

Evolution du foyer de brucellose chez le bouquetin des Alpes dans le massif du Bargy, Haute Savoie, entre 2012 et 2020

Sophie Rossi¹, Elodie Petit², Pascal Marchand³, Carole Toïgo⁴, Clément Calenge⁵, Ariane Payne⁶, Jean-Yves Chollet⁷, Stéphane Anselme-Martin⁸, Benoît Guyonnaud⁸, Antoine Greiller⁹, Anne Thébault⁹, Claire Ponsart¹⁰, Sébastien Lambert¹¹, Gaël Reynaud¹², Yvette Game¹², Jean-Jacques Pasquier¹³, Aline Depecker¹⁴, Chantal Baudin¹⁴, Bruno Garin-Bastuji¹⁵, Jean Hars¹⁶, Emmanuelle Gilot-Fromont²

Auteur correspondant : ariane.payne@ofb.gouv.fr

¹ Office Français de la Biodiversité, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Unité Sanitaire de la Faune, Gap, France

² Université de Lyon, VetAgro Sup, CNRS, Laboratoire de Biométrie et Biologie Évolutive UMR 5558, Villeurbanne, France

³ Office Français de la Biodiversité, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Unité Ongulés Sauvages, Juvignac, France

⁴ Office Français de la Biodiversité, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Unité Ongulés Sauvages, Gières, France

⁵ Office Français de la Biodiversité, Direction Surveillance, évaluation, données, Unité Données et Appui Méthodologique, Auffargis, France

⁶ Office Français de la Biodiversité, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Unité Sanitaire de la Faune, Orléans, France

⁷ Office Français de la Biodiversité, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Unité Sanitaire de la Faune, Auffargis, France

⁸ Office Français de la Biodiversité, Service départemental de Haute-Savoie, Sévrier, France.

⁹ Anses, Direction de l'Évaluation des Risques, Maisons-Alfort, France

¹⁰ Anses/Université Paris-Est, Laboratoire de Santé Animale, Laboratoire de référence national, européen, OIE et FAO pour les brucelloses animales, Maisons-Alfort, France

¹¹ École nationale vétérinaire de Toulouse, UMR 1225 IHAP, Toulouse, France

¹² Laboratoire Départemental d'Analyses Vétérinaires de Savoie, Chambéry, France

¹³ Fédération départementale des chasseurs de Haute Savoie, Villy-le-Pelloux, France

¹⁴ Direction Départementale de la Protection des Populations de Haute-Savoie, Seynod, France

¹⁵ Anses, Direction de la Stratégie et des Programmes, Maisons-Alfort, France

¹⁶ Office Français de la Biodiversité, Direction de la Recherche et de l'Appui Scientifique, Unité Sanitaire de la Faune, Gières, France –Retraité

Les auteurs souhaitent dédier ce travail à la mémoire du Dr Sophie Rossi, leur collègue et amie chère, qui est décédée durant la préparation de ce manuscrit. Elle a consacré sa carrière à l'étude des maladies des animaux sauvages et à l'amélioration de leur santé, et son travail passionné demeurera une inspiration pour nous tous.

Résumé

Un foyer de brucellose à *Brucella melitensis* biovar 3 a été détecté en 2012 dans le massif du Bargy (Haute-Savoie) et concerne principalement la population de bouquetins des Alpes (*Capra ibex*), une espèce protégée. Depuis 2012, cette situation inédite a fait l'objet de mesures de surveillance et de lutte ainsi que de travaux de recherche basés sur des suivis démographiques et épidémiologiques de la population. Ces travaux ont montré que la dynamique de transmission est hétérogène, spatialement et entre classes démographiques : l'infection se concentre dans la zone cœur du massif et les femelles jouent un rôle prépondérant dans la transmission. Les résultats suggèrent en outre que la voie d'infection majoritaire est liée aux avortements et aux mises-bas brucelliques, la voie vénérienne jouant un rôle moindre. De 2012 à 2020, la séroprévalence de la brucellose chez les femelles en zone cœur a baissé de 50 % à moins de 15 %, et la force d'infection (taux auquel les individus sensibles s'infectent) a diminué. Une réduction de la taille de la population de bouquetins, liée notamment aux mesures de lutte, a été observée entre 2012 et 2016, avant une stabilisation autour de 370 individus. L'amélioration de la situation épidémiologique et l'accumulation des connaissances sur le fonctionnement de l'épidémie permettent d'envisager une stratégie de gestion adaptative pour gérer l'infection chez les bouquetins mais aussi pour les autres espèces sauvages et domestiques concernées ainsi que pour l'Homme.

Mots-clés brucellose, *Brucella melitensis*, Bouquetin des Alpes (*Capra ibex*), Chamois (*Rupicapra rupicapra*), gestion sanitaire adaptative

Abstract

Title: Evolution of the brucellosis outbreak in Bargy massif, Haute Savoie, France between 2012 and 2020.

A brucellosis outbreak, caused by *Brucella melitensis* biovar 3 was detected in 2012 in the Bargy massif (Haute-Savoie) involving mainly a protected species, the Alpine ibex (*Capra ibex*). Since 2012, surveillance and control measures, as well as research studies, based on demographic and epidemiological surveys have been implemented to manage this unprecedented situation. These studies showed that the transmission dynamic was heterogeneous, spatially and among demographic classes. Infection is concentrated within the core of the massif and females play a major role in its transmission. The results suggest that the main infection route is related to abortions and farrowing events whereas the venereal route is less important. From 2012 to 2020, the brucellosis seroprevalence in females in the core of the massif has dropped from 50% to less than 15%, and the force of infection (*i.e.* infection rate for susceptible individuals) has decreased. A reduction in the size of the ibex population, linked in particular to control measures, was observed between 2012 and 2016, before stabilising at around 370 individuals. The improvement of the epidemiological situation and the knowledge gathered about the functioning of the epidemic allow to consider an adaptive management strategy to manage the infection in ibex but also in other wild and domestic species as well as in humans.

Keywords

brucellosis, *Brucella melitensis*, Alpine ibex (*Capra ibex*), Chamois (*Rupicapra rupicapra*), adaptive management

Cet article est une synthèse des articles scientifiques, rapports et thèses produits entre 2012 et 2020 mettant en exergue l'évolution des connaissances, des mesures de gestion et de la situation épidémiologique. Tous ces documents sont cités dans le texte ci-dessous.

La découverte de la présence de brucellose dans le massif du Bargy (Haute-Savoie) en 2012, d'abord sous forme de deux cas humains puis dans un troupeau bovin, a constitué une situation inédite à plusieurs égards. L'origine du foyer bovin étant initialement inexplicée, des investigations menées dans les populations d'ongulés sauvages ont permis de découvrir que les bouquetins (*Capra ibex*) du massif du Bargy étaient largement infectés par une souche indifférenciable des souches découvertes dans les cas humains et bovins (Garin-Bastuji *et al.*, 2013, Mick *et al.*, 2014). La séroprévalence apparente dans la population de bouquetins atteignait 38 % en 2013 (Hars *et al.*, 2013 ; Hars *et al.*, 2015). Or, le dernier cas de brucellose recensé

localement avait été détecté en 1999 chez des ruminants domestiques et la France était considérée officiellement indemne de brucellose depuis 2005, sans foyer identifié depuis 2003. La population de bouquetins, issue d'animaux réintroduits dans les années 1970, a donc très probablement été infectée à la fin des années 1990 ou avant, et a constitué, depuis, un réservoir local de cette infection, resté longtemps inaperçu, alors qu'aucune population de cette espèce, ni aucune espèce de capriné sauvage n'avait joué ce rôle jusque-là (Anses 2015).

Suivi des populations sauvages depuis 2012

Depuis cette découverte, la brucellose à *B. melitensis*, classée comme danger sanitaire de première catégorie en France¹, fait, dans le massif du Bargy, l'objet de mesures de surveillance et de lutte coordonnées par le Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et plus particulièrement la Direction Générale de l'Alimentation (DGAL). Dès 2012, l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS, devenu l'Office Français de la Biodiversité - OFB en 2020) a été chargé de la mise en œuvre d'un programme de surveillance épidémiologique et démographique des populations d'ongulés sauvages sur le massif du Bargy et les massifs adjacents. Ce programme incluait des prélèvements sur les chamois (*Rupicapra rupicapra*) et cervidés tirés à la chasse, coordonnés par la Fédération Départementale des Chasseurs de la Haute-Savoie, des opérations de surveillance clinique des groupes de bouquetins et de chamois (abandonnées ensuite en l'absence de signes cliniques observables à distance), et des captures de bouquetins pour des analyses sérologiques et bactériologiques. Ce suivi de terrain a aussi permis des travaux de recherche menés par l'OFB, l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation de l'environnement et du travail (Anses) et VetAgro Sup dans le but de mieux décrire les dynamiques populationnelle et épidémiologique, d'identifier les mécanismes expliquant la circulation de l'infection dans cette population, et d'étudier les scénarios de gestion envisageables. Enfin, l'Anses, sollicitée à de nombreuses reprises, a rendu plusieurs avis et rapports sur ce sujet, notamment en 2015, 2017 et 2019.

Depuis 2012, la population de bouquetins fait l'objet d'un dénombrement annuel par des observations visuelles sur des itinéraires pédestres définis, parcourus au moins quatre fois en été. Chaque année, des captures par téléanesthésie sont réalisées, permettant de recueillir à la fois des informations démographiques (par le marquage et des mesures biométriques sur les animaux), sur la structure socio-spatiale de la population et le comportement spatial des individus (à l'aide de colliers GPS), ainsi que des informations épidémiologiques sur la brucellose (Figure 1).



Figure 1. Prélèvement sanguin sur un bouquetin mâle du massif du Bargy anesthésié par fusil hypodermique lors d'une opération de capture réalisée par le SD74 de l'OFB © Élodie Petit

Les tests diagnostiques effectués à l'aide des prélèvements de sang permettent de connaître le statut sérologique de chaque bouquetin capturé vis-à-vis de la brucellose. Jusqu'en 2014, les tests étaient réalisés au laboratoire uniquement. Depuis 2015, ils sont effectués sur le terrain auprès de l'animal capturé, à l'aide d'un test rapide validé en 2014 par l'Anses (Anses, 2014), et vérifiés ensuite au laboratoire. Les animaux dont le résultat du test est négatif sont marqués, mesurés et relâchés. Lorsque le résultat est positif, l'animal est, depuis lors, euthanasié sur place avant son réveil (il était abattu par tir jusqu'en 2015 avant la disponibilité du test rapide). Entre 2012 et 2020, un total de 456 captures et recaptures ont été réalisées, le nombre d'animaux capturés ayant varié annuellement entre

¹ Le Règlement d'exécution (UE) 2018/1882 de la commission du 3 décembre 2018 sur l'application de certaines dispositions en matière de prévention et de lutte contre les maladies à des catégories de maladies répertoriées et établissant une liste des espèces et des

groupes d'espèces qui présentent un risque considérable du point de vue de la propagation de ces maladies répertoriées définit une nouvelle catégorisation depuis le 21/04/2021.

21 en 2020 et 125 en 2015. Parmi ces 456 animaux capturés, 121 bouquetins montrant des résultats positifs au test sérologique ont été euthanasiés. En parallèle des captures, 337 bouquetins ont été abattus par des tirs, sans connaissance préalable de leur statut sérologique, soit en raison de la présence de signes cliniques (4 animaux en 2013), soit dans le cadre d'opérations visant à diminuer le nombre d'animaux infectés dans la population. Ces opérations ont été surtout importantes au début de la période : de 2013 à 2015, 321 animaux ont été abattus sur trois ans. En 2013, les tirs ont ciblé les animaux de cinq ans et plus, car parmi les animaux capturés au printemps, la proportion d'animaux séropositifs avait alors été trouvée beaucoup plus forte chez les vieux individus que chez les jeunes (Hars *et al.*, 2013), laissant penser à l'époque que la voie de contamination principale était vénérienne. Depuis, ces opérations ont été plus restreintes géographiquement et ciblent désormais la zone cœur du massif (Figure 2) : entre 2017 et 2019, douze animaux ont ainsi été abattus, et aucun tir n'a été effectué en 2016 ni en 2020. Les animaux euthanasiés et les animaux abattus par tir depuis 2016 ont fait l'objet d'autopsies et de recherches bactériologiques, afin de mieux comprendre la transmission de la bactérie.

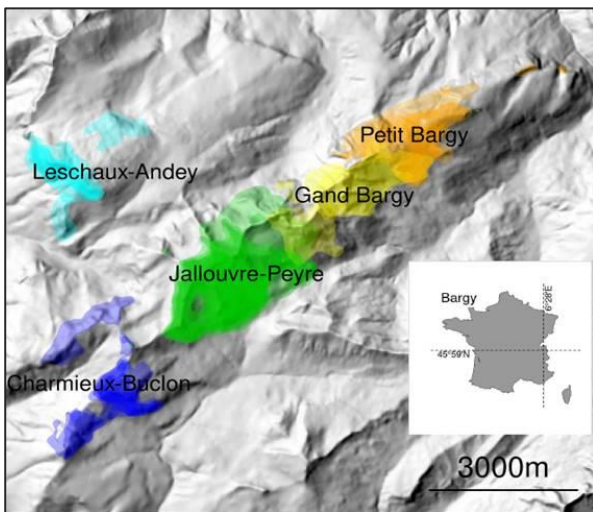


Figure 2. Sous-unités socio-spatiales des femelles de bouquetin dans le massif du Bargy, définies par les suivis par collier GPS (Marchand *et al.*, 2018). Leschaux-Andey (LA) et Charmieux-Buclon (CB) = zone périphérique ; Grand Bargy (GB), Petit Bargy (PB) et Jallouvre-Peyre (JP) = zone cœur.

Dans le but de détecter l'éventuelle dissémination de l'infection à d'autres massifs à proximité, des captures ont également été conduites en 2013 sur les bouquetins des massifs adjacents des Aravis (un résultat douteux pour 60 captures) et de Sous-Dine (30 captures d'animaux tous négatifs).

Enfin, les populations d'espèces chassées (chamois, cerf élaphe [*Cervus elaphus*] et chevreuil [*Capreolus*])

sur l'ensemble du massif du Bargy ont fait l'objet d'un suivi sérologique des animaux abattus à la chasse : de 2012 à 2020, 571 chamois, 145 chevreuils et 124 cerfs ont été testés pour la brucellose par l'envoi d'échantillons pour analyses en laboratoire. Aucun test n'a donné de résultat positif pour les chevreuils et les cerfs, tandis que les tests étaient positifs pour trois chamois du secteur du Petit Bargy (Figure 2) en 2012, 2013 et 2019. La surveillance clinique, exercée sur toutes les espèces sensibles dans le cadre du réseau SAGIR, a aussi permis de détecter un chamois en juillet 2020 dans le même secteur (encadré).

De nouvelles connaissances écologiques et épidémiologiques pour mieux comprendre les patrons de transmission

Structure socio-spatiale de la population de bouquetins

Les données issues du suivi de bouquetins équipés de colliers GPS et des observations visuelles ont permis de montrer que les bouquetins du Bargy présentent un comportement spatial différencié en fonction du sexe. Ainsi, les femelles sont organisées spatialement en cinq sous-unités (Figure 2, Marchand *et al.*, 2017). Elles se déplacent peu entre ces sous-unités, contrairement aux mâles qui se déplacent largement, notamment à la période du rut (novembre-décembre).

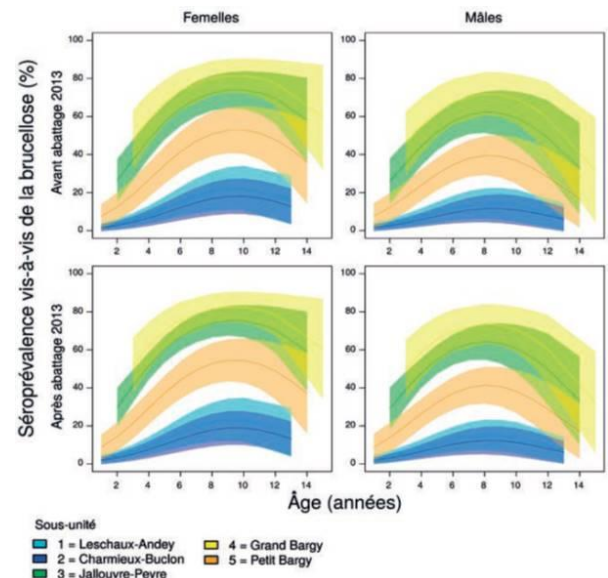


Figure 3. Séroprévalence estimée en fonction de l'âge chez les mâles et les femelles, en 2012-2013 (= avant abattage 2013) et en 2014-2015 (= après abattage 2013 ; Marchand *et al.* 2018)

Or, le niveau de séroprévalence est très différent en fonction de l'âge des bouquetins, mais aussi en fonction des secteurs occupés par chaque sous-unité, avec une zone cœur (Jallouvre-Peyre, Grand Bargy et Petit Bargy) présentant une séroprévalence nettement plus élevée que la zone périphérique (Charmieux-Buclon et Leschaux-Andey ; Figure 3, Marchand *et al.* 2017, 2018). Cette structure selon l'âge et le secteur n'a pas été modifiée à la suite des abattages de 233 individus en 2013 (Figure 3). Depuis 2016, les stratégies mises en œuvre sont donc différenciées en fonction de ces secteurs, avec un effort particulier mené sur la zone cœur.

Dynamique de la population de bouquetins

Le suivi de l'effectif de la population de bouquetins est essentiel pour comprendre la transmission de l'infection, qui en dépend fortement (Lambert *et al.*, 2020), mais aussi pour estimer l'impact de la brucellose et pour prévoir l'évolution future de cette dynamique en lien avec les mesures de gestion. L'effectif populationnel est estimé chaque année en été par la méthode « Mark-Resight » (McClintock & White 2012). Cette estimation est réalisée à partir des données collectées lors des itinéraires pédestres et tient compte de la probabilité de détection des individus marqués lors de ces itinéraires. Cet effectif estimé ne concerne donc que la population d'individus âgés d'un an et plus, les cabris n'étant pas marqués et les itinéraires pédestres se déroulant en partie pendant la période des mises bas.

Les estimations actuelles mettent en évidence une réduction de plus de la moitié de l'effectif entre 2013 et 2016, passant d'une taille estimée d'environ 570 en 2013 à 270 en 2016. Cette diminution est essentiellement liée aux abattages de 2013 et 2015 ainsi qu'à l'euthanasie d'un grand nombre d'animaux positifs entre 2012 et 2015. De 2016 à 2018, le nombre de bouquetins dans le massif du Bargy semble avoir légèrement ré-augmenté pour se stabiliser autour de 370 individus (estimation de 374 individus (IC 95 % : [326-435]) en 2018, 388 individus (IC 95 % : [352-430]) en 2019 et 373 bouquetins (IC 95 % : [340-412]) à la fin de l'été 2020) (Figure 4). Les résultats fournis ici sont toutefois à prendre avec précaution car la probabilité de détection des individus marqués a varié au cours du temps, ce qui a un impact direct sur l'estimation de l'effectif.

Le patron de reproduction des femelles est un élément clé pour comprendre l'effet de la brucellose sur la dynamique de population, connaître les paramètres démographiques influençant la dynamique de transmission et déterminer dans quelle phase démographique se trouve la population (densité-dépendance,

colonisation, reprise démographique...). Les indices de reproduction enregistrés ces dernières années sont tous caractéristiques d'une population en densité-dépendance (voir, par exemple, Toïgo *et al.* 2002 sur le bouquetin) : un âge de primiparité à trois ou quatre ans, 85% et 73% des femelles de cinq à douze ans séronégatives respectivement en activité ovarienne et gestantes, et un succès de reproduction de l'ordre de 60 % de femelles suitées depuis 2017 (Rossi *et al.*, 2019 ; Toïgo, com. pers.). En outre, le ratio cabris/femelles déterminé lors des itinéraires pédestres estivaux (qui inclut le succès de reproduction des femelles séropositives) est également bas ($\leq 0,50$).

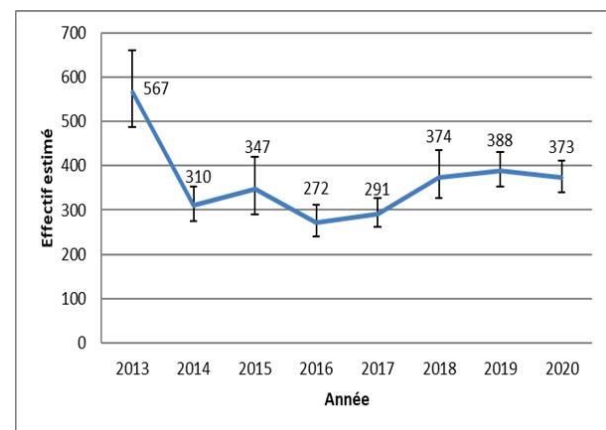


Figure 4. Evolution de l'estimation de l'effectif (et intervalle de confiance à 95 %) de la population de bouquetins du massif du Bargy (individus ≥ 1 an). L'effectif est estimé à partir de données issues d'itinéraires pédestres grâce à l'approche « mark-resight »

Par ailleurs, les dosages sanguins en progestérone et protéines associées à la gestation (PAGs) montrent que la brucellose a un effet négatif sur l'activité ovarienne et sur la probabilité de gestation des femelles adultes. En effet, chez les femelles de plus de cinq ans, les séropositives sont moins souvent actives sexuellement (65 % soit 24/37) et moins souvent gestantes (40 % soit 15/37) que les séronégatives (respectivement 85 % soit 44/52 et 73 % soit 38/52). Chez les jeunes femelles de deux à quatre ans, aucun effet n'a été détecté (56 séronégatives et 15 séropositives étudiées). La diminution de séroprévalence mise en évidence récemment ainsi que la diminution de la densité de population devraient se traduire par une amélioration des performances de reproduction. Or, les indices énoncés ci-dessus restent faibles et stables en 2020.

Ainsi, aucun indicateur lié à l'évolution de l'estimation de la taille de la population ou au patron de reproduction ne permet de mettre en évidence une reprise démographique de la population jusqu'en 2020. Il est à noter que les

processus de reprise démographique suite à une diminution de densité sont étroitement liés aux effets cohortes et dépendent du temps de génération de l'espèce (8 ans chez le bouquetin en moyenne ; Toïgo, données non publiées).

Capacité d'excrétion des individus infectés par la brucellose

L'étude bactériologique de 88 bouquetins séropositifs euthanasiés a permis de mieux comprendre l'impact clinique et la capacité d'excrétion des animaux (Lambert *et al.* 2018). La majorité des animaux étudiés (51 bouquetins soit 58 % des animaux euthanasiés) présentaient au moins un organe pour lequel une culture bactérienne positive était observée. Chez la moitié d'entre eux environ (26 animaux), la bactérie a été

isolée à partir des organes génitaux, suggérant que ces animaux étaient à risque de l'excréter au moment de leur capture. Les organes atteints suggèrent que la transmission est possible par les quatre voies connues chez les espèces domestiques : voie vénérienne, transmission faisant suite à un avortement ou à une mise bas d'une femelle brucellique, voie verticale (transmission congénitale au fœtus) et voie pseudoverticale d'une femelle brucellique à son cabri via le lait maternel. Les jeunes femelles (< 5 ans) en particulier avaient un risque élevé de présenter une culture bactérienne positive, ce qui suggère qu'elles possèdent un potentiel d'excrétion accru. Cette étude laisse à penser que les femelles avortant au cours de leur première gestation pourraient contribuer de façon majeure au maintien local de

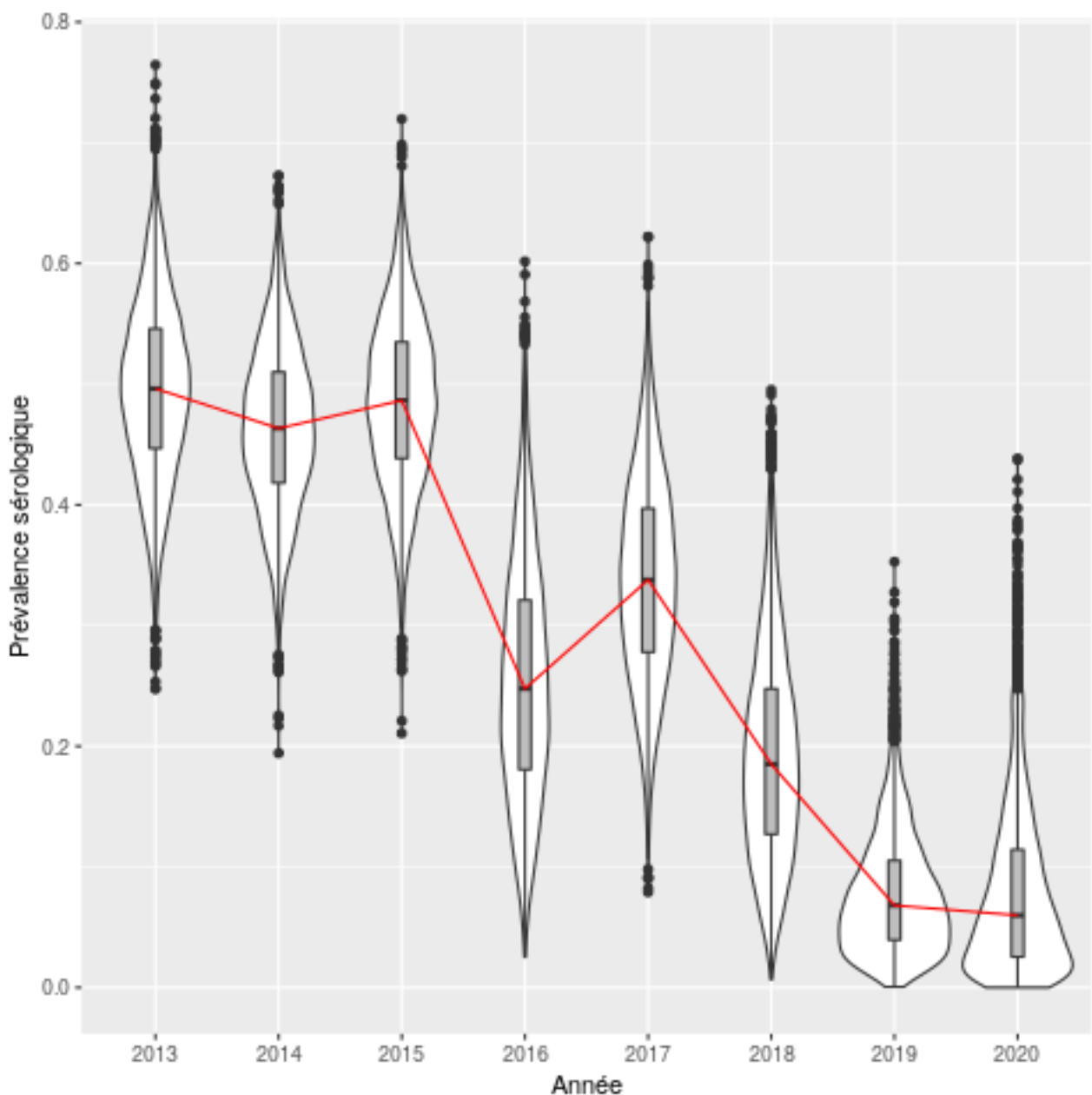


Figure 5. Prévalence sérologique corrigée pour la proportion d'animaux marqués des femelles en zone cœur entre 2013 et 2018 (mise à jour de Calenge *et al.*, 2021).

l'infection dans chaque sous-unité composant cette population, les mâles contribuant plutôt à son expansion spatiale lors de leurs déplacements entre sous-unités/secteurs (Marchand *et al.*, 2017 ; Lambert *et al.*, 2018).

Patrons de transmission

Un travail de modélisation de l'évolution démographique et épidémiologique de la population a également permis de mieux comprendre la dynamique de transmission, sur la base des données collectées entre 2012 et 2018. Il montre que la transmission est un phénomène très hétérogène : environ 20 % des individus infectés sont à l'origine de toutes les nouvelles infections. De plus, 95 % des transmissions ont lieu à l'intérieur des secteurs géographiques, contre 5 % entre secteurs. En particulier, le modèle confirme que les secteurs de la zone cœur, à savoir Jallouvre-Peyre, Grand Bargy et Petit Bargy (Figure 2), sont ceux dans lesquels se produit la majorité (environ 85 %) des infections. Les secteurs de Jallouvre-Peyre et Grand Bargy sont aussi ceux qui sont à l'origine du plus grand nombre de nouveaux cas transmis vers les autres secteurs. Pour les transmissions intra-secteurs, la transmission liée aux avortements et aux mises-bas brucelliques est prédominante (58 % des cas), suivie de la transmission verticale et de la transmission vénérienne. Au contraire, pour les transmissions entre secteurs, c'est la voie vénérienne qui est majoritaire (75 % des nouveaux cas). Les femelles constituent la source de la majorité des nouvelles infections, en étant à l'origine d'environ 90 % des nouvelles infections intra-secteurs mais aussi de 60 % des transmissions entre secteurs. Les mâles, plus mobiles notamment au moment du rut, jouent surtout un rôle dans la transmission de la brucellose par voie vénérienne entre les secteurs (Marchand *et al.*, 2017 ; Lambert *et al.*, 2020). Enfin, les transmissions intra-secteurs concernent des animaux sensibles jeunes, tandis que les transmissions entre secteurs concernent des animaux sensibles plus âgés. L'identification des classes démographiques et spatiales à risque permet de proposer des mesures de gestions adaptées, en renforçant les mesures vers les secteurs ou les individus qui sont responsables de la majorité des nouvelles infections.

Evolution de la situation épidémiologique chez le bouquetin

Evolution de la prévalence

La séroprévalence représente un outil de suivi courant en épidémiologie. Cependant, ici,

l'estimation de la séroprévalence réelle dans la population doit tenir compte du fait que les captures d'animaux qui servent à cette estimation sont préférentiellement orientées vers les animaux non-marqués. En effet, les animaux marqués dans la population correspondent à des animaux ayant été capturés et testés récemment, puis ayant été relâchés car séronégatifs (les animaux séropositifs étant euthanasiés). Les captures se concentrent alors sur les animaux non encore marqués, dont le statut sérologique n'a encore jamais été contrôlé et qui ont plus de risque d'être séropositifs. Les animaux déjà capturés ont en effet une probabilité minimale de séroconvertir à la suite de leur première capture (Lambert 2019). Or la proportion d'animaux marqués dans la population augmente chaque année (atteignant près de la moitié de la population en 2020). La proportion d'animaux séropositifs parmi les animaux capturés – donc essentiellement non-marqués – sera donc plus importante que celle de la population. (Rossi *et al.*, 2019 ; Calenge *et al.*, 2021). Après correction, une diminution significative de la séroprévalence est observée entre les périodes 2013-2015 et 2016-2018 (Lambert 2019 ; Rossi *et al.*, 2019 ; Calenge *et al.*, 2021). La séroprévalence chez les femelles en zone cœur, groupe le plus important épidémiologiquement, est ainsi passée d'environ 50 % à moins de 15 % (Figure 5), tandis que la séroprévalence en zone périphérique est passée d'environ 10 % à moins de 5 %.

Au cours des années 2019-2020, les quatre individus séropositifs (sur 71 testés), parmi lesquels une jeune femelle de trois ans, présentaient des titres sérologiques élevés témoignant d'une infection probablement récente et du maintien d'une circulation active de la bactérie en zone cœur. La découverte de deux chamois séropositifs sur le secteur Petit Bargy au cours de cette même période est un indicateur supplémentaire qui suggère la persistance d'une infection active sur ce secteur où les captures de bouquetins sont difficiles et les contacts bouquetins – chamois fréquents (Petit *et al.*, 2018).

Evolution de la force d'infection

La force d'infection, ou taux auquel les individus sensibles s'infectent, est un paramètre épidémiologique clé. Elle a été estimée chez les femelles à la fois à partir du suivi des animaux marqués et recapturés de 2012 à 2018, et à partir des informations sur l'âge des animaux capturés. L'analyse confirme que la force d'infection diffère suivant les secteurs et qu'elle a diminué à partir de début 2015. Ainsi, une diminution d'un facteur 10 a été observée alors que la prévalence diminuait d'un facteur 2 dans le même temps (Lambert 2019,

Lambert *et al.* soumis). Cette diminution est survenue après plusieurs années de mesures de gestion importantes, comprenant à la fois des captures et des tirs. Elle est probablement liée à l'effet de ces mesures, sans qu'il soit possible de définir laquelle a eu le plus d'effet.

Stratégie de surveillance et de lutte

Objectifs

Les objectifs généraux des mesures concernant la brucellose dans le département de Haute-Savoie sont de protéger la santé humaine en réduisant le risque de contamination, de conserver le statut officiellement indemne de la France en évitant une contamination des ruminants domestiques à partir du réservoir bouquetin et de ne pas remettre en cause le bon état de conservation de la population de bouquetins des Alpes du massif du Bargy.

L'objectif proposé par l'Anses (2019) est de placer la population de bouquetins dans une situation dans laquelle la probabilité d'extinction spontanée de l'infection soit maximale, et, pour cela, de diminuer autant que possible le nombre d'animaux atteints et excréteurs dans la population, par la réduction de la prévalence et/ou du nombre d'animaux infectés. Atteindre cet objectif permettrait aussi de diminuer la probabilité de contact direct et indirect des animaux domestiques et sauvages avec un bouquetin infecté (Anses, 2019). Pour remplir ces objectifs, plusieurs outils sont envisageables.

La vaccination

La vaccination des bouquetins a été envisagée comme une mesure complémentaire aux captures et aux tirs. Le seul vaccin actuellement disponible, utilisant la souche vivante atténuée Rev.1 par voie conjonctivale, a fait l'objet d'un essai d'innocuité (Ponsart *et al.*, 2019). Le vaccin a été administré à des bouquetins et à des chèvres (9 à 10 vaccinés et 2 à 3 témoins pour chaque espèce). L'essai a montré que le bouquetin est plus sensible que la chèvre à la souche Rev.1, qui se multiplie davantage chez le premier, et pourrait persister longtemps mais surtout être excrétée par les bouquetins vaccinés, entraînant une possible séroconversion des individus contacts. Compte tenu de ces résultats, mais aussi des nombreuses incertitudes quant à l'efficacité de la vaccination, de la faible couverture vaccinale attendue eu égard aux difficultés d'accès de l'espèce (seuls 10 à 20 % des animaux pourraient être vaccinés annuellement), de l'impact négatif de la vaccination sur la surveillance (interférence avec les tests de dépistage), et sans préjuger des aspects

réglementaires relatifs à cette vaccination, celle-ci n'a pas été recommandée (Anses 2019).

Mesures sanitaires de surveillance et de lutte dans la population de bouquetins

Les mesures sanitaires, comprenant les captures avec test sérologique et euthanasie des animaux séropositifs, et les tirs d'animaux non capturés, restent donc les seuls outils disponibles. Les scénarios de gestion modélisés (Lambert *et al.* 2021) indiquent que la probabilité d'atteindre l'extinction de l'infection est maximale lorsque les captures sont combinées avec des tirs dans la zone cœur, en particulier lorsque ces tirs ciblent des femelles jeunes.

Ces outils sont cependant limités en matière de faisabilité, d'impact sur la dynamique de la population et d'acceptabilité par le grand public. Le succès de capture (nombre de captures par journée de personnel de terrain) diminue d'année en année, et varie selon les secteurs, plus ou moins escarpés, et les distances de fuite des animaux. Il est particulièrement faible dans la zone du Grand et du Petit Bargy, limitant les possibilités d'obtenir des informations dans ces secteurs. Les tirs sont également limités en matière de faisabilité et, selon le nombre de tirs, peuvent faire diminuer l'effectif de la population. Ils sont aussi moins bien acceptés par le public que les captures.

Compte-tenu de l'importance de la reproduction dans la transmission de la brucellose, la surveillance épidémiologique doit être accompagnée d'un suivi populationnel pour connaître l'évolution des effectifs et des indices de reproduction, afin d'objectiver une éventuelle reprise démographique qui aurait un impact conséquent sur la dynamique de l'infection.

Surveillance dans les autres populations d'ongulés sauvages

Parmi les autres espèces sensibles présentes dans le massif, le chamois est l'espèce la plus exposée et la seule trouvée infectée à plusieurs reprises sur la période (Encadré). La récente découverte de chamois atteints dans le massif du Bargy et les observations d'interactions interspécifiques entre chamois et bouquetins (Petit *et al.*, 2018) attestent d'une probabilité non négligeable de transmission de l'infection entre les deux espèces. La surveillance est donc essentielle pour cette espèce.

Les cervidés (cerfs et chevreuils) ont fait l'objet d'une surveillance de 2012 à 2018, mais compte-tenu de l'absence de cas découverts, des connaissances sur ces espèces et de leur répartition spatiale, ils ne semblent pas être de bonnes

sentinelles de l'infection brucellique. La surveillance n'a donc pas été maintenue sur ces espèces.

Surveillance et biosécurité dans les troupeaux domestiques

Les troupeaux domestiques présents dans le massif (bovins, ovins et caprins) font l'objet d'une surveillance renforcée par rapport au reste du territoire national, coordonnée par la Direction Départementale de la Protection des Populations (DDPP) de Haute-Savoie. Cette surveillance inclut une vigilance accrue sur les avortements qui doivent être déclarés auprès d'un vétérinaire, des dépistages mensuels sur lait de mélange des cheptels bovins laitiers, un double dépistage individuel réalisé sur une fraction du troupeau pour les cheptels bovins allaitants et les cheptels de petits ruminants avant la montée en estive et après le retour d'estive, et le dépistage de la brucellose pour les bovins de plus de 24 mois vendus pour l'élevage.

Des mesures de biosécurité permettant de limiter les contacts entre la faune sauvage (en particulier les bouquetins) et les animaux domestiques ont été mises en œuvre depuis 2012, notamment en retirant le sel et les compléments alimentaires sur les alpages et en adaptant la conduite des troupeaux.

Conclusion et perspectives

La stratégie de maîtrise de la brucellose dans le massif du Bargy a évolué au fil des nouvelles connaissances : depuis 2016, la gestion est essentiellement basée sur les captures avec euthanasie des animaux séropositifs et se focalise sur la zone cœur qui est la plus atteinte. Les incertitudes restent nombreuses, au plan des connaissances mais aussi de la situation elle-même : par exemple, une reprise démographique influencerait fortement la dynamique épidémique future, en augmentant le nombre de nouvelles infections. Dans ce cadre, le principe d'une gestion adaptative serait approprié (Anses, 2019). Cette méthode itérative consiste à élaborer, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes, des objectifs et des scénarios de gestion. Leur mise en œuvre fait alors l'objet d'un suivi et d'une évaluation, qui permettent à la fois d'améliorer les connaissances et de réviser régulièrement les options de gestion au regard des objectifs et de l'évolution de la situation. Ce principe de gestion est donc approprié aux situations complexes, évolutives et incertaines.

Le bouquetin étant une espèce protégée et la brucellose une maladie zoonotique réglementée, les plans de gestion doivent prendre en compte à la fois les enjeux sanitaires pour l'élevage et la santé

publique et des enjeux de protection de l'espèce. Cette situation inédite, du fait du nombre d'interlocuteurs, demande une organisation nouvelle, mais qui servira possiblement de modèle à d'autres situations.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient toutes les personnes ayant participé au travail considérable sur le terrain, en particulier les agents de l'OFB, y compris les stagiaires, les personnels du Conservatoire d'Espaces Naturels de Haute-Savoie (Asters), les vétérinaires praticiens ; les personnes ayant contribué à la surveillance, en particulier les éleveurs, les chasseurs coordonnés par la Fédération Départementale des Chasseurs de Haute-Savoie ; les personnels des laboratoires (LIDAL de Haute-Savoie, Laboratoire Départemental d'Analyses de Savoie et Laboratoire National de Référence de l'Anses de Maisons-Alfort) ; les participants aux groupes de travail de l'Anses, en particulier Dominique Gauthier du LDAH des Hautes-Alpes ; les agents de la DDT et de la DDPP de Haute-Savoie ; les ministères en charge de l'écologie, de l'agriculture, de l'enseignement supérieur et de la recherche et l'Anses qui ont cofinancé les études citées.

Encadré. La brucellose chez le chamois

En France, deux foyers de brucellose à *B. melitensis* biovar 3 ont été décrits chez le chamois dans les Alpes entre 1982 et 1993 puis entre 1995 et 2001. Ces chamois infectés présentaient un tableau clinique et lésionnel sévère (Garin-Bastuji *et al.*, 1990 ; Gauthier, 2005 ;). Les enquêtes épidémiologiques et le génotypage des souches ont conduit à poser l'hypothèse d'une source de contamination des chamois par la faune domestique (Gauthier, 2005 ; Mick *et al.*, 2014).

A la suite de la découverte du foyer de brucellose chez le bouquetin dans le massif du Bargy en 2012 (Figure 6), une surveillance active des chamois chassés sur le secteur (Bargy et massifs adjacents) a permis d'analyser 571 chamois entre 2012 et 2019. Trois ont été trouvés positifs à la brucellose (une femelle de 7 ans en 2012, une femelle de 6 ans en 2013 et un mâle de 5 ans en 2019). Sur la période 2018-2019, la séroprévalence apparente des chamois dans la zone cœur du massif du Bargy était alors de l'ordre de 4,3 % (un positif pour 23 chamois testés). En 2020, un chamois mâle de trois ans brucellique a été détecté par le réseau SAGIR sur ce même secteur. Parmi ces quatre chamois positifs, trois présentaient des signes cliniques de type orchite ou arthrite. Tous ces cas étaient localisés en zone cœur d'infection du foyer des bouquetins. Cette donnée, associée à l'âge des chamois trouvés

infectés en 2019 et 2020, suggèrent une contamination de ces chamois à partir des bouquetins, en particulier dans un secteur où les interactions entre ces deux espèces sont plus fréquentes que sur d'autres secteurs (Petit *et al.*, 2018 ; Rossi *et al.*, 2019). Ces cas récents révèlent en outre une circulation encore active de l'infection chez les bouquetins.

Le chamois est une espèce très sensible à la brucellose. L'état des connaissances actuelles laisse à penser que la transmission intraspécifique est peu fréquente, et que, sans source extérieure de contamination, l'extinction spontanée survient au bout de quelques années chez cette espèce (Godfroid *et al.*, 2013). Le chamois ne semble donc pas jouer de rôle majeur dans la circulation de la brucellose mais représente en revanche une bonne sentinelle. Il est donc important de maintenir une surveillance chez cette espèce dans les massifs du Bargy et alentours.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Anses 2014. Note d'appui scientifique et technique de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail relatif au « dépistage des bouquetins infectés de brucellose sur le terrain ». <https://www.anses.fr/fr/system/files/LABO2014sa0241.pdf>.

Anses 2015. « Mesures de maîtrise de la brucellose chez les bouquetins du Bargy ». Rapport d'expertise collective relatif à la saisine 2014-SA-0218. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2014sa0218Ra.pdf>

Anses 2017. Avis de l'ANSES relatif à « l'évaluation approfondie et réactualisée de mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy ». <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2016SA0229.pdf>

Anses 2019. Avis et rapport de l'Anses relatif à la pertinence de la vaccination des bouquetins du Bargy contre la brucellose. <https://www.anses.fr/fr/system/files/SABA2018SA0017Ra.pdf>

Calenge, C., Lambert, S., Petit, E., Thébault, A., Gilot-Fromont, E., Toïgo, C., Rossi, S. 2021. "Estimating disease prevalence and temporal dynamics using biased capture serological data in a wildlife reservoir: the example of brucellosis in Alpine ibex (*Capra ibex* L.)". Preventive Veterinary Medicine, 187: 105239. <https://doi.org/10.1016/j.pvetmed.2020.105239>

Garin-Bastuji, B., Hars, J., Drapeau, A., Cherfa, M.A., Game, Y., Le Horgne, J.M., Rautureau, S., Maucci, E., Pasquier, J.J., Jay, M., Mick, V. 2014 "Reemergence of *Brucella melitensis* in wildlife, France". Emerging Infectious Disease, 20:1570–1571. https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/20/9/13-1517_article

Garin-Bastuji, B., Oudar, J., Richard, Y., Gastellu, J. 1990. "Isolation of *Brucella melitensis* Biovar 3 from a Chamois (*Rupicapra rupicapra*) in the Southern French Alps". Journal of Wildlife Diseases, 26:116-118.



Figure 6. Chamois dans le massif du Bargy © Pascal Marchand

Gauthier, D. 2005. « La brucellose chez le chamois ». Congrès du GEEFSM, Bardonecchia, Italie, 2005.

Godfroid, J., Garin-Bastuji, B., Saegerman, C., Blasco, J.M., 2013. "Brucellosis in terrestrial wildlife. Brucellosis: recent developments in diagnosis and epidemiology towards 'One Health' concept." OIE Scientific and Technical Review, 32(1):27-42.

Hars, J., Rautureau, S., Jaÿ, M., Game, Y., Gauthier, D., Herbaux, J-P., Le Horgne, J-M., Maucci, E., Pasquier, J-J., Vaniscotte, A., Mick, V., Garin-Bastuji, B. 2013. « Un foyer de brucellose chez les ongulés sauvages du massif du Bargy en Haute-Savoie ». Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation, 60:2-7. [https://be.anses.fr/fr/issue/60Bulletin épidémiologique](https://be.anses.fr/fr/issue/60Bulletin%20%C3%A9pid%C3%A9miologique)

Hars, J., Rautureau, S., Vaniscotte, A., Herbaux, J-P., Pasquier, D., Depecker, A., Le Bourg, V., Game, Y., Toïgo, C., Mick, V., Garin-Bastuji, B. 2015 « La brucellose des bouquetins du massif du Bargy

(Haute-Savoie) : où en est-on en 2015 ? ». Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation, 70:14–18. <https://be.anses.fr/fr/issue/70> Bulletin épidémiologique

Lambert, S., Gilot-Fromont, E., Freycon, P., Thébault, A., Game, Y., Toïgo, C., Petit, E., Barthe, M.N., Reynaud, G., Jaý, M., Garin-Bastuji, B., Ponsart, C., Hars, J., Rossi, S. 2018. « *High shedding potential and significant individual heterogeneity in naturally-infected Alpine ibex (Capra ibex) with Brucella melitensis* ». *Frontiers in Microbiology*, 9: 1065. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01065>

Lambert, S. 2019. "Transmission and management of brucellosis in a heterogeneous wild population of Alpine ibex (*Capra ibex*)". Thèse de doctorat. Université Claude Bernard Lyon 1. <http://www.theses.fr/2019LYSE1278>

Lambert, S., Gilot-Fromont, E., Toïgo, C., Marchand, P., Petit, E., Garin-Bastuji, B., Gauthier, D., Gaillard, J.M., Rossi, S., Thébault, A. 2020. "An individual-based model to assess the spatial and individual heterogeneity of *Brucella melitensis* transmission in Alpine ibex". *Ecological Modelling*, 425:109009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109009>

Lambert, S., Thébault, A., Rossi, S., Marchand, P., Petit, E., Toïgo, C., Gilot-Fromont, E., 2021. "Targeted strategies for the management of wildlife diseases: the case of brucellosis in Alpine ibex". *Veterinary Research*. <https://doi.org/10.1186/s13567-021-00984-0>, sous presse.

Lambert, S., Gilot-Fromont, E., Toïgo, C., Marchand, P., Petit, E., Rossi, S., Thébault, A. "Combining serological and capture-mark-recapture data to estimate the force of infection of brucellosis in a managed population of Alpine ibex". En révision

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://www.nature.com/articles/s41598-017-15803-w.pdf>

Marchand, P., Petit, E., Calenge, C., Toïgo, C., Anselme-Martin, S., Gilot-Fromont, E., Hars, J., Rossi, S. 2018. « *Brucellose des bouquetins du massif du Bargy : des secteurs plus ou moins impactés en lien*

avec la structuration socio-spatiale des femelles ». *Faune Sauvage*, 320:45-51.

McClintock, B.T., White, G.C. 2012. "From NOREMARK to MARK: software for estimating demographic parameters using mark-resight methodology". *Journal of Ornithology*, 152:641–650. DOI: [10.1007/s10336-010-0524-x](https://doi.org/10.1007/s10336-010-0524-x).

Mick, V., Le Carrou, G., Corde, Y., Game, Y., Jay, M., Garin-Bastuji, B. 2014. « *Brucella melitensis* in France: persistence in wildlife and probable spillover from Alpine ibex to domestic animals ». *PLoS One* 9:e94168.

Petit, E., Giguët, E., Beche, A., Pasquier, J.J., Emin, I., Gervasoni, E., Pinguet, O., Gauthier, D., Anselme-Martin, S., Maucci, E., Game, Y., Toïgo, C., Marchand, P., Rossi, S. 2018. « *La brucellose dans le massif du Bargy : pourquoi pas le chamois ?* ». Présentation orale, congrès du GEEFSM, Orлу, septembre 2018.

Ponsart, C., Riou, M., Locatelli, Y., Jacques, I., Fadeau, A., Jay, M., Simon, R., Perrot, L., Freddi, L., Breton, S., Chaumeil, T., Blanc, B., Ortiz, K., Vion, C., Rioult, D., Quéméré, E., Sarradin, P., Chollet, J.Y., Garin-Bastuji, B., Rossi, S. 2019. "Brucella melitensis Rev.1 vaccination generates a higher shedding risk of the vaccine strain in Alpine ibex (*Capra ibex*) compared to the domestic goat (*Capra hircus*)". *Veterinary Research* 50: 100. <https://doi.org/10.1186/s13567-019-0717-0>

Rossi, S. Petit, E., Toïgo, C., Marcand, P., Lambert, S., Gilot-Fromont, E., Calenge, C., Game, Y., Quéméré, E., Greiller, A., Guyonnaud, B., Chollet, J.Y., Anselme-Martin, S. 2019. Convention relative au suivi populationnel des bouquetins (*Capra ibex*) du massif du Bargy (Haute-Savoie), à la surveillance de la brucellose chez les espèces chassables du Bargy et des massifs adjacents durant la période 2016-2018. Rapport Final.

Toïgo, C., Gaillard, J.M., Gauthier, D., Girard, I., Martinot, J.P., Michallet, J. 2002. "Female reproductive success and costs in an alpine capital breeder under contrasting environments." *Ecoscience*, 9, 427-433. DOI: [10.1080/11956860.2002.11682730](https://doi.org/10.1080/11956860.2002.11682730)

Pour citer cet article :

Rossi .S, Petit E., Marchand P., Toïgo C, Payne A., Chollet J-Y., Anselme-Martin S., Guyonnaud B., Greiller A., Thébault A., Ponsart C., Lambert S., Reynaud G., Game Y., Pasquier J-J., Depecker A., Baudin C., Garin-Bastuji B., Hars J., Gilot-Fromont E. 2021. « Evolution du foyer de brucellose chez le bouquetin des Alpes dans le massif du Bargy, Haute Savoie, entre 2012 et 2020 » Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation 92 (10) : 1-12

Le Bulletin épidémiologique, santé animale et alimentation est une publication conjointe de la Direction générale de l'alimentation et de l'Anses.

Directeur de publication : Roger Genet

Directeur associé : Bruno Ferreira

Directrice de rédaction : Emilie Gay

Rédacteur en chef : Julien Cauchard

Rédacteurs adjoints : Hélène Amar, Jean-Philippe Amat, Céline Dupuy, Viviane Hénaux, Renaud Lailier, Yves Lambert

Comité de rédaction : Anne Brisabois, Benoit Durand, Françoise Gauchard, Guillaume Gerbier, Pauline Kooh, Marion Laurent, Sophie Le Bouquin Leneveu, Elisabeth Repérant, Céline Richomme, Jackie Tapprest, Sylvain Traynard

Secrétaire de rédaction : Isabelle Stubljär

Responsable d'édition :

Fabrice Coutureau Vicaire

Anses - www.anses.fr

14 rue Pierre et Marie Curie

94701 Maisons-Alfort Cedex

Courriel : bulletin.epidemi@anses.fr

Dépôt légal : parution/ISSN 1769-7166