Faune sauvage N° 320 I 3e trimestre 2018

Brucellose des bouquetins du massif du Bargy :

des secteurs plus ou moins impactés en lien avec la structuration socio-spatiale des femelles

© J. Hars/ONCFS

Suite à la révélation de deux cas humains et à la découverte d'un réservoir de brucellose dans la population de bouquetins du massif du Bargy (Haute-Savoie) en 2012, de multiples travaux, tant sur les aspects sanitaires que sur le fonctionnement de cette population, ont été lancés par l'ONCFS. Les premières données récoltées indiquaient alors une forte séroprévalence chez les bouquetins de plus de 5 ans, suggérant une exposition plus forte chez ces individus sexuellement matures et une transmission par voie sexuelle. Ces résultats ont dans un premier temps orienté la gestion vers un abattage massif des bouquetins de plus de 5 ans. Néanmoins, des travaux récents ont permis de mieux comprendre le fonctionnement socio-spatial de cette population, ses conséquences sanitaires, et de réorienter les opérations de gestion. Explications.

Pascal Marchand[1], Élodie Petit[1,2,3], Clément Calenge[4], Carole Toïgo[1], Stéphane Anselme-Martin[5], Emmanuelle Gilot-Fromont[3], Jean Hars[2], Sophie Rossi[2]

[1] *ONCFS – Direction de la recherche et de l'expertise, Unité Ongulés sauvages – Juvignac.*
[2] *ONCFS – Direction de la recherche et de l'expertise, Unité Sanitaire de la faune – Gap et Gières.*
[3] *VetAgro Sup Lyon & UMR CNRS 5558, laboratoire de Biométrie et Biologie évolutive – Lyon et Villeurbanne.*
[4] *ONCFS – Direction de la recherche et de l'expertise, cellule d'appui méthodologique – Saint-Benoist, Auffargis.*
[5] *ONCFS – Service départemental de la Haute-Savoie – Sevrier.*

Contact : pascal.marchand@oncfs.gouv.fr

Bref historique
(voir Hars *et al.*, 2015)

2012 : deux cas de fièvre de Malte, dénomination de la brucellose chez l'humain, sont diagnostiqués et reliés à la consommation de fromages frais au lait cru en provenance d'un élevage bovin du massif du Bargy (Haute-Savoie). Les analyses faites sur tous les autres ruminants domestiques de la région s'avèrent négatives. Les regards se tournent alors vers la faune sauvage, et notamment les bouquetins qui occupent ces montagnes, chez lesquels est identifié un réservoir actif de brucellose (dû à la bactérie *Brucella melitensis*), zoonose majeure et virulente pourtant éradiquée des élevages français depuis 2003 après trente années de lutte.

2013 : une campagne de captures et de marquages (boucles auriculaires et marques visuelles permettant une identification à distance, émetteurs VHF ou

colliers GPS permettant de localiser les individus équipés) est lancée dès le printemps pour connaître l'état sanitaire de la population et mieux comprendre son fonctionnement spatial et démographique. Les premiers résultats tombent : 38 % d'animaux séropositifs (n = 77), surtout chez les adultes, suggérant une exposition par voie sexuelle au moment du rut. Les autorités décident alors un abattage des individus de plus de 5 ans, conduit entre l'automne 2013 et le printemps 2014 : 251 individus sont abattus (sur une population estimée à 567 individus ; intervalle de confiance à 95 % de cette estimation : [487-660]).

2014 : les captures conduites au printemps suggèrent que la situation ne s'est pas améliorée ; la proportion (apparente) de bouquetins séropositifs n'a pas diminué et, pire, ce sont maintenant de nombreux jeunes qui semblent touchés. On suppose alors que ces derniers ont pu accéder à la reproduction après l'abattage ciblant les adultes, semblant confirmer une transmission majoritairement sexuelle. Or, après plusieurs années de captures et d'examens sérologiques, les agents de terrain font état d'une structuration spatiale de la maladie : certains secteurs seraient particulièrement touchés et d'autres beaucoup moins, ce que semblent confirmer les premières analyses intégrant une composante spatiale (Anses, 2015 ; Freycon, 2015).

Mais quelle est donc l'origine de cette structuration spatiale de la maladie ? Peut-on réellement définir ces secteurs et les relier au fonctionnement spatial de la population de bouquetins ? Pour tenter de répondre à ces questions, l'ensemble des données récoltées a été réanalysé.

▲ *Chaque individu capturé a fait l'objet d'une prise de sang, permettant notamment de déterminer son statut sérologique vis-à-vis de la brucellose.*

Les localisations d'individus suivis par colliers GPS, les réobservations d'individus marqués et les résultats d'analyses sérologiques passés au peigne fin

Dans un premier temps, nous avons évalué le chevauchement spatial entre les domaines vitaux de 51 bouquetins (23 mâles et 28 femelles) équipés de colliers GPS dont les localisations ont été enregistrées chaque heure, pendant plus de 6 mois, entre 2013 et 2017. Grâce à une classification hiérarchique des bouquetins suivis, établie en utilisant ce chevauchement spatial comme mesure de distance entre chaque paire d'individus, nous avons alors pu déterminer le nombre optimal de « sous-unités spatiales » que l'on pouvait identifier parmi les animaux équipés, et l'emprise géographique utilisée par chacun de ces groupes.

Dans un second temps, nous avons vérifié sur un plus grand nombre d'individus, c'est-à-dire 148 bouquetins marqués et réobservés entre 2013 et 2015 lors de sessions spécifiques d'observations ou de façon opportuniste lors des opérations de terrain réalisées du printemps à l'automne (captures, suivis d'abondance, suivis par télémétrie), l'existence et la cohérence de ces sous-unités spatiales. En effet, la position géographique de chaque animal marqué était relevée non seulement à la capture, mais aussi lors de chaque observation sur le terrain (n = 1 292 observations entre 2013 et 2015). Chaque individu marqué a donc pu être affecté, sur la base du lieu de capture, à l'une des sous-unités définies grâce aux individus suivis par colliers GPS. Nous avons pu évaluer la pertinence des unités spatiales définies précédemment en calculant, pour chaque sous-unité, la proportion des observations des individus assignés à la sous-unité qui étaient bien dans l'emprise spatiale utilisée par ceux équipés de colliers GPS de la même sous-unité.

Enfin, après avoir assigné chacun des 247 individus capturés entre 2012 et 2015 pour la première fois à l'une des sous-unités (toujours d'après le lieu de capture), nous avons évalué dans quelle mesure leur statut sérologique vis-à-vis de la brucellose, obtenu après analyse des prélèvements sanguins réalisés lors des captures, était dépendant de la sous-unité spatiale, mais aussi du sexe de chaque individu, de son âge, et de la période avant/après abattage ciblant les adultes – ces trois derniers facteurs ayant été identifiés comme déterminants lors des analyses antérieures.

▲ *Relâcher d'un bouquetin mâle équipé de boucles auriculaires et d'un collier GPS dans le massif du Bargy, en mai 2015.*

Un rôle central de la structuration socio-spatiale sur le fonctionnement épidémiologique de la brucellose

Les analyses réalisées sur les 51 individus suivis finement par colliers GPS ont mis en évidence l'existence d'au moins 5 sous-unités spatiales parmi les femelles équipées, chacune des femelles d'une

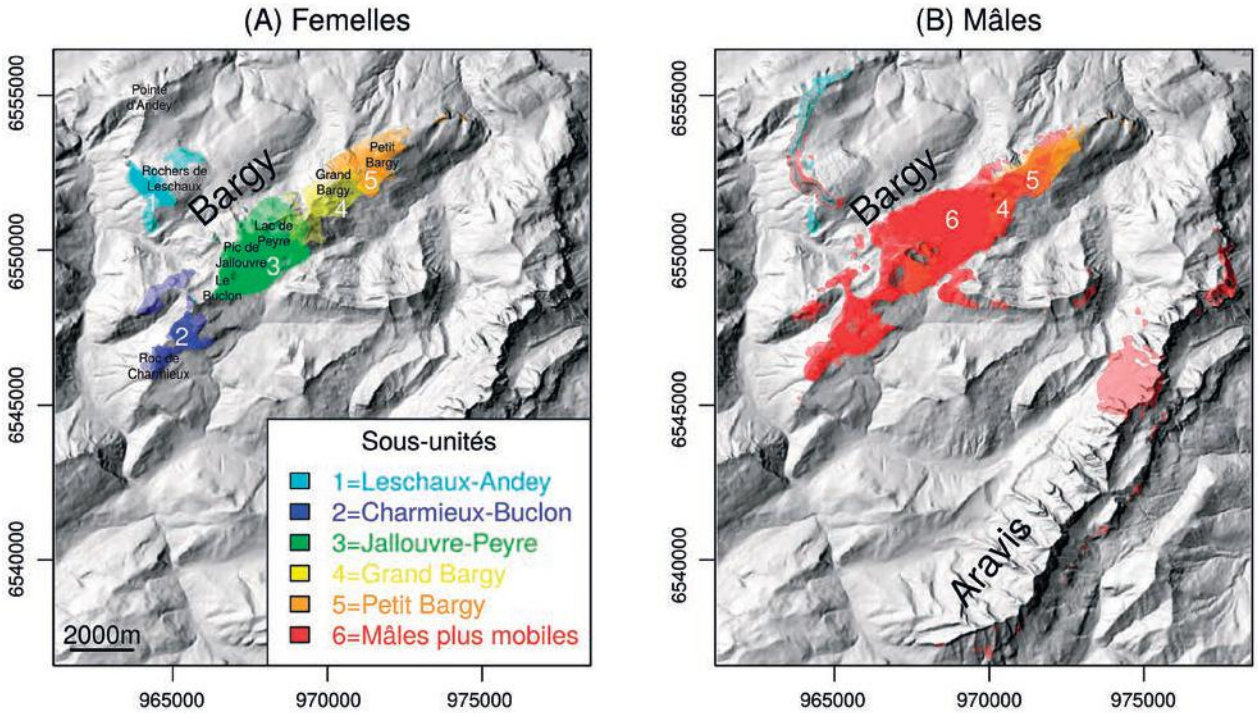
sous-unité utilisant un secteur déterminé et ayant très peu voire pas d'échanges et de contacts avec les femelles d'autres sous-unités (***figure 1***). On distingue ainsi des femelles qui vivent sur les rochers de Leschaux et la pointe d'Andey au nord du massif (sous-unité « Leschaux-Andey » – ***figure 1***), des femelles occupant une zone s'étendant du roc de Charmieux au Buclon (« Charmieux-Buclon »), d'autres dont le domaine vital est centré sur le pic de Jallouvre et le lac de Peyre (« Jallouvre-Peyre »), quelques-unes partageant avec une majeure partie des mâles équipés les versants sud du Grand Bargy (« Grand Bargy ») et enfin, à l'est du massif, la sous-unité « Petit Bargy ». En revanche, si quelques mâles ont une occupation de l'espace semblable à celle des femelles, la plupart d'entre eux se sont révélés beaucoup plus mobiles : leurs mouvements sont centrés une partie de l'année sur le secteur utilisé par les femelles de « Grand Bargy », mais ils transitent aussi entre sous-unités de femelles, notamment au moment du rut (chevauchement non nul avec toutes les sous-unités de femelles – ***figure 1***). Il est intéressant de noter que parmi plus de 150 bouquetins suivis par émetteurs VHF ou colliers GPS depuis 2013, seuls 7 individus – tous des mâles – ont effectué des déplacements jusque dans le massif voisin des Aravis pour des durées variables (quelques jours durant le rut jusqu'à plusieurs mois pour une migration saisonnière, même si ces dernières sont rares dans cette population).

Les localisations des réobservations des 148 individus marqués ont confirmé cette structuration spatiale des femelles, et le fait que le lieu de capture est un bon indicateur de la sous-unité à laquelle chaque individu peut être assigné. Plus de 96 % des 530 réobservations des 71 femelles marquées ont été faites dans le secteur correspondant à la sous-unité assignée d'après le lieu de capture. En revanche, pour les 77 mâles marqués, seules 54 % des 762 réobservations ont été faites dans le secteur de la sous-unité à laquelle ils ont été assignés, confirmant leur plus grande mobilité au cours de l'année. Une analyse du réseau social au sein de cette population a par la suite démontré que cette structuration des femelles était non seulement spatiale, mais aussi sociale, 2 individus de 2 sous-unités distinctes n'étant quasiment jamais observés dans un même groupe de bouquetins (***encadré 1***). Ces analyses mettent donc en lumière une ségrégation socio-spatiale des groupes de femelles, caractéristique désormais bien connue pour son influence sur le fonctionnement général des populations d'ongulés sauvages (***encadré 2***).

En plus de l'âge des bouquetins, cette structuration socio-spatiale des femelles

▲ *Grâce au marquage individualisé et aux réobservations de chaque bouquetin séronégatif pour la brucellose, une structuration socio-spatiale au sein de la population a pu être révélée, de même que son rôle majeur sur le fonctionnement épidémiologique de la maladie.*

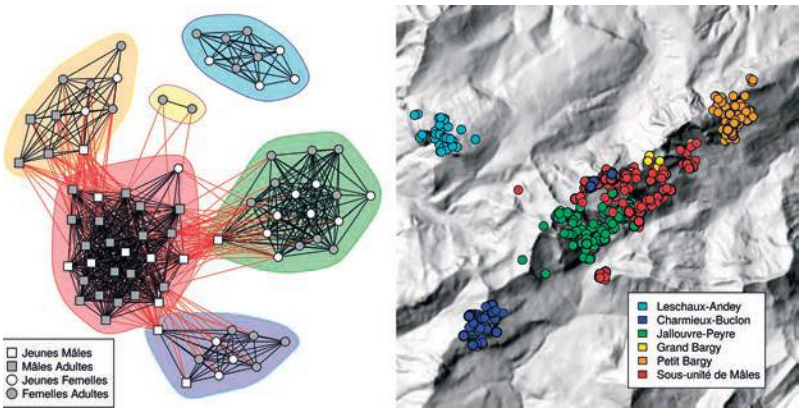
Figure 1 Distribution des domaines vitaux des 51 bouquetins des Alpes (A = 28 femelles ; B = 23 mâles) suivis par colliers GPS dans le massif du Bargy (Haute-Savoie).



▶ Encadré 1 • Une structuration des bouquetins non seulement spatiale, mais aussi sociale

L'analyse de la distribution spatiale basée sur les données GPS a permis d'identifier, simplement sur la base du recouvrement spatial des domaines vitaux des individus suivis, une structuration spatiale de la distribution des animaux, et en particulier des femelles. Cette structuration montre que certains groupes d'animaux utilisent les mêmes zones, et que ces zones sont différentes de celles utilisées par d'autres groupes. Nous avons complété ces résultats par une analyse de la structure sociale de la population, en nous appuyant sur les observations de 77 individus marqués collectées durant l'année 2016. En effet, lorsque les agents de terrain détectent un groupe social de bouquetins, ils reportent les individus marqués appartenant à ce groupe. Cela permet alors d'établir si une paire donnée d'individus marqués fréquentait le même groupe (auquel cas on observe un « lien » entre les deux individus). Afin de mieux comprendre la structure sociale de la population, nous avons utilisé des traitements statistiques conçus pour l'analyse de réseaux sociaux, cette fois sans à priori sur la dimension spatiale. En particulier, nous avons utilisé une classification des individus en groupes maximisant la modularité (c'est-à-dire une fonction du nombre de liens entre individus au sein de chaque groupe) pour définir des sous-unités sociales, que nous avons représentées (***figure 2***).

Figure 2 **À gauche : représentation schématique du réseau social formé par les 77 animaux marqués observés en 2016.** Chaque point représente un individu, et chaque segment de droite reliant deux individus indique que ceux-ci ont été observés dans le même groupe sur le terrain. Une classification des animaux permet de définir des sous-unités sociales (représentées par les différentes couleurs). Les segments noirs indiquent des relations entre individus de la même sous-unité, et les segments rouges des relations entre des individus de deux sous-unités différentes.
À droite : représentation spatiale des localisations des 585 détections de ces 77 individus sur le terrain. Les couleurs correspondent aux unités sociales définies par la classification – ce sont les mêmes que celles définies par l'analyse des données GPS.



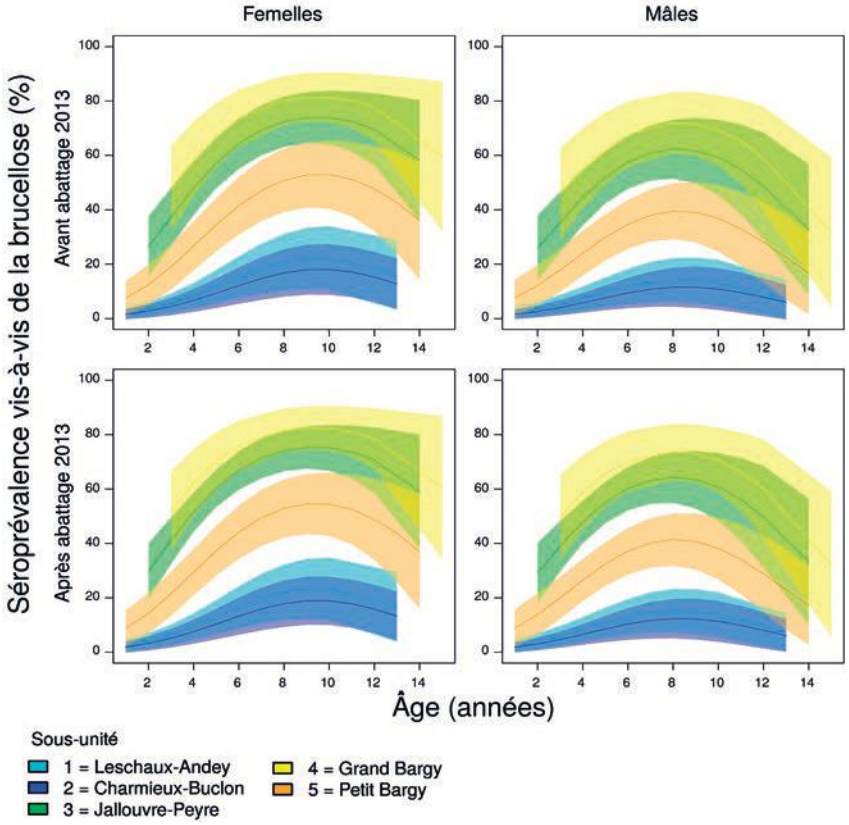
Bien que cette analyse soit basée sur des données complètement différentes de celles utilisées pour définir les sous-unités spatiales, elle a permis d'identifier exactement le même nombre de groupes sociaux. La position des localisations de ces groupes sur le massif correspond exactement à celle des groupes identifiés à l'aide des données GPS. Notons que certains individus sont parfois localisés loin de l'emplacement « normal » attendu (par exemple quelques individus de Charmieux-Buclon localisés dans la zone occupée par la sous-unité de mâles). Il s'agit de jeunes mâles en voie d'émancipation entre leur groupe de naissance et le groupe des mâles. On note que les femelles de deux sous-unités différentes n'interagissent jamais entre elles. Nous retrouvons donc dans cette structure sociale le même schéma que pour l'organisation spatiale de la population.

s'est avérée être un élément déterminant pour expliquer les variations de séroprévalence de la brucellose dans l'ensemble de la population (y compris chez les mâles – ***figure 3***). La séroprévalence augmente graduellement avec l'âge jusqu'à atteindre un plateau autour de 8-10 ans, puis diminue sensiblement au-delà, et ceci de façon semblable pour les deux sexes. Mais elle varie surtout très fortement d'un(e) secteur/sous-unité à l'autre : de 10 à 20 % dans les secteurs/sous-unités les moins touché(e)s (« Leschaux-Andey » et « Charmieux-Buclon ») à plus de 50 % dans les plus impacté(e)s (« Grand Bargy » et « Jallouvre-Peyre »), avec une situation intermédiaire sur le secteur « Petit Bargy » (environ 35 %). On distingue ainsi deux secteurs « périphériques » nettement moins touchés d'une zone « cœur » particulièrement impactée, et une décroissance quasi linéaire de la séroprévalence avec la distance à l'épicentre

▶ Encadré 2 • La ségrégation socio-spatiale, une clé du fonctionnement des populations d'ongulés sauvages

L'existence de structures socio-spatiales, appelée « ségrégation socio-spatiale », est une caractéristique des populations d'ongulés sauvages (pour des exemples français, voir Loison *et al.*, 1999 chez le chamois/l'isard ou Martins *et al.*, 2002 chez le mouflon méditerranéen). Elle résulte à la fois des contraintes sociales chez ces espèces grégaires et de la philopatrie des femelles (tendance à installer son domaine vital sur son lieu de naissance). Les conséquences de la ségrégation socio-spatiale sur le fonctionnement des populations sont également bien connues. Dans un autre contexte sanitaire, elle a par exemple été identifiée comme un paramètre-clé dans les différences de prévalence à la « chronic wasting disease » au sein d'une population de cerf hémione du Colorado (*Odocoileus hemionus* ; Conner & Miller, 2004). La ségrégation socio-spatiale est par ailleurs un facteur-clé expliquant des variations comportementales, phénotypiques, génétiques ou de la valeur adaptative au sein des populations de grands herbivores (pour des exemples français, voir Loison *et al.* (1999) et Crampe *et al.* (2006) chez le chamois/l'isard, Petit *et al.* (1997) et Garel *et al.* (2007) pour le mouflon méditerranéen). Pour les bouquetins du massif du Bargy, sa mise en évidence et l'analyse de ses conséquences sanitaires auront été déterminantes dans la compréhension du fonctionnement épidémiologique et dans la gestion épineuse de ce réservoir de brucellose dans la faune sauvage protégée.

Figure 3 Évolution de la séroprévalence vis-à-vis de la brucellose chez les bouquetins des Alpes du massif du Bargy (Haute-Savoie).



du foyer (« Grand Bargy »). En revanche, après intégration de cette dimension spatiale, nous n'avons pas mis en évidence de différences significatives entre les niveaux de séroprévalence observés avant/après l'abattage massif ciblant les individus de plus de 5 ans. Cela suggère une influence réduite de ces mesures de lutte à court terme et remet surtout en cause l'interprétation initiale de l'augmentation de la séroprévalence des jeunes après l'abattage.

Comment expliquer l'augmentation de la séroprévalence observée chez les jeunes individus après l'abattage massif de l'automne 2013 ?

Avec des niveaux d'enneigement très contrastés entre le printemps 2013 (c'est-à-dire avant abattage), consécutif à un hiver exceptionnellement enneigé, et celui de 2014 (c'est-à-dire après abattage), consécutif à un hiver plus clément, les zones accessibles pour les opérateurs et fréquentées par les bouquetins durant ces deux campagnes de captures ont été différentes. En conséquence, les jeunes individus capturés en 2014 provenaient quasi exclusivement des secteurs les plus infectés (37/39 en provenance de « Grand Bargy », « Jallouvre-Peyre » ou « Petit Bargy »), ce qui n'était pas le cas en 2013 (seulement 22/33). En l'absence de connaissances préalables sur le fonctionnement socio-spatial de cette population, cet échantillonnage différent entre les deux printemps a contribué à faire augmenter artificiellement la séroprévalence des jeunes individus après l'abattage, phénomène que l'on n'observe pas si l'on intègre cette structuration socio-spatiale dans les analyses.

Comment expliquer que la structuration spatiale des femelles engendre des niveaux de séroprévalence contrastés dans l'ensemble de la population alors que les mâles peuvent parcourir l'ensemble du massif, notamment en période de rut ?

Parmi les différentes voies potentielles de transmission de la brucellose entre bouquetins (voie sexuelle lors de la reproduction, voie verticale entre mère et cabri et voie horizontale par contacts directs entre bouquetins ou indirects *via* un habitat partagé), et contrairement à ce que les résultats initiaux semblaient indiquer, la structuration spatiale de la séroprévalence chez les mâles aussi bien que chez les femelles suggère que la voie sexuelle n'est probablement pas la voie principale de transmission ; sans quoi une distribution spatialement homogène de la brucellose aurait été attendue sur le massif.

Les niveaux de séroprévalence contrastés malgré les déplacements des mâles sur l'ensemble du massif au moment du rut, mais similaires entre sexes au sein d'une même sous-unité, suggèrent plutôt que les contacts directs ou indirects (à travers des sécrétions virulentes persistant dans un environnement partagé) impliquant les femelles, notamment au moment des avortements (dernier tiers de la gestation) et mises-bas brucelliques, constituent une voie majeure de transmission de la brucellose au sein de chaque sous-unité. Cette période, correspondant à la transition entre l'hiver et le printemps pour le bouquetin, est justement celle où mâles et femelles d'un même secteur partagent les premières pâtures déneigées en quête des

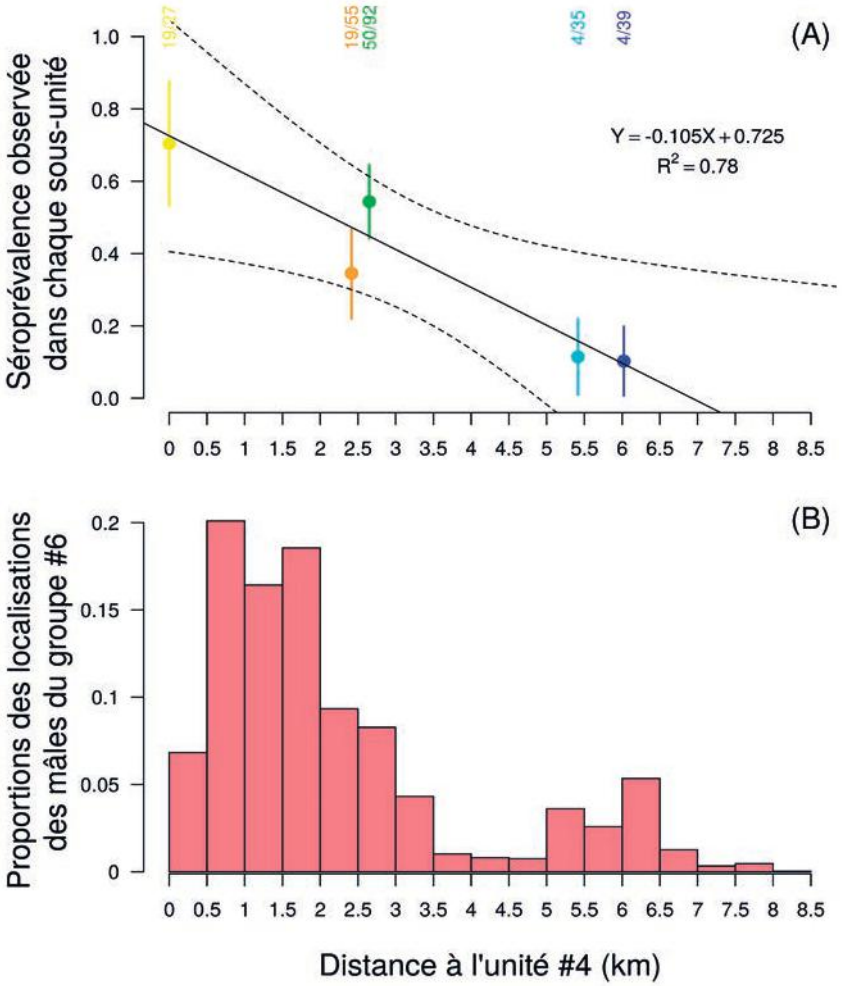
▲ *L'augmentation apparente de la séroprévalence reportée chez les jeunes bouquetins après l'abattage de 2013 résulte surtout de différences dans les secteurs échantillonnés avant/après ces opérations. Une fois prise en compte la structuration spatiale de la brucellose sur le massif, on n'observe plus de différences nettes dans les niveaux de séroprévalence des jeunes avant/après ces opérations.*

premières pousses de végétation. La probabilité de contacts directs (mais mâles et femelles vivent dans des groupes socialement distincts en dehors du rut) mais surtout indirects est donc accrue et pourrait expliquer ce rôle prépondérant de la structuration des femelles, y compris pour les mâles. Même si elle reste à démontrer, cette hypothèse rapprocherait le fonctionnement épidémiologique de la brucellose chez les bouquetins du massif du Bargy de ce qui est connu de longue date chez les ruminants domestiques, où le rôle des avortements/mise-bas brucelliques est déterminant dans la circulation du pathogène entre individus (Díaz, 2013).

Toutefois, la transmission sexuelle au moment du rut ne doit pas être négligée pour autant. En effet, des analyses complémentaires ont montré que les mâles qui se déplacent d'une sous-unité à l'autre n'ont pas une utilisation homogène du massif. Ils sont centrés sur le secteur le plus infecté (Grand Bargy) du printemps à l'automne, les proportions de leurs localisations dans chacune des sous-unités de femelles diminuent lorsqu'on s'éloigne de ce secteur, de même que le niveau de séroprévalence au sein de chaque sous-unité (***figure 4***). Il est donc raisonnable de supposer que la voie sexuelle soit impliquée dans la transmission de la brucellose entre sous-unités, l'utilisation hétérogène du massif par les mâles pouvant engendrer des niveaux hétérogènes de séroprévalence entre sous-unités.

Les hypothèses avancées ici restent toutefois à être étayées par le biais d'analyses complémentaires et de travaux de modélisation (en cours), intégrant les caractéristiques démographiques de cette population (effectifs, reproduction et survie dans chaque sous-unité) et l'hétérogénéité interindividuelle (âge, niveaux d'excrétion, caractéristiques génétiques). La surveillance du foyer est également indispensable pour apprécier son évolution. En effet, suite aux opérations de captures (avec euthanasie des individus séropositifs, de 2015 à 2018) et d'abattages (70 individus à l'automne 2015, 6 à l'automne 2017 – voir ci-après), les niveaux de séroprévalence dans les différentes sous-unités sont susceptibles d'avoir évolué.

Figure 4 Évolution de la séroprévalence observée (A) et de la distribution des mâles les plus mobiles (B) selon la distance à l'épicentre du foyer de brucellose (unité #4 « Grand Bargy ») au sein du massif du Bargy (Haute-Savoie).



▲ *Les contacts directs ou indirects (à travers un environnement partagé) impliquant les femelles semblent particulièrement importants dans l'épidémiologie de la brucellose chez les bouquetins du massif du Bargy : l'existence de groupes socio-spatiaux entretenant peu ou pas de contacts entre eux est à l'origine d'une structuration spatiale de la maladie.*

Quelles conséquences pour la gestion ?

Dès février 2017, les services préfectoraux de la Haute-Savoie, appuyés par l'ONCFS (note de mars 2017), ont proposé une stratégie pluriannuelle de gestion différenciée (c'est-à-dire sectorisée selon les niveaux de risque et différenciée sur la base du statut marqué/non marqué des individus) intégrant pour partie les connaissances nouvelles. Cette stratégie proposait :

- dans une zone dite « cœur » (correspondant aux sous-unités Grand Bargy et Jallouvre-Peyre), où la séroprévalence était la plus élevée, de combiner des abattages d'animaux non marqués de plus de 3 ans (non encore

© P. Marchand/ONCFS

Les regroupements sur les premières pâtures déneigées en fin d'hiver et au début du printemps (ici dans le massif de Belledonne, pour illustration) accroissent les contacts directs et indirects entre bouquetins des deux sexes durant la période des avortements brucelliques, expliquant probablement les niveaux de séroprévalence similaires entre sexes malgré une ségrégation socio-spatiale marquée le reste de l'année.

testés pour la brucellose et chez qui le risque est le plus élevé) et des recaptures d'individus marqués avec euthanasie des séropositifs ;

- dans les zones « périphériques » moins touchées, de procéder uniquement à des captures avec euthanasie des séropositifs.

Au printemps 2017, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a été saisie par les autorités ministérielles en charge de ce dossier pour réévaluer les mesures de gestion potentielles de ce réservoir de brucellose au regard de ces connaissances nouvelles et notamment la proposition préfectorale (Anses, 2017)[1]. Parmi les propositions évaluées, les experts soulignent notamment l'intérêt d'assainir progressivement la zone cœur pour favoriser l'extinction de la brucellose du massif, et de combiner captures et abattages pour atteindre plus rapidement cet objectif.

Au vu des travaux d'expertise conduits et de la présentation de la situation sanitaire, le Comité national de protection de la nature (CNPN) a rendu un avis positif à la proposition préfectorale de gestion sectorisée/différenciée. À l'automne 2017, un arrêté préfectoral a donc été publié reprenant la stratégie proposée initialement (combinaison d'abattages en zone cœur et de captures en zones périphériques), tout en intégrant les recommandations de l'ONCFS (note de mars 2017) et l'avis de l'Anses (2017) de ne pas différencier les classes d'âge dans les opérations et d'intégrer la sous-unité « Petit Bargy » dans la zone « cœur ». Dans ce cadre, 6 individus non marqués des zones les plus à risque ont été abattus durant l'automne 2017 et ont été prélevés de façon à compléter nos connaissances sur l'évolution temporelle du foyer (Rossi *et al.*, en préparation).

1. Le rapport du groupe d'experts chargé de répondre à ces questions est disponible au lien suivant : *https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2016SA0229.pdf.*

Remerciements

Ces travaux n'auraient pas pu voir le jour sans le précieux concours des personnels de l'ONCFS (SD 74, Unité Sanitaire de la faune et Unité Ongulés sauvages), de la Direction départementale de la protection des populations (DDPP) de la Haute-Savoie, des laboratoires départementaux d'analyses vétérinaires de la Savoie et de la Haute-Savoie, du Laboratoire national de référence de l'Anses, de la Fédération départementale des chasseurs de la Haute-Savoie et d'Asters-Conservatoire d'espaces naturels de la Haute-Savoie. Ils ont été financés par le ministère de l'Agriculture et de l'alimentation (DGAl) *via* la DDPP de la Haute-Savoie, l'ONCFS, le Conseil départemental de la Haute-Savoie et les Communautés de communes des vallées de Thônes, de Faucigny-Glières et de Cluses-Arve et Montagnes. Qu'ils soient tous vivement remerciés ! ●

Pour en savoir plus

Pour en savoir plus : Marchand, P., Freycon, P., Herbaux, J.-P., Game, Y., Toïgo, C., Gilot-Fromont, E., Rossi, S. & Hars, J. 2017. Sociospatial structure explains marked variation in brucellosis seroprevalence in an Alpine ibex population. *Scientific Reports* 7 : 15592. https://dx.doi.org/10.1038%2Fs41598-017-15803-w

Bibliographie

- Anses. 2015. *Mesures de maîtrise de la brucellose chez les bouquetins du Bargy*. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective, juillet 2015. Édition scientifique. 163 p.
- Conner, M. M. & Miller, M. W. 2004. Movement patterns and spatial epidemiology of a prion disease in mule deer population units. *Ecological Applications* 14: 1870-1881.
- Crampe, J.-P., Loison, A., Gaillard, J.-M., Florence, E., Caens, P. & Appolinaire, J. 2006. Patrons de reproduction des femelles d'isard (*Rupicapra pyrenaica pyrenaica*) dans une population non chassée et conséquences démographiques. *Canadian Journal of Zoology* 84: 1263-1268.
- Díaz, A. E. 2013. Epidemiology of brucellosis in domestic animals caused by *Brucella melitensis*, *Brucella suis* and *Brucella abortus*. *Revue scientifique et technique de l'Office International des Épizooties* n° 32 : 43-51.
- Freycon, P. 2015. *Rôle du bouquetin* Capra ibex *dans l'épidémiologie de la brucellose à* Brucella melitensis *en Haute-Savoie*. Thèse Vét., VetAgroSup Lyon, univ. Claude Bernard Lyon 1. 190 p.
- Garel, M., Cugnasse, J.-M., Maillard, D., Gaillard, J.-M., Hewison, A .J. M. & Dubray, D. 2007. Selective harvesting and habitat loss produce long-term life history changes in a mouflon population. *Ecological Applications* 17: 1607-1618.
- Hars, J., Vaniscotte, A., Game, Y., Toïgo, C., Depecker, A. & Garin-Bastuji, B. 2015. Surveillance et gestion d'un foyer de brucellose chez le bouquetin dans le massif du Bargy (Haute-Savoie). *Faune sauvage* n° 306 : 11-20.
- Loison, A., Jullien, J.-M. & Menaut, P. 1999. Subpopulation structure and dispersal in two populations of chamois. *Journal of Mammalogy* 80: 620-632.
- Martins, A.G., Netto, N.T., Aulagnier, S., Borges, A., Dubois, M., Vicente, L., Gerard, J.-F. & Maublanc, M.-L. 2002. Population subdivision among mouflon sheep (*Ovis gmelini*) ewes and ranging behaviour of rams during the rut. *Journal of Zoology* 258: 27-37.
- Petit, E., Aulagnier, S., Bon, R., Dubois, M. & Crouau-Roy, B. 1997. Genetic structure of populations of the Mediterranean mouflon (*Ovis gmelini*). *Journal of Mammalogy* 78: 459-467.