû à un problème d'écho « *multipath* » (les signaux du satellite sont reflétés par des objets avant d'atteindre l'antenne du GPS ; leur parcours est donc plus long, ce qui leurre les algorithmes du GPS) ou à des obstructions générées par des rochers ou falaises dans ces secteurs escarpés. La visibilité du ciel peut être également limitée quand les mouflons sont couchés au pied des rochers ou à l'entrée des grottes (Bourgoin G., M. Garel M. & E. Marty, observations personnelles).

Les colliers GPS se révèlent maintenant indispensables pour accroître nos connaissances sur l'utilisation de l'espace et des habitats par le monde animal, et de nouvelles règles de gestion de la faune sauvage commencent à découler de leur utilisation. Cependant, le manque de précision spatiale ou des données manquantes dans les jeux de données GPS

pourraient aboutir à préconiser des mesures de gestion erronées. Il nous apparaît donc important de continuer à identifier les facteurs qui influencent la qualité de ces données pour conforter les conclusions des recherches.

REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié des appuis techniques et des jeux de données de l'Office national de la chasse et de la faune sauvage (Service départemental de l'Hérault, BMI Languedoc-Roussillon et Direction des études et de la recherche). Nous remercions Johann Soubeyran pour la réalisation de la carte de végétation, le Groupement d'intérêt environnemental et cynégétique, l'Office national des forêts et les stagiaires de la station de terrain de Fagairolles pour leurs diverses collaborations. Nous remercions aussi Jean-Paul Gendner (CNRS-Strasbourg) et Georges Janeau (IRGM-INRA-Toulouse) pour la correction différentielle des localisations GPS, le Centre de Calcul IN2P3 (Villeurbanne) pour leurs ressources informatiques, Oana Bantus et Wendy Renaud (Lotek Wireless Inc. – Canada) pour le support technique des colliers GPS. Nos remerciements enfin à Laurence Colas, directrice du Parc zoologique de Montpellier, et à ses collaborateurs qui nous ont permis de réaliser nos premiers tests de capteurs d'activité sur une femelle adulte. Gilles Bourgoin a été financé par l'Office national de la chasse et de la faune sauvage et la Fédération départementale des chasseurs de l'Hérault.

BIBLIOGRAPHIE

- Adrados C., Girard I., Gendner J.P. & G. Janeau (2002) – GPS location accuracy improvement due to Selective Availability removal. *Comptes Rendus de Biologie* 325: 1-6.
- Bowman J.L., Kochanny C.O., Demarais S. & B.D. Leopold (2000) – Evaluation of a GPS collar

for White-tailed deer. *Wildlife Society Bulletin* 28: 141-145.

- Cargnelutti B., Coulon A., Hewison A.J.M., Goulard M., Angibault J.M. & N. Morellet (2007) – Testing global positioning system performance for wildlife monitoring using mobile collars and known reference points. *Journal of Wildlife Management* 71: 1380-1387.
- D'Eon R.G., Serrouya R., Smith G. & C.O. Kochanny (2002) – GPS radiotelemetry error and bias in mountainous terrain. *Wildlife Society Bulletin* 30: 430-439.
- D'Eon R.G. & D. Delparte (2005) – Effects of radio-collar position and orientation on GPS radio-collar performance, and the implications of PDOP in data screening. *Journal of Applied Ecology* 42: 383-388.
- Dussault C., Courtois R., Ouellet J.P. & J. Huot (1999) – Evaluation of GPS telemetry collar performance for habitat studies in the boreal forest. *Wildlife Society Bulletin* 27: 965-972.
- Dussault C., Ouellet J.P., Courtois R., Huot J., Breton L. & H. Jolicoeur (2005) – Linking moose habitat selection to limiting factors. *Ecography* 28: 619-628.
- Edenius L. (1997) – Field test of a GPS location system for moose *Alces alces* under Scandinavian boreal conditions. *Wildlife Biology* 3: 39-43.
- Frair J., Nielsen S.E., Merrill E.H., Lele S.R., Boyce M.S., Munro R.H.M., Stenhouse G.B. & H.L. Beyer (2004) – Removing GPS collar bias in habitat selection studies. *Journal of Applied Ecology* 41: 201-212.
- Graves T.A. & T.G. Radandt (2004) – GPS collar fix success in the Purcell Mountains. Appendix 1. *in* W.F. Kasworm, H. Carriles & T.G. Radandt, editors. Cabinet-Yaak grizzly bear recovery area 2003 research and monitoring progress report. U.S. Fish and Wildlife Service, Missoula, Montana, USA.
- Graves T.A. & J.S. Waller (2006) – Understanding the causes of missed global positioning system telemetry fixes. *Journal of Wildlife Management* 70: 844-851.
- Hulbert I.A.R. & J. French (2001) – The accuracy of GPS for wildlife telemetry and

habitat mapping. *Journal of Applied Ecology* 38: 869-878.

- Lewis J.S., Rachlow J.L., Garton E.O. & L.A. Vierling (2007) – Effects of habitat on GPS collar performance: using data screening to reduce location error. *Journal of Applied Ecology*: 663-671.
- Lotek Engineering Inc. (2003) – Small and midsize animals – GPS location system – GPS 3300 – User's manual. Lotek Engineering, Inc., Newmarket, Ontario, Canada.
- Mahoney S.H. & J.A. Virgl (2003) – Habitat selection and demography of a nonmigratory woodland caribou population in Newfoundland. *Canadian Journal of Zoology* 81: 321-334.
- Moen R., Pastor J., Cohen Y. & C.C. Schwartz (1996) – Effects of moose movement and

habitat use on GPS collar performance. *Journal of Wildlife Management* 60: 659-668.

- Moen R., Pastor J. & Y. Cohen (2001) – Effects of animal activity on GPS telemetry location attempts. *Alces* 37: 207-216.
- Nams V.O. (1989) – Effects of radiotelemetry error on sample size and bias when testing for habitat selection. *Canadian Journal of Zoology* 67: 1631-1636.
- Rempel R.S., Rodgers A.R. & K.F. Abraham (1995) – Performance of a GPS animal location under boreal forest canopy. *Journal of Wildlife Management* 59: 543-551.
- Rumble M.A. & F. Lindzey (1997) – Effects of forest vegetation and topography on global positioning system collars for elk. Pages 492-501 in *Proceedings of ACSM/ASPRS Annual*

Convention and Exposition Technical Papers. 4: 492-501.

- Sager-Fradkin K.A., Jenkins K.J., Hoffman R.A., Happe R.A., Beecham J.J. & R.G. Wright (2007) – Fix success and accuracy of Global positioning system collars in old-growth temperate coniferous forests. *Journal of Wildlife Management* 71: 1298-1308.
- Sigrist P., Coppin P. & M. Hermy (1999) – Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements. *International Journal of Remote Sensing* 20: 3595-3610.
- White G.C. & R.A. Garrott (1986) – Effects of biotelemetry triangulation error on detecting habitat selection. *Journal of Wildlife Management* 50: 509-513.



© A. Roobrouck/ONCFS

ABSTRACT

GPS collar location failures: how this source of error may be controlled

Gilles Bourgoin, Mathieu Garel, Dominique Dubray, Daniel Maillard, Eric Marty & Jean-Michel Gaillard

- As location failures in studies based on Global Positioning Systems (GPS) are not random, they may lead to misunderstanding animal distribution and habitat selection. Experimental studies have thus been designed to assess the factors influencing the probability of getting a GPS fix. However, in the field, experimental designs cannot mimic the real activity patterns of free-ranging animals.
- We assessed here factors influencing the success of GPS fixes using fine spatial and temporal scale data recorded from 13 collared free-ranging females of Mediterranean mouflon (*Ovis gmelini musimon* x *Ovis* sp.) inhabiting a low mountainous area in southern France. We first accounted for the effects of temperature and animal activity. Then, we interpolated missing locations to quantify the influence of vegetation types and sky openness.
- The fix success was 7% lower in resting (0.84) than in active animals (0.91) at the average temperature (13.6° C) but remains similar and roughly constant at lower temperatures. While the fix success was poorly affected by increasing temperature above the average temperature in active animals (0.77 at 30° C), it strongly decreased in resting animals (0.41). These results probably involve behavioral variation in habitat use as temperature and activity strongly influence the use of cover areas in ungulates.
- Using interpolation, we found that the success of GPS fixes was strongly influenced by habitat types, increasing from 0.81 to 0.95 (with average sky openness of 34%) along a continuum going from forested to rock-open areas. After controlling for differences in vegetation, sky openness had a positive effect on fix success.
- We showed that the probability of acquiring a fix markedly depended on the habitat used by the focal individual, on its activity patterns, and Mediterranean summer conditions (especially temperature). By working on free-ranging animals and using information directly recorded from collared animals, our approach should provide biologists with a more reliable method to account for bias in GPS studies than the costly and time-consuming experimentations performed so far.