

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 14 septembre 2017

AVIS
de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,
de l'environnement et du travail

**relatif à « l'évaluation approfondie et réactualisée de mesures de maîtrise
du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy »**

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 10 octobre 2016 par les ministres en charge de l'Agriculture et de l'Environnement et par la secrétaire d'état à la Biodiversité, ainsi que le 2 mai 2017 par le Directeur Général de l'Alimentation et le Directeur de l'Eau et de la Biodiversité, pour la réalisation de l'expertise suivante : Evaluation approfondie et réactualisée de mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy.

Avis de l'Anses

Saisine n° 2016-SA-0229

Saisine(s) liée(s) n° n°2014-SA-0218 ; 2013-SA-0129 ; 2013-SA-0082

SOMMAIRE

1.	Contexte et objet de la saisine.....	5
2.	Organisation de l'expertise	6
3.	Périmètre et limitations du champ d'expertise.....	7
4.	Analyse et conclusions du GT BBB et du CES SABA.....	7
4.1.	La brucellose chez les bouquetins du Bargy : mise à jour des connaissances	7
4.1.1.	Eléments de contexte	7
4.1.2.	Spatialisation de l'infection brucellique chez les bouquetins du Bargy	11
4.1.3.	Analyse génétique et immunogénétique de la population de bouquetins du Bargy, en lien avec l'infection brucellique	15
4.2.	Evaluation de scénarios de gestion de la brucellose chez les bouquetins du Bargy	19
4.2.1.	Préambule.....	19
4.2.2.	Incertitudes	21
4.2.3.	Surveillance	24
4.2.4.	Objectif des options de gestion.....	26
4.2.5.	Scénarios évalués	29
4.3.	Mesures de biosécurité.....	38
4.4.	Conclusion	40
5.	Conclusions et recommandations de l'Agence.....	44
	Bibliographie	46

Liste des annexes

Annexe 1 : Liste des intervenants	49
Annexe 2 : Lettres de saisine	53
Annexe 3 : Note de réponse intermédiaire	60
Annexe 4 : Modalités de surveillance des cheptels domestiques dans le massif du Bargy	62
Annexe 5 : Simulation de taux de capture annuels lors d'élimination sélective	67

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des différentes modalités de gestion appliquées dans la population de bouquetins du massif du Bargy depuis 2012.....	9
Tableau 2 : taux de capture annuel à appliquer pour diminuer la prévalence de moitié en 5 ans, en fonction de l'incidence et de la prévalence initiale	69

Liste des figures

Figure 1 : Modalités les plus probables de transmission de la brucellose chez les bouquetins au cours du temps, adapté d'A. Thébaud (Anses, 2015). AVB = avortement brucellique, MB = mise bas, MBB = mise bas brucellique	10
Figure 2 : Domaines vitaux de 37 bouquetins des Alpes (A=21 femelles ; B=16 mâles) suivis par colliers GPS entre 2013 et 2015 dans le massif du Bargy. Les différentes couleurs correspondent aux sous-unités identifiées grâce à l'analyse du chevauchement spatial entre individus (1=Leschaux-Andey, 2=Charmieux-Buclon, 3=Jallouvre-Peyre, 4= Grand Bargy, 5=Petit Bargy).....	11
Figure 3 - A : Séroprévalence de la brucellose dans les 5 secteurs en fonction de la distance au secteur 4 Grand Bargy	12

Figure 3 - B : Distribution des localisations des mâles du groupe 6 en fonction de la distance au secteur 4 Grand Bargy.....	12
Figure 4: Variations de la séroprévalence vis-à-vis de la brucellose chez les bouquetins du massif du Bargy testés entre 2012 et 2015 (n=248) en fonction des secteurs, de l'âge et de la période (avant/après abattage de l'automne 2013).....	13
Figure 5 : calcul de l'évolution de la prévalence dans le cadre d'une élimination sélective, en fonction du taux de capture	67

Sigles et abréviations

AST : Appui Scientifique et Technique

CMH : Complexe Majeur d'Histocompatibilité

DAPC : *Discriminant Analysis of Principal Components (Analyse discriminante en composantes principales)*

GPS : *Global Positioning System*

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle

ONCFS : Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage

UERSABA : Unité d'Evaluation des Risques en Santé Animale et Bien-être des Animaux

SLC : *Solute carrier*, famille de protéines membranaires

TLR : *Toll-Like receptors*, récepteurs de type « Toll-Like »

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Suite à la découverte de deux cas humains de brucellose en France en 2012/2013, associés à la consommation, en 2011, d'un fromage frais au lait cru issu d'un élevage bovin laitier de Haute-Savoie (74) atteint de brucellose, la présence d'un réservoir sauvage de *Brucella melitensis* biovar 3 a été confirmée en 2012 dans une population de bouquetins des Alpes (*Capra ibex*) du massif du Bargy.

Des études approfondies sur cette population ont montré une forte séroprévalence (>40%) et une détection de la bactérie fréquente (56%) chez les animaux séropositifs. Les mesures de gestion mises en place alors reposaient d'une part sur des abattages partiels ciblés, d'abord selon l'âge des animaux (2013 : abattage des animaux de 5 ans et plus) puis selon la connaissance de leur statut sérologique (abattage des animaux testés séropositifs, marquage des animaux séronégatifs relâchés), et au printemps 2015, abattage indiscriminé d'animaux non marqués. Ces mesures ont conduit à diviser par deux la taille de la population, mais n'ont pas permis de l'assainir¹.

En parallèle de la mise en œuvre des premières mesures de lutte sur le terrain, l'Avis de l'Anses 2014-SA-0218 paru en juillet 2015 a porté sur une expertise collective consistant à analyser les données de suivi disponibles entre 2012 et 2014 sur les bouquetins du Bargy et à évaluer *a priori* l'efficacité relative de différents scénarios de lutte sanitaire. Entre autres conclusions de cet Avis, les experts estimaient que l'utilisation du vaccin Rev.1 (vaccin atténué destiné aux ovins et caprins domestiques) pouvait être intéressante comme outil complémentaire de gestion de la maladie dans ce contexte complexe, si tant est que son innocuité et son efficacité chez le bouquetin soient validées. C'est pourquoi, en juin 2016, l'Anses a été à nouveau saisie sur cette vaccination, pour rappeler les éléments techniques et réglementaires permettant d'envisager une vaccination des bouquetins dans le massif du Bargy et pour proposer un protocole d'expérimentation sur les bouquetins visant à vérifier « l'innocuité du vaccin et la réponse immunitaire » dans cette espèce. La réponse a été apportée conjointement par l'Anses, l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS), le Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) et l'Institut National de Recherche Agronomique (INRA), à travers un Appui scientifique et technique (AST) paru en juillet 2016.

Par la suite, l'Anses a reçu le 10 octobre 2016 une « demande d'avis relatif à des préconisations d'utilisation du vaccin OVIREV² *in natura* chez les bouquetins du Bargy, pour assurer la mise en œuvre de la vaccination ». Cette saisine comporte deux demandes distinctes :

- La première demande porte sur la réalisation d'une expérimentation permettant de s'assurer de « l'innocuité » d'un vaccin anti-brucellique (Rev.1) chez les bouquetins et la qualité de la réponse immunitaire induite, en application du protocole recommandé dans l'AST de juillet 2016. Cette demande a fait l'objet d'une expérimentation mise en place par l'Anses, l'ONCFS, l'INRA, le Laboratoire départemental d'analyses d'Indre-et-Loire et le MNHN. Les résultats définitifs de cette expérimentation ont été rendus le 27 juillet 2017.
- La seconde demande porte sur l'établissement de préconisations pour l'utilisation du vaccin *in natura* pour assurer la mise en œuvre de la vaccination sur le terrain, au cas où les résultats de l'expérimentation *supra* seraient favorables.

Enfin, l'Anses a reçu le 02 mai 2017 une demande d'évaluation approfondie et réactualisée de mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy, en complément de la saisine ci-dessus, qui ne concernait que les mesures vaccinales.

Les textes de la saisine du 10 octobre 2016 et de la saisine complémentaire du 02 mai 2017 sont présentés en annexe 2.

1 Les auditions rapportent que les résultats issus des dernières campagnes de prélèvements (2015-2017), bien que non complètement analysés à la date de ce rapport, donnent des valeurs de séroprévalence encore élevées.

2 Vaccin Rev.1 de la société Ceva Santé animale (AMM N°FR/V/2584376 3/1993)

La demande d'avis complémentaire du 2 mai 2017 a été motivée par la proposition d'un scénario de gestion de la brucellose chez les bouquetins du Bargy par la préfecture de Haute-Savoie, qui a été présenté lors de la réunion des parties prenantes à Annecy le 13 février 2017. Une mise en œuvre était envisagée dès le printemps 2017.

Les deux premières questions de cette demande d'avis complémentaire portaient d'une part sur la nécessité de modifier l'analyse de risque de 2015 et les scénarios de gestion proposés, compte tenu des nouvelles données disponibles et, d'autre part, sur la possibilité de conduire une campagne d'abattage non sélectif dès le mois de juin 2017. Comme la demande de réponse était attendue pour le 12 mai pour ces deux premières questions, le GT a produit une lettre de réponse intermédiaire sur ce sujet pour cette date (Annexe 3).

La suite de cette saisine complémentaire demandait à l'Anses de réaliser l'évaluation du scénario proposé par la préfecture de Haute-Savoie, avec des recommandations sur le déploiement de la vaccination, s'il est possible de la mettre en œuvre, ainsi que sur les protocoles de surveillance de ce foyer de brucellose dans la faune sauvage.

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

Le traitement de la saisine relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisés « Santé et bien-être des animaux » (CES SABA). L'Anses a confié l'instruction de cette saisine au groupe de travail « Brucellose des Bouquetins du Bargy » (GT BBB), rattaché au CES « SABA ». Les travaux d'expertise du groupe de travail ont été soumis au CES (tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques) les 13 juin et 4 juillet 2017. Le rapport d'expertise produit par le GT BBB tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES. Sa version finale a été présentée au CES pour validation le 12 septembre 2017. Celui-ci l'a adoptée à l'unanimité.

Ces analyses et conclusions sont issues d'un travail d'expertise collégiale au sein d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Le GT BBB était constitué de dix experts qui se sont réunis les 20 avril, 17 et 30 mai, 21 juin, 19 juillet et 5 septembre 2017. La coordination de l'expertise était assurée par l'Unité d'évaluation des risques en santé, en alimentation et en bien-être des animaux (UERSABA).

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont rendues publiques *via* le site internet de l'Anses (www.anses.fr).

L'évaluation a été conduite en s'appuyant sur :

- les textes réglementaires cités tout au long du rapport sous forme de notes de bas de page ;
- l'avis et le rapport de l'Anses du 21 juillet 2015 n° 2014-SA-0218 relatifs aux mesures de maîtrise de la brucellose chez les bouquetins du Bargy ;
- les publications scientifiques figurant dans la partie bibliographie en fin de rapport ;
- les auditions réalisées au cours de l'expertise ;
- les données de suivi sanitaire et populationnel fournies par l'ONCFS ;
- les éléments scientifiques non publiés apportés par les experts du GT.

3. PERIMETRE ET LIMITATIONS DU CHAMP D'EXPERTISE

Dans ce rapport, les experts ont évalué le scénario de gestion de la brucellose chez les bouquetins du Bargy proposé par la préfecture de Haute-Savoie, qui a été présenté lors de la réunion des

parties prenantes à Annecy le 13 février 2017. Ils ont également évalué différentes variantes de ce scénario et envisagé la pertinence de réévaluer les scénarios analysés dans le rapport de l'Anses de 2015 à la lumière des nouvelles données disponibles sur la situation épidémiologique et populationnelle des bouquetins du massif du Bargy.

Au moment où le GT BBB a réalisé ses travaux d'évaluation des scénarios de gestion, les résultats de l'expérimentation sur l'innocuité vaccinale n'étaient pas disponibles. La remise du rapport final de cette expérimentation ayant eu lieu fin juillet 2017, les experts ont décidé de ne pas évaluer, dans le présent rapport, les scénarios de gestion comportant un volet de vaccination.

Il est en outre souligné que la présente saisine ne prévoit pas que le groupe d'experts pratique une analyse de risque sur la vaccination *in natura* suite aux résultats de l'expérimentation vaccinale.

Le GT pourra, dans un second temps, analyser les scénarios qui comportent une vaccination, si les gestionnaires envisagent d'utiliser le vaccin sur les bouquetins, au vu des résultats de l'expérimentation vaccinale et de ce fait souhaitent saisir l'Anses.

4. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU GT BBB ET DU CES SABA

4.1. La brucellose chez les bouquetins du Bargy : mise à jour des connaissances

Depuis le rapport de l'Anses 2015, un certain nombre de connaissances nouvelles ont été acquises concernant notamment la répartition spatiale des bouquetins dans le massif du Bargy, mais également sur la génétique des différentes populations. Ces nouvelles données sont présentées ci-après, après avoir rappelé les éléments de contexte nécessaires à leur compréhension.

4.1.1. Eléments de contexte

- Terminologie employée : dans le présent rapport, deux termes seront employés pour décrire les animaux séropositifs :
 - Prévalence : ce terme devra être compris comme étant le pourcentage d'animaux positifs au sein d'une population ou d'un échantillon ;
 - Nombre d'animaux infectés : il signifie le nombre d'animaux séropositifs dans une population ou un échantillon.
- Les données utilisées pour les études d'écologie spatiale et les analyses génétiques proviennent des prélèvements réalisés sur les bouquetins au cours des captures et de certains abattages des années 2012 à 2015. Les valeurs de séroprévalence et les données génétiques ont été obtenues grâce aux prélèvements réalisés sur 273 bouquetins (39 sur Leschaux-Andey, 43 sur Charmieux-Buclon, 81 sur Jallouvre-Peyre, 46 sur Grand Bargy et 64 sur Petit Bargy).
- Les tests sérologiques sur les bouquetins ont été réalisés en 2012-2013 par des méthodes classiques (EAT et FC sur sang en première intention par le laboratoire départemental ; ELISA indirect et compétition pour les analyses sérologiques de deuxième intention par le LNR). A partir de 2014, c'est un test sérologique rapide, au chevet de l'animal, qui a été utilisé après vérification de ses performances par le LNR (Anses, 2014), afin d'avoir une réponse immédiate sur le statut sérologique de l'animal lors de sa capture et prendre la décision d'euthanasie en fonction du résultat, alors que l'animal est encore anesthésié.
- Origine des bouquetins du massif du Bargy : quatorze bouquetins ont été réintroduits dans ce massif à l'occasion de lâchers effectués en 1974 et 1976. Cette opération s'insérait dans une action plus vaste de réintroduction de cette espèce sur différents massifs de Haute-Savoie, avec 23 lâchers effectués entre 1967 et 1978, totalisant 145 individus provenant de

la Réserve Fédérale de Chasse du Mont Pleureur en Suisse (Gauthier et Villaret 1990, Villaret et Estève 1986, Michallet 2007), population elle-même issue de la Réserve Royale du Grand Paradis en Italie via un parc d'élevage à St Gallen (Suisse) au début du XX^{ème} siècle. Cette cascade d'évènements conduisant à la création des populations actuelles de bouquetins des Alpes a permis la restauration de l'espèce qui était virtuellement éteinte au XIX^{ème} siècle, mais s'est accompagnée d'une forte perte de variabilité génétique au fur et à mesure des goulots d'étranglement génétiques³ (Gauthier *et al.* 1994, Maudet *et al.* 2002, Stüwe et Scribner 1989, Biebach et Keller, 2010).

- Les différentes opérations de gestion qui se sont succédé depuis 2012 sur le massif du Bargy sont rappelées dans le tableau 1 ci-dessous :

³ goulot d'étranglement se produisant lorsqu'un sous-groupe d'une population est, au moins en ce qui concerne sa reproduction, isolé du groupe principal

Tableau 1 : Récapitulatif des différentes modalités de gestion appliquées dans la population de bouquetins du massif du Bargy depuis 2012

Année	Modalités de gestion	Nombre de bouquetins concernés
2012	Capture, marquage, relâcher puis abattage si séropositif	24 (14 femelles [dont 1 capture sur présence de signes cliniques observés à distance], 10 mâles dont 2 captures sur signes cliniques) Total tués : 12
2013*	<ul style="list-style-type: none"> - Abattage sanitaire (signes cliniques observables à distance) - Capture, euthanasie des séropositifs, marquage et relâcher des séronégatifs - Abattage indiscriminé d'animaux de 5 ans et plus 	<ul style="list-style-type: none"> - 13 individus suspects / 504 observés ; 6 abattus - 57 bouquetins (29 femelles, 28 mâles dont 2 captures sur signes cliniques) : 19 + 2 tués - 233 bouquetins (composition en sexe et âge non connue) Total tués : 260
2014	<ul style="list-style-type: none"> - Abattage indiscriminé d'animaux de 5 ans et plus - Capture pour pose de colliers VHF et GPS, euthanasie des séropositifs, marquage et relâcher des séronégatifs - Recapture (animaux déjà marqués), euthanasie des séropositifs, relâcher des séronégatifs 	<ul style="list-style-type: none"> - 18 (10 femelles, 8 mâles) - 61 (32 femelles, 29 mâles) : 30 séropositifs euthanasiés + 1 accident de capture - 10 (2 femelles, 8 mâles) : 1 séropositif euthanasié Total tués : 50
2015	<ul style="list-style-type: none"> - Capture pour pose de colliers VHF et GPS, euthanasie des séropositifs, marquage et relâcher des séronégatifs - Recapture (animaux déjà marqués), euthanasie des séropositifs, relâcher des séronégatifs - Abattage indiscriminé d'animaux non marqués 	<ul style="list-style-type: none"> - 105 bouquetins (59 femelles, 46 mâles) : 36 séropositifs euthanasiés - 20 bouquetins (2 femelles, 18 mâles) : 2 séropositifs euthanasiés - 10 accidents de capture - 70 bouquetins Total tués : 118
2016	<ul style="list-style-type: none"> - Capture pour pose de colliers VHF et GPS, euthanasie des séropositifs, marquage et relâcher des séronégatifs - Recapture (animaux déjà porteurs de collier), euthanasie des séropositifs, relâcher des séronégatifs 	<ul style="list-style-type: none"> - 20 bouquetins (9 femelles, 11 mâles) : 4 séropositifs euthanasiés - 15 bouquetins (8 femelles, 7 mâles) : 1 séropositif euthanasié Total tués : 5
Prin-temps 2017	<ul style="list-style-type: none"> - Capture pour pose de colliers VHF et GPS, euthanasie des séropositifs, marquage et relâcher des séronégatifs - Recapture (animaux déjà porteurs de collier), euthanasie des séropositifs, relâcher des séronégatifs 	<ul style="list-style-type: none"> - 22 bouquetins (15 femelles, 7 mâles) : 6 séropositifs euthanasiés - 5 bouquetins (2 femelles, 3 mâles) Total tués : 6
Population estimée fin 2016 : 290 bouquetins hors cabris dont 123 animaux marqués		

*il convient d'ajouter 60 captures dans le massif des Aravis et 30 dans le massif de Sous-Dine en 2013.

- Les différentes modalités les plus probables de transmission de la brucellose au sein de la population de bouquetins sont rappelées dans la figure 1 ci-dessous, en lien avec la biologie de l'espèce.

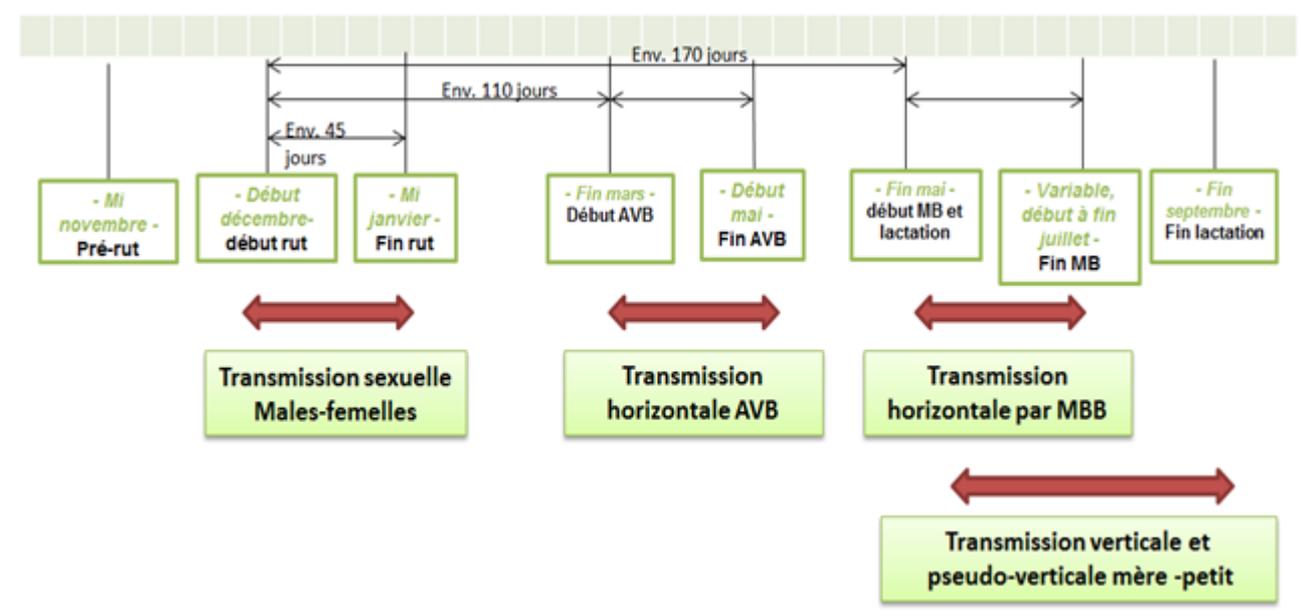


Figure 1 : Modalités les plus probables de transmission de la brucellose chez les bouquetins au cours du temps, adapté d'A. Thébaud (Anses, 2015). AVB = avortement brucellique, MB = mise bas, MBB = mise bas brucellique

- Le risque de transmission de la brucellose des bouquetins aux cheptels domestiques a été estimé dans le rapport de 2015 « quasi-nul à minime » (1-2 sur échelle de 0 à 9). Aucun élément n'est survenu depuis ce rapport pour modifier cette estimation.
- Les modalités de surveillance des cheptels qui estivent dans le massif du Bargy, en vigueur en 2017, ont été présentées lors de l'audition de la DDPP 74 et sont présentées en annexe 4. Ces cheptels font, depuis 2013, l'objet d'une surveillance renforcée. Les modalités en avaient été validées par l'Anses dans le cadre du traitement de la saisine 2013-SA-0082 (Anses, 2013), sous réserve d'y apporter quelques compléments, notamment dans le cadre des contrôles effectués au retour d'estive. La poursuite en 2017 de la surveillance mensuelle sur lait de grand mélange pour les cheptels bovins laitiers et la mise en place d'une surveillance innovante des laits de caprins sont assurées, répondant à la priorisation du risque en santé publique sur la production laitière. En revanche, le protocole de retour d'estive a été allégé avec contrôle sérologique par sondage (20%) des bovins allaitants sans prendre en compte les jeunes < 24 mois, absence de contrôle obligatoire des génisses des élevages laitiers, contrôle sérologique par sondage (25%) des petits ruminants. Cet allègement illustre sans doute le fait que les autorités tiennent compte de l'estimation du risque de contamination des cheptels par les experts indiquée ci-dessus.

4.1.2. Spatialisation de l'infection brucellique chez les bouquetins du Bargy

Les analyses et auditions réalisées dans le cadre du rapport de l'Anses 2015 suggéraient des différences de séroprévalence entre différents secteurs du massif du Bargy. Suite à ces observations, une étude a été conduite par l'ONCFS pour tenter de mieux comprendre les relations entre l'écologie spatiale des bouquetins du massif et les variations des niveaux de séroprévalence de la brucellose au sein de la population (Marchand *et al.* 2015).

En s'appuyant dans un premier temps sur les localisations horaires de 37 individus (21 femelles et 16 mâles) suivis sur plus de 6 mois par colliers GPS entre 2013 et 2015, ces analyses ont mis en évidence une structuration spatiale des bouquetins, en particulier des femelles, en 4 sous-unités populationnelles occupant chacune un secteur géographique identifiable du massif du Bargy (1=Leschaux-Andey, 2=Charmieux-Buclon, 3=Jallouvre-Peyre, 5=Petit Bargy ; Figure 2A).

D'autres données plus fragmentaires (localisations GPS d'individus suivis trop peu de temps pour déterminer des domaines vitaux, lieux de capture, observations visuelles d'individus marqués et données GPS brutes collectées après la réalisation de cette étude [2016-2017]) suggèrent l'existence probable d'une cinquième sous-unité qui occupe le secteur du Grand Bargy (4/triangle noir sur la Figure 2) mais dans laquelle aucune femelle n'avait été, jusque-là, suivie par collier GPS pendant une durée suffisante.

De plus, si quelques mâles (6 individus âgés de 5 à 9 ans) semblent montrer une occupation spatiale structurée selon le même schéma que les femelles, la plupart des mâles peut se déplacer sur plusieurs sous-unités (groupe 6, Figure 2B), parcourir l'ensemble du massif, notamment lors du rut voire, pour environ 5% d'entre eux (5 mâles sur 113 suivis par télémétrie VHF et/ou GPS entre 2012 et 2016), se rendre jusque dans les Aravis pour des durées variables (rut ou migration saisonnière).

Il est à noter que les mâles qui se déplacent entre secteurs (groupe 6) n'utilisent pas toutes les sous-unités de la même façon : leur utilisation de l'espace est centrée sur le secteur 4 grand Bargy (Figure 3B).

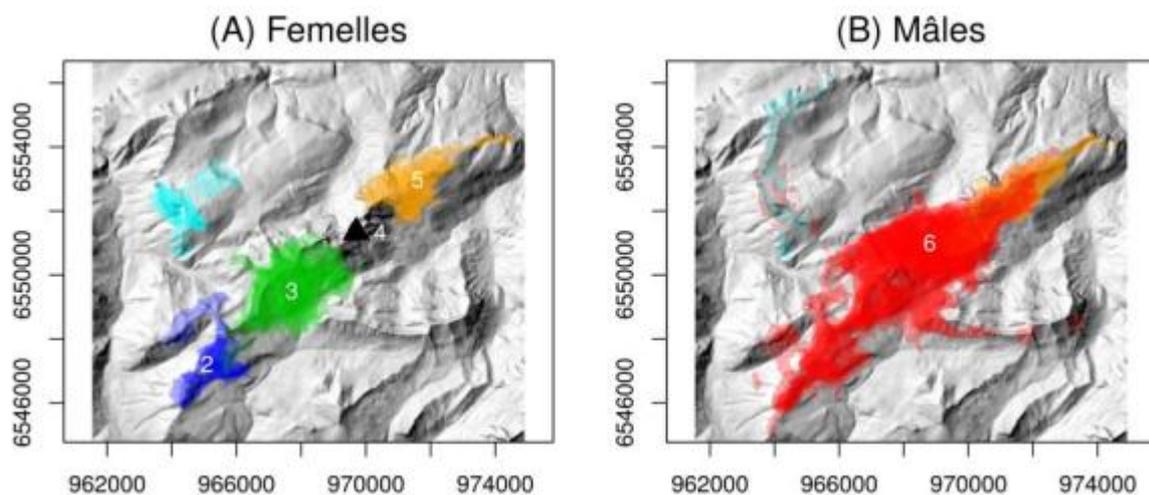


Figure 2 : Domaines vitaux de 37 bouquetins des Alpes (A=21 femelles ; B=16 mâles) suivis par colliers GPS entre 2013 et 2015 dans le massif du Bargy. Les différentes couleurs correspondent aux sous-unités identifiées grâce à l'analyse du chevauchement spatial entre individus (1=Leschaux-Andey, 2=Charmieux-Buclon, 3=Jallouvre-Peyre, 4= Grand Bargy, 5=Petit Bargy).

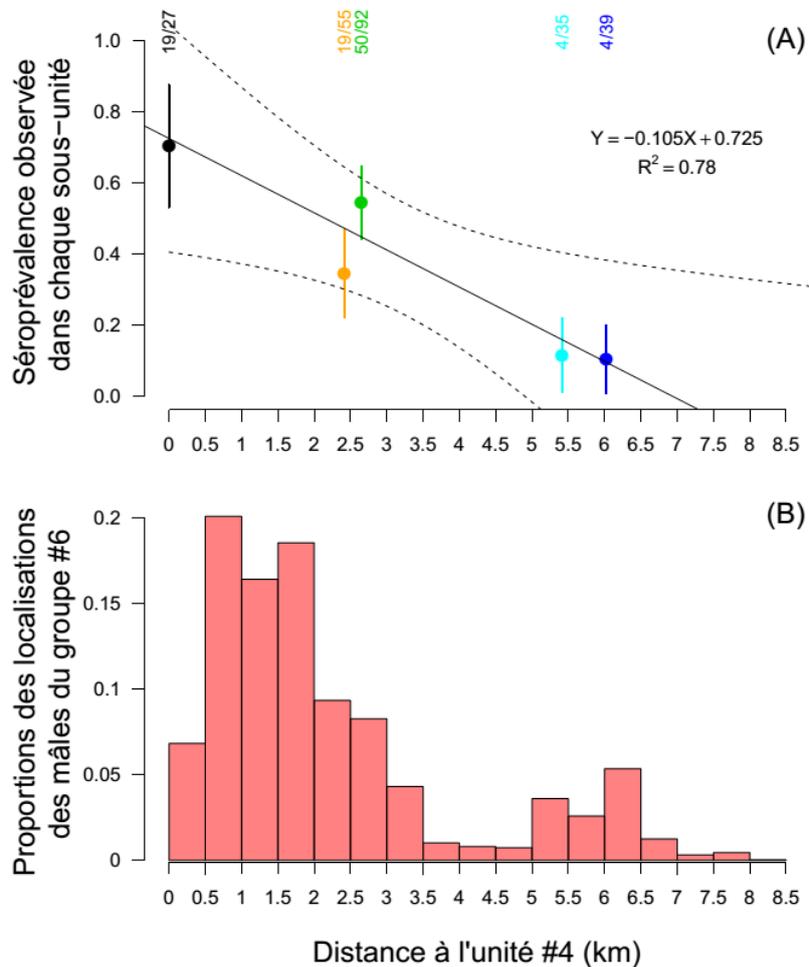


Figure 3A : séroprévalence de la brucellose dans les 5 secteurs en fonction de la distance au secteur 4 Grand Bargy
 3B : Distribution des localisations des mâles du groupe 6 en fonction de la distance au secteur 4 Grand Bargy

Dans un second temps, cette structuration spatiale a été confirmée grâce aux observations visuelles de 149 individus marqués (71 femelles et 78 mâles) réalisées principalement entre mai et septembre (période sans neige) de 2013 à 2016. En fonction du lieu de sa capture, chacun de ces individus a été assigné à l'une des 5 sous-unités précédemment identifiées. La concordance entre les lieux où ces individus ont été observés et le secteur utilisé par les femelles suivies par colliers GPS dans la sous-unité attribuée a ensuite été évaluée. Plus de 95% des observations de femelles marquées (511/530) ont été faites dans le secteur utilisé par la sous-unité correspondante, confirmant, avec un plus grand nombre d'individus qu'avec le suivi GPS, leur forte structuration spatiale. A l'inverse, seulement 54% (415/762) des observations étaient concordantes pour les mâles marqués, entre le lieu de marquage et le lieu de nouvelle observation, ce qui confirme leur plus forte propension aux mouvements entre ces sous-unités.

Enfin, après avoir affecté chacun des individus testés pour la brucellose entre 2013 et 2015 à l'une de ces 5 sous-unités (également en fonction du lieu de capture/abattage, possible pour 248 individus), l'influence de cette structuration spatiale sur l'épidémiologie de cette infection a été évaluée, tout en tenant compte de l'âge et de l'année (*ie* avant vs après abattage massif de 2013).

La séroprévalence augmente graduellement avec l'âge jusqu'à un plafond atteint autour de 8-10 ans, et ceci de façon semblable pour les 2 sexes, et varie fortement d'un secteur à l'autre

(Figure 4). Ainsi, avec les données collectées entre 2013 et 2015, la séroprévalence moyenne est particulièrement élevée (> 50%) dans les secteurs de Jallouvre-Peyre et Grand Bargy, beaucoup plus faible dans les secteurs Leschaux-Andey et Charmieux-Buclon (environ 10%), le niveau étant intermédiaire (environ 35%) dans le secteur du Petit Bargy.

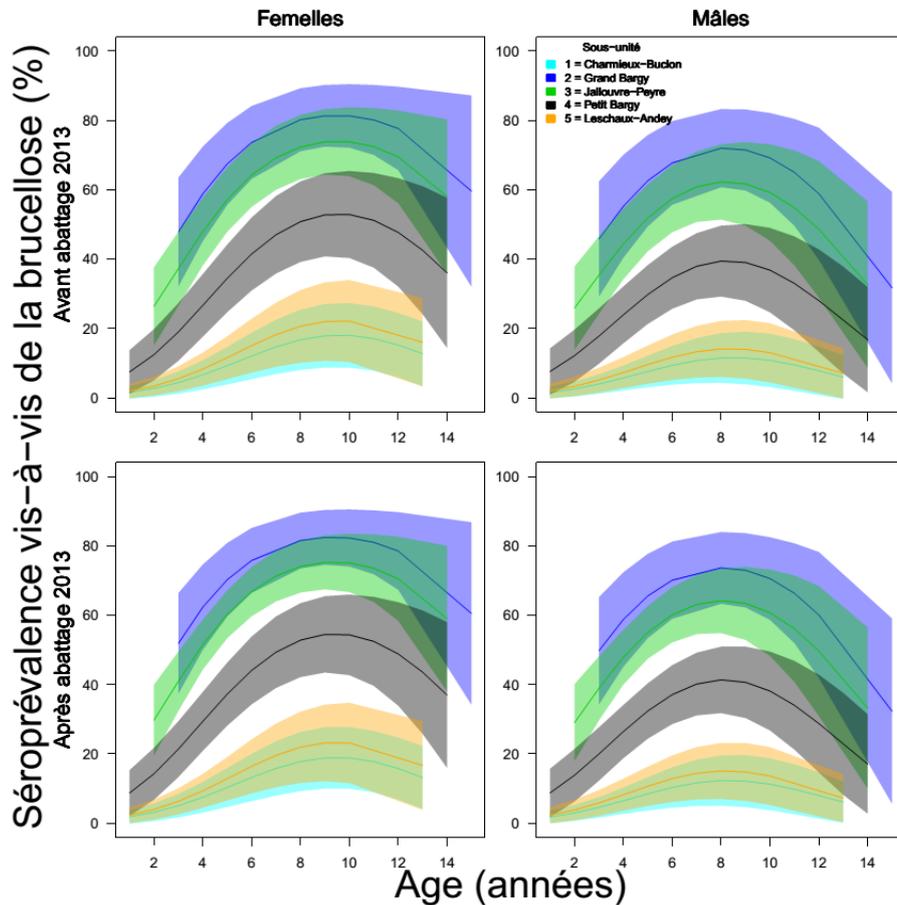


Figure 4: Variations de la séroprévalence vis-à-vis de la brucellose chez les bouquetins du massif du Bary testés entre 2012 et 2015 (n=248) en fonction des secteurs, de l'âge et de la période (avant/après abattage de l'automne 2013). Chaque enveloppe de couleur représente la séroprévalence estimée à partir des observations pour un âge et un secteur donné, avec un intervalle de confiance à 95 %. La figure représente les valeurs prédites pour les deux sexes et les deux périodes considérées, mais la différence entre périodes n'est pas statistiquement significative. Les facteurs ayant les plus forts effets sur la prévalence sont dans cet ordre le secteur, l'âge puis le sexe.

Il faut noter que ces données sont susceptibles d'avoir évolué en 2016-2017 suite aux mesures de gestion appliquées en 2015 (nombre important d'animaux concernés : voir tableau 1). Mais l'analyse des résultats des campagnes de suivi 2016-2017 ne sera pas disponible avant fin 2017. En outre, le nombre de captures ayant pu être réalisées en 2016-2017 est faible (Tableau 1). Il ne permettra pas d'approcher une valeur de la séroprévalence dans les différents secteurs. Il n'est ainsi pas possible pour les experts de disposer d'une réactualisation de ces données permettant d'évaluer l'impact des mesures de gestion appliquées en 2015.

Contrairement aux premières études n'intégrant pas cette structuration spatiale et montrant une hausse de la séroprévalence chez les individus de 2 à 5 ans après l'abattage de plus de 230 individus âgés de 5 ans et plus à l'automne 2013, ces nouvelles analyses n'ont pas révélé de différence dans les niveaux de prévalence avant et après cet abattage. Il s'avère que les individus de 2 à 5 ans testés en 2014 provenaient quasi exclusivement des secteurs les plus infectés (37/39 en provenance de Jallouvre-Peyre, Grand Bargy ou Petit Bargy), ce qui n'avait pas été le cas en

2012-13 (seulement 22/33). Ce biais de recrutement, consécutif à l'absence de prise en compte de la structuration spatiale alors inconnue, suffit à expliquer l'apparente augmentation de la prévalence post-abattage. Cet abattage n'aurait donc pas eu d'effet à court terme (1-2 ans) sur la prévalence ni dans un sens, ni dans l'autre, dans les différents secteurs.

Parmi les différentes voies potentielles de transmission intra-spécifique de la brucellose (figure 1), cette étude suggère donc que la voie sexuelle n'est probablement pas la voie principale chez les bouquetins du massif du Bargy. En effet, la plupart des mâles se déplaçant sur l'ensemble du massif durant le rut, une séroprévalence spatialement homogène serait attendue si la transmission sexuelle était prédominante. Au contraire, les différences importantes de séroprévalence entre sous-unités spatiales et les prévalences similaires entre les deux sexes au sein de chaque sous-unité, suggèrent que les contacts impliquant les femelles infectées excrétrices (lors des avortements qui ont lieu pendant le dernier tiers de la gestation (soit la période de transition entre l'hiver et le printemps) et lors des mises bas brucelliques, et des sécrétions génitales péri-partum et péri-abortum), en particulier par l'intermédiaire des habitats qu'elles partagent avec les autres bouquetins de chaque sous-unité, pourraient être une voie de transmission intra-spécifique plus importante. A cette période, les groupes de bouquetins, mâles et femelles, d'un même secteur se rapprochent en utilisant les premières pâtures déneigées, ce qui augmente la probabilité de contacts directs (entre 2 bouquetins) ou indirects (par l'intermédiaire des zones partagées entre congénères) et donc de transmission de la brucellose.

Les mouvements plus importants des mâles durant le rut et la transmission sexuelle doivent toutefois être pris en compte dans la transmission de la brucellose entre sous-unités spatiales.

Ainsi, il est possible d'envisager 2 modalités de transmission de la brucellose dans la population de bouquetins du Bargy :

- La transmission péri-partum et/ou péri-abortum par les femelles, *a priori* prépondérante au sein des sous-unités ;
- La transmission par les mâles et la voie sexuelle, sans doute moins importante que la précédente, mais jouant cependant probablement un rôle non négligeable, et *a priori* hétérogène, dans la transmission entre les sous-unités spatiales.

En effet, le GT souligne que la différence de prévalence entre sous-unités n'est pas expliquée à ce stade, même si des hypothèses peuvent être avancées. L'une de ces hypothèses serait que la dynamique épidémiologique sur ce massif fonctionne selon un modèle de métapopulation épidémiologique (Grenfell et Harwood 1997) dans lequel, dans chaque secteur, la transmission de l'infection résulte à la fois de la transmission locale (déterminée par les taux de contacts entre individus mâles et femelles, le nombre d'individus sensibles et le nombre ou la proportion d'infectés) et de la transmission due aux animaux venus des autres sous-unités, essentiellement des mâles. Il est nécessaire de tenir compte de cette structure en métapopulation car elle tend à diminuer la probabilité d'extinction de l'infection, à augmenter la durée de persistance et à modifier les cycles épidémiologiques (Jesse et al. 2008). La structure en métapopulation permet également d'envisager des mesures de gestion spatialement différenciées (Haydon et al. 2006).

En particulier, dans le massif du Bargy, les sous-unités ne sont pas toutes utilisées de la même manière par les mâles du groupe 6 (Figure 3B). Les secteurs 3 et 4, secteurs centraux et le plus souvent utilisés par ces animaux, correspondent à ceux où la prévalence est la plus élevée (Figure 3A). Ces secteurs pourraient donc constituer une source d'infection pour les autres, secteurs, certains secteurs périphériques (Leschaux-Andey et Charmieux-Buclon en particulier) seraient essentiellement infectés par des individus originaires d'autres secteurs, avec peu ou pas de transmission locale.

Si l'hypothèse d'un fonctionnement général en métapopulation semble déjà bien étayée à ce stade par l'occupation de l'espace par les bouquetins, l'identification des rôles respectifs des différents secteurs demanderait à être confortée, d'une part en estimant les niveaux de transmission locale,

qui dépendent des effectifs et des densités locales de bouquetins dans chaque secteur, mais aussi des caractéristiques des lieux (possibilité de présence de zones ombragées et humides dans lesquelles la bactérie survit mieux au sol par exemple), et d'autre part en estimant plus finement les flux entre secteurs. Si cette hypothèse est confirmée, la métapopulation aurait une configuration « en araignée » avec un secteur central et des secteurs périphériques, chacun connectés au secteur central (par opposition à des configurations en chaîne ou en boucle). Cette caractérisation serait essentielle en termes de gestion : la configuration en araignée est la seule dans laquelle le contrôle appliqué dans un seul secteur pourrait avoir un effet sur l'ensemble de la population (Fulford et al. 2002).

Toutefois, à ce stade des connaissances et des travaux, cette hypothèse ne peut être confirmée.

Ainsi, les nouvelles données sanitaires et populationnelles disponibles depuis le rapport Anses 2015 indiquent que la population de bouquetins du Bargy est très structurée spatialement en 5 sous-unités, notamment pour les groupes de femelles. La plupart des mâles, quant à eux se déplace fréquemment, notamment en période de rut, sur l'ensemble du massif voire également, pour environ 5% d'entre eux, sur le massif des Aravis.

La mise en parallèle de cette spatialisation avec le statut infectieux des animaux capturés montre que la séroprévalence de la brucellose chez ces bouquetins est variable en fonction des secteurs concernés, avec une séroprévalence moyenne particulièrement élevée (supérieure à 50%) dans les secteurs de la zone cœur du massif (Jallouvre-Peyre et Grand Bargy), beaucoup plus faible (environ 10%) dans les secteurs périphériques (Leschaux-Andey et Charmieux-Buclon), le niveau étant intermédiaire (environ 35%) dans le secteur du Petit Bargy. A noter que ces chiffres ont peut-être évolué en 2016-2017, sans que l'on ait à ce jour la matière pour le confirmer sur chacun des secteurs.

Cette sectorisation suggère que la transmission intra-spécifique se fait majoritairement au sein des groupes matriarcaux, lors des avortements, des mises bas brucelliques, et *via* les sécrétions génitales péri-partum et péri-abortum des femelles infectées. La transmission par voie vénérienne par les mâles infectés interviendrait, quant à elle dans la transmission entre sous-unités et de façon hétérogène.

Cette structuration spatiale pourrait résulter d'une dynamique épidémiologique de type « métapopulation » dans laquelle les secteurs centraux (Grand Bargy et Jallouvre-Peyre), qui sont les plus utilisés par les mâles, connaîtraient la transmission locale la plus forte et serait une source d'infection pour les secteurs périphériques, mais cette hypothèse n'est à l'heure actuelle pas confirmée.

L'apparente augmentation de la séroprévalence post-abattage constatée chez les jeunes en 2014 s'avère liée à un biais de recrutement lors de la réalisation des prélèvements (réalisés presque exclusivement dans les secteurs à plus forte prévalence en 2014). Cet effet disparaît une fois prise en compte la structure spatiale. Cet abattage n'aurait donc pas eu d'effet à court terme (1-2 ans) sur la prévalence dans les différents secteurs.

4.1.3. Analyse génétique et immunogénétique de la population de bouquetins du Bargy, en lien avec l'infection brucellique

Cette analyse génétique est issue d'un projet visant à étudier une potentielle sensibilité intrinsèque à la brucellose de la population de bouquetins du massif du Bargy. (Erwan Quéméré, 2017, communication personnelle) (Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage, INRA, Toulouse) et réalisée en collaboration entre l'ONCFS, VetAgro Sup et le Laboratoire Départemental d'Analyses Vétérinaires de Savoie. Les travaux ont porté sur l'ADN de 288 bouquetins prélevés dans le Bargy et les Aravis dans la période 2012-2015 et comportaient 3 parties : (1) étude de la structuration génétique de la population (intra- et inter-massifs) ; (2) analyse de la diversité génétique et de la

consanguinité; (3) étude de la diversité des gènes de l'immunité dans la population du massif du Bargy et conséquences sur la sensibilité des bouquetins à la brucellose.

4.1.3.1 Structuration génétique des populations de Bargy et Aravis

L'objectif de cette partie était de mesurer les flux de gènes entre les 5 unités socio-spatiales du Bargy et avec la population des Aravis, révélateurs de contacts de reproduction plus ou moins récents. Le génotypage de 25 marqueurs microsatellites a été réalisé sur 137 individus de la chaîne principale du Bargy, 30 de Leschaux-Andey et 60 des Aravis, prélevés entre 2012 et 2015. Les résultats ne montrent pas de différenciation génétique significative entre les 4 unités socio-spatiales de la chaîne principale du Bargy (Charmieux-Buclon, Grand Bargy, Jallouvre-Peyre et Petit Bargy) mais ils suggèrent que la cinquième unité (Leschaux/Andey) est significativement différente de celle de la chaîne principale. Cela suggère que le flux historique de gènes entre ces deux noyaux de populations est limité. Une différenciation génétique modérée mais significative entre les bouquetins de la chaîne principale du Bargy et ceux des Aravis est également observée, ce qui suggère un faible flux historique de gènes.

Une analyse discriminante en composantes principales (DAPC) a été réalisée afin d'estimer le nombre d'unités génétiques à partir des génotypes des individus. Cette seconde analyse confirme la présence de 3 unités génétiques (Chaîne principale du Bargy, Aravis et Leschaux-Andey). Les tests d'assignation révèlent cependant l'existence d'un brassage génétique entre les unités génétiques. En effet, les proportions moyennes « d'admixture » (de brassage génétique) sont relativement importantes : $Q_{moy} = 0.25$ [IC 95% : 0.18-0.42] de gènes issus de Bargy sont présents chez les bouquetins capturés dans les Aravis, et $Q_{moy} = 0.10$ [0.07-0.17] de gènes d'Aravis chez les bouquetins capturés au Bargy. On peut également identifier des individus dont les coefficients d'assignation sont intermédiaires entre les populations Aravis et Bargy : 23 individus (11%) ont ainsi des coefficients entre 0.3 et 0.7 entre ces deux populations. Ces éléments laissent penser que le brassage génétique entre les deux populations est important, cependant compte-tenu des limites des données génétiques dans ce contexte (les massifs sont très proches génétiquement et les marqueurs utilisables chez le bouquetin sont très peu polymorphes), l'identification individuelle des individus migrants et issus de migrants n'est pas certaine.

A noter que des déplacements de bouquetins entre Bargy et Aravis avaient été observés dès les premières années après la réintroduction de 1974-1976 : les présents résultats permettent de donner la mesure de ces échanges qui ont donc probablement existé depuis la fondation de la population.

De l'étude de la structuration génétique de la population (intra et inter-massifs), il ressort que la différenciation génétique entre les 4 unités socio-spatiales de la chaîne principale du Bargy (Charmieux-Buclon, Grand Bargy, Jallouvre-Peyre et Petit Bargy) est faible. Ce résultat était attendu car les domaines vitaux des mâles recouvrent les quatre sites. Le flux de gènes avec la population de Leschaux-Andey est plus limité. Les échanges génétiques entre Aravis et Bargy apparaissent historiquement limités mais l'existence d'un brassage génétique significatif, tout comme le suivi spatial par VHF/GPS, confirment l'existence de mouvements de bouquetins entre ces massifs qui ont été observés depuis l'introduction de ces animaux et, en conséquence, un risque de propagation de la brucellose vers les Aravis.

4.1.3.2 Diversité génétique et consanguinité des bouquetins du Bargy

Les caractéristiques épidémiologiques du foyer de brucellose affectant la population de bouquetin du Bargy sont de façon inexplicable, fortement éloignées de celles qui avaient été établies jusqu'alors : en effet, les études précédentes sur des foyers sauvages chez le chamois (Lautaret, Mont Cenis, Beaufortin) ou le bouquetin (Grand Paradis – I -, Sierra de Cazorla – E -) avaient

montré une dynamique différente avec très peu de circulation intra-spécifique conduisant à l'extinction naturelle du foyer sur une génération d'animaux (une dizaine d'années).

Cette particularité amène à se demander si la population du Bargy est particulière : cette population, ou certains individus du Bargy possèdent-ils un profil génétique particulier qui engendrerait une susceptibilité particulière à la brucellose ? Ou s'agit-il de circonstances épidémiologiques d'exposition inédites jusqu'à présent ?

De manière générale, l'histoire démographique pourrait expliquer la sensibilité de toutes les populations réintroduites de bouquetins à la brucellose. A partir de la population restante dans le Gran Paradiso (moins de cent animaux au XIXème siècle), un premier goulot d'étranglement a été celui de la création des deux parcs d'élevage des bouquetins en Suisse (St Gallen et Interlaken), d'où sont issus en 2nd goulot d'étranglement, les 8 populations-mère suisses au début du XXème siècle (dont celle du Mont Pleureur), qui seront à leur tour les viviers pour toutes les réintroductions modernes de la seconde moitié du XXème siècle. Lors de chaque création de population, la réintroduction par un nombre très faible de fondateurs génétiques (par exemple 6 mâles et 8 femelles dans le Bargy) pourrait avoir conduit à une érosion de la variabilité génétique, avec des effets délétères sur la valeur sélective (succès reproducteur) des individus (dépression de consanguinité). Afin de tester l'hypothèse que ces phénomènes sont présents dans le Bargy, et de comparer la situation avec celle d'autres populations, le niveau de diversité génétique, la taille efficace et le niveau moyen de consanguinité de cette population ont été estimés et comparés aux valeurs observées dans un panel de populations de référence (Biebach et Keller 2012).

Avec une richesse allélique moyenne de moins de 3 allèles par marqueur, et une hétérozygotie attendue d'environ 40%, la population du massif du Bargy possède une diversité génétique très faible en comparaison avec ce qui est classiquement observé chez les populations d'ongulés sauvages. Mais ces niveaux sont équivalents à ceux observés dans un grand nombre de populations restaurées de bouquetins des Alpes. La « taille efficace »⁴ de la population est très faible (environ 50 individus), ce qui laisse présager d'une forte diminution de la diversité génétique à moyen terme en l'absence de mutation/migration. La situation a probablement empiré suite à l'abattage massif d'individus ces dernières années. A titre de comparaison, Biebach et Keller (2010) ont estimé une taille efficace moyenne de 102 individus pour 41 populations restaurées. La population des Aravis a une taille efficace d'environ 80 individus et celle du Mont Pleureur de plus de 800. Le coefficient moyen de consanguinité des bouquetins du Bargy est d'environ 0,1 (niveau de consanguinité attendu lorsque deux demi-frères/sœurs se reproduisent ensemble). Cette valeur demeure dans la moyenne de celles observées pour les populations de bouquetins des Alpes (valeur de 0,11 pour (Biebach et Keller 2012)).

De l'analyse de la diversité génétique et de la consanguinité de la population de bouquetins du massif du Bargy, il ressort que celle-ci possède un niveau de diversité génétique très faible, qui suggère une faible variabilité adaptative et donc une capacité limitée à déclencher une réponse micro-évolutive face à un changement de son environnement (sélection naturelle d'une population résistante à une maladie par exemple). Mais ces niveaux sont équivalents à ceux observés dans un grand nombre de populations restaurées des Alpes et ne peuvent donc pas expliquer à eux seuls une éventuelle sensibilité particulière de la population du massif du Bargy à la brucellose. De plus, la faible taille efficace de la population du Bargy présage d'une forte diminution de la diversité génétique à moyen terme, en l'absence de mutation/migration. La situation a probablement empiré suite à l'abattage massif d'individus ces dernières années.

4 La taille efficace correspond au nombre d'individus géniteurs, i.e. qui transmettent de la diversité génétique d'une génération à la suivante.

4.1.3.3 Diversité des gènes de l'immunité et conséquences possibles sur la réceptivité des bouquetins à la brucellose

Pour explorer la variabilité génétique de la sensibilité de cette population à la brucellose, le polymorphisme de six gènes susceptibles de jouer un rôle important dans la réponse immunitaire à la brucellose a été évalué : gène DRB1 du Complexe Majeur d'Histocompatibilité (CMH), récepteurs de type « Toll-Like » (TLR1, TLR2, TLR4 et TLR9) et « solute carrier » (SLC11A1) (Oliveira et al, 2008 ; Gomes et al, 2012). Ces gènes codent des récepteurs membranaires impliqués dans la reconnaissance des motifs antigéniques et le déclenchement de la réponse innée et/ou adaptative, en particulier contre la brucellose pour le SLC11A1. L'étude a évalué 1) si la population du Bargy a maintenu un niveau de diversité immunogénétique (polymorphisme de ces 6 gènes) comparable à celui de la population de bouquetins du Grand Paradis qui est la seule population autochtone de bouquetins des Alpes ayant échappé à l'extinction (avec celle de Maurienne en Vanoise), dont sont issus par relais successifs l'ensemble des programmes de repeuplements dans les Alpes, et 2) si les allèles de ces gènes étaient associés à une plus faible prévalence de l'infection (ce qui suggérerait qu'ils confèrent une résistance génétique à l'infection).

Le gène DRB1 du CMH a été génotypé pour les 167 individus de la population du massif du Bargy prélevés entre 2012 et 2015. Un seul allèle est présent dans cette population, comme c'est le cas pour la grande majorité des populations de bouquetins de l'est des Alpes (Grossen *et al.* 2014). Les gènes codant pour les TLR1, 2 et 4 ont été génotypés pour une trentaine d'individus du massif du Bargy et du Grand Paradis. Il a été observé un polymorphisme faible avec 2 à 4 haplotypes fonctionnels pour chaque gène. Les individus ayant deux copies de l'allèle 1 du TLR1 tendent à être moins souvent infectés que les autres (congruent avec le résultat de Prakash et al. (2014) chez les bovins).

Le gène SLC11A1 (solute carrier family 11 member A1) code une protéine de reconnaissance appelée NRAMP, impliquée dans l'activation des macrophages. En ce qui concerne son polymorphisme, deux allèles sont présents dans les deux populations, nommés « A324 » et « A330 ». Dans la population de Bargy (187 individus génotypés), les fréquences des allèles A324 et A330 sont de 77% et 23% respectivement. La majorité des individus (environ 58%) sont homozygotes A324/A324, environ 37% des individus sont hétérozygotes A324/A330 et environ 5% sont homozygotes A330/A330.

L'analyse des données indique que la présence de l'allèle A330 du gène SLC11A1 est significativement associée au statut sérologique des individus : les individus hétérozygotes ont une probabilité deux fois moindre d'être séropositifs que les individus A324/A324 (Odds Ratio OR = 0,56 [0,23-1,18]) alors que les rares individus homozygotes A330/A330 ont une probabilité très faible d'être séropositifs (OR = 0,11 [0,005-0,66]). Une association entre un allèle du gène SLC11A1 et la résistance à la brucellose a été mise en évidence chez la chèvre domestique (Iacoboni et al. 2014), les bovins et le buffle domestique (*Bubalus bubalis*, Borriello et al. 2006, Capparelli et al. 2007, Ganguly et al. 2008, Ranjan et al. 2014).

De l'étude de la diversité des gènes de l'immunité dans la population du massif du Bargy, il ressort qu'il existe une association entre le gène SLC11A1 et la réceptivité des bouquetins à la brucellose. La présence de l'allèle A330 est associée à un faible niveau de séropositivité à la brucellose. Des analyses complémentaires sont cependant nécessaires pour confirmer le lien entre la présence de cet allèle A330 et le niveau d'expression du variant résistant de la protéine NRAMP comme cela a été fait notamment chez le buffle domestique (*Bubalus bubalis*). A ce stade des connaissances encore préliminaires, il n'est pas possible de tirer de conclusion sur la résistance à *Brucella melitensis* des bouquetins en lien avec cette caractéristique génétique.

4.2. Evaluation de scénarios de gestion de la brucellose chez les bouquetins du Bargy

Comme indiqué au point 3, le présent rapport n'évalue pas les scénarios de gestion incluant la vaccination.

4.2.1. Préambule

Les précédents travaux d'expertise collective, présentés dans le rapport de l'Anses 2015, avaient conduit à étudier 4 propositions de scénarios pour la maîtrise sanitaire de la brucellose, chacune d'entre elles ayant été ensuite déclinée avec des variantes (notamment « associée avec des mesures de biosécurité » ou « associée à la vaccination ») :

- Suivi de la population de bouquetins sans abattage (scénario de base 1) ;
- Euthanasie sélective des séropositifs après capture (scénario de base 2) ;
- Constitution d'un noyau d'individus séronégatifs marqués puis abattage des individus restants non marqués (scénario de base 3) ;
- Abattage indiscriminé du plus grand nombre possible d'animaux (scénario de base 4).

L'évaluation *a priori* des scénarios avait été menée à la fois sur le plan qualitatif et sur le plan quantitatif (par création d'un modèle dynamique individu-centré, permettant des prédictions sur les effets pour la période 2015-2030). Les paramètres du modèle avaient été estimés en utilisant les données de la littérature ou en retenant à dire d'experts une fourchette de valeurs raisonnables.

Or, depuis la rédaction de ce rapport, deux années supplémentaires de recueil de données scientifiques ont permis d'étoffer la vision obtenue à l'époque. Comme exposé au point 4.1 *supra*, les nouvelles données portent sur :

- le suivi de la population du Bargy par le biais des animaux marqués et du suivi par GPS ;
- les données de génétique de cette population.

Tout d'abord, le suivi populationnel, suite aux opérations de gestion mises en œuvre jusqu'en 2016, a permis d'estimer la taille de la population de bouquetins sur le massif à 290 individus dont 123 individus marqués⁵. La spatialisation des groupes de femelles, mise en évidence par l'actualisation de l'analyse des données GPS, a identifié 5 sous-unités (cf 4.1.2, figure 2) pour lesquelles les données de comptage des bouquetins ne sont pas encore traitées. En l'absence de la répartition précise de la population de bouquetins entre les différents secteurs, les experts ont auditionné les acteurs de terrain qui n'ont pu fournir que des approximations, à prendre avec beaucoup de réserves. Ainsi, selon certains observateurs, environ une moitié de la population se situerait sur les secteurs Grand Bargy et Jallouvre-Peyre et l'autre moitié sur le reste du massif (Petit Bargy, Leschaux-Andrey et Charmieux-Buclon).

La séroprévalence de la brucellose dans la population de bouquetins du Bargy est, elle aussi, variable, ceci quel que soit le sexe, entre ces différents secteurs (cf 4.1.2, figure 3), avec des séroprévalences élevées en zone cœur (secteurs « Grand Bargy », « Jallouvre-Peyre »), faibles en zone périphérique (secteurs « Leschaux-Andrey » et « Charmieux-Buclon ») ; le secteur du « Petit-Bargy » ayant un statut intermédiaire.

Comme développé au point 4.1.2, il est possible d'envisager 2 modalités de transmission de la brucellose dans la population de bouquetins du Bargy :

- La transmission péri-partum et/ou péri-abortum par les femelles, au sein des sous-unités, *a priori* prépondérante dans la transmission de l'infection ;
- La transmission par les mâles *via* la voie sexuelle, entre les sous-unités spatiales, dans une moindre mesure et de manière hétérogène.

⁵ Résultats obtenus suite à l'analyse des données de comptage produites lors de la réalisation d'itinéraires pédestres par l'ONCFS en 2016

Même si des hypothèses sont aujourd'hui explorées, le GT ne dispose pas à ce jour d'explication concernant la différence de prévalence entre les secteurs.

Les données issues du suivi populationnel suggèrent également que les groupes de femelles se réapparaissent suite à une diminution importante du nombre d'individus. En effet, après les opérations d'abattage de 2013, la taille moyenne des groupes de femelles et jeunes n'a pas diminué malgré une forte diminution de l'effectif total de la population, ce qui suggère des réorganisations sociales au sein de ces groupes (Marchand et al., 2015). En revanche, il n'y a pas eu d'observation de mouvements importants d'individus d'un secteur à un autre suite aux opérations conduites sur le massif du Bargy (abattages et captures).

Par ailleurs, le suivi GPS montre qu'un nombre faible d'individus se déplace entre le massif du Bargy et celui des Aravis. Cette observation est confirmée par l'analyse des données de génétique. Selon le suivi GPS, ces mouvements ne concerneraient que des mâles, dont l'âge est jusqu'ici compris entre 5 ans et 9 ans, mais cela reste à confirmer avec le suivi d'un effectif plus important.

Enfin, l'analyse des données de génétique pose la question (non encore résolue) du rôle que pourrait jouer le gène SLC11A1 dans la résistance du bouquetin à la brucellose. Compte tenu de la répartition des différents allèles de ce gène dans la population du Bargy, les travaux préliminaires conduits dans ce domaine suggèrent que les facteurs génétiques jouent probablement un rôle secondaire dans la structuration spatiale de l'infection, par rapport à d'autres facteurs non encore identifiés.

En outre, le rapport Anses 2015 mettait en avant le caractère particulier de la situation sanitaire du massif du Bargy, qui avait été qualifiée comme étant « *en totale rupture [...] par rapport à toutes les expériences documentées à ce jour en matière de brucellose sur les ongulés de montagne* » en Europe. Néanmoins, les nouvelles connaissances révélées depuis 2 ans confirment certains traits épidémiologiques classiques de la brucellose (rôle différent des mâles et des femelles ; impact sur les avortements s'estompant après la primo-infection). En particulier, la caractérisation en 2012-2013 d'une structure des âges en « pyramide inversée » (prépondérance des mâles âgés de plus de 6 ans / quasi absence des jeunes générations) conjointement à la valeur anormalement basse du ratio cabri / femelle de 2013, avait fait émettre une hypothèse d'un impact lourd sur la fonction reproductrice (avortement ou non reproduction de l'ensemble des femelles). Or les suivis 2014 – 2015 – 2016 ont montré que ce ratio cabri / femelle était quasiment normal, ce qui dément la persistance d'un effet abortif sur plusieurs années chez les femelles contaminées par la brucellose.

En conclusion, les experts ont estimé que ces informations étaient de nature à modifier l'appréciation portée sur l'épidémiologie du foyer, en particulier au regard de la sectorisation de la prévalence, et rendaient pertinent un nouvel examen des mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy en vue de leur réactualisation.

Aussi, les experts ont-ils retenu comme principes de travail les préalables suivants :

1. les experts ont pris en compte la spatialisation de la population en proposant des stratégies de gestion pour la plupart sectorisées, en regroupant les secteurs de même niveau de séroprévalence pour tenir compte des connaissances acquises par les suivis des populations (voir 4.2.4.3) ;
2. le recul obtenu après 2 années supplémentaires d'études et d'interventions sur ce foyer offre l'opportunité de mettre à jour les scénarios à évaluer, sur le principe de la « gestion adaptative » (voir 4.2.3.1). Il convient également de souligner que la lutte contre les maladies de la faune sauvage s'inscrit dans la durée et requiert un plan d'action sur plusieurs années, ce dernier pouvant être adapté au fil des ans, en fonction des données de surveillance.

3. Les experts rappellent que l'absence de nouveau cas de brucellose en élevage dans ce secteur confirme le niveau de risque de contamination d'un animal domestique à partir des bouquetins qui avait été qualifié, dans le rapport de l'Anses 2015, de « quasi-nul » à « minimale » (1 à 2 sur 9 selon l'échelle Afssa)

Les points 2 et 3 permettent de considérer que cette gestion de la brucellose chez le bouquetin du Bargy ne revêt pas de caractère d'urgence et doit être envisagée à moyen (5-10 ans) et/ou long terme (> 10 ans).

4.2.2. Incertitudes

Toute évaluation de risque et/ou d'options de gestion comporte de l'incertitude qu'il convient d'identifier et de décrire.

4.2.2.1 Incertitude épistémique

De nombreuses limites de connaissances freinent la capacité du GT à évaluer avec précision l'impact des différentes options de gestion sur l'évolution de la brucellose chez les bouquetins du massif du Bargy. Ceci est d'autant plus vrai que la population du Bargy n'était pas suivie de 1999 (date supposée de l'émergence de la brucellose dans cette population de bouquetins), à 2012 (date de la mise en évidence des premiers cas).

- **Déterminant(s) de la différence de prévalence entre secteurs** : si les études récentes ont montré la sectorisation des groupes de femelles bouquetins et identifié une différence de prévalence entre les secteurs, le ou les facteurs à l'origine de cette différence de prévalence ne sont pas encore connus aujourd'hui.
 - L'hypothèse génétique ne semble pas pouvoir expliquer cette différence : en effet, les résultats ne montrent pas de différenciation génétique significative entre les 4 unités socio-spatiales de la chaîne principale du Bargy (Charmieux-Buclon, Grand Bargy, Jallouvre-Peyre et Petit Bargy). Seule la cinquième unité (Leschaux/Andey) est significativement différente de celle de la chaîne principale, ce qui suggère que le flux historique de gènes entre ces deux noyaux de populations est limité. Le fait que cette population de Leschaux-Andey soit plus « isolée », pourrait éventuellement contribuer à expliquer la faible séroprévalence sur ce secteur. Mais la faible séroprévalence dans le secteur de Charmieux-Buclon ne peut avoir la même explication.
 - Par ailleurs, en ce qui concerne le gène de l'immunité SLC11A1 (dont le rôle dans la résistance du bouquetin à la brucellose n'est pas encore démontré), ses fréquences alléliques, si elles sont significativement en lien avec le statut séropositif/séronégatif, ne sont pas corrélées avec la sectorisation de l'infection. Cela suggère donc que les facteurs génétiques jouent probablement un rôle secondaire dans la dynamique de l'infection par rapport aux aspects écologiques (utilisation de l'espace; partie 4.1.2) ainsi que d'autres facteurs non encore identifiés.
 - L'hypothèse écologique (relation hôte-environnement-pathogène) n'a pas été suffisamment explorée jusqu'à présent pour fournir les connaissances nécessaires. La plus faible prévalence dans certains secteurs peut en effet être liée à des différences d'habitat, à une moindre densité des animaux sur les lieux à risque de transmission, etc.
 - Chez le chamois, le cantonnement pendant plusieurs années de l'infection brucellique sur les lieux d'apparition initiale du foyer sans extension géographique (Gauthier *et al.*, 1998), avait fait émettre l'hypothèse d'un maintien privilégié au sein de groupes fidèles à une certaine utilisation de l'espace, transmise par apprentissage entre générations ;

- Cette structuration spatiale pourrait résulter d'une dynamique épidémiologique de type « métapopulation » dans laquelle le secteur central (Grand Bargy et Jallouvre-Peyre), qui est le plus utilisé par les mâles, connaîtrait la transmission locale la plus forte et serait une source d'infection pour les secteurs périphériques. Mais cette hypothèse nécessiterait d'être confirmée.

La connaissance du (des) déterminant(s) de cette différence de séroprévalence entre secteurs est cependant un prérequis indispensable à l'évaluation de l'impact d'options de gestion, sur l'évolution de la brucellose dans la population de bouquetins du massif. En effet, seule la connaissance des mécanismes intervenant dans l'épidémiologie de l'infection entre secteurs, permet d'évaluer la pertinence, l'efficacité et les effets secondaires d'options de gestion, y compris lorsqu'elles sont ciblées sur certains secteurs. Différentes expériences de gestion d'infections enzootiques⁶ dans la faune sauvage au niveau international soulignent l'importance de la prise en compte de l'écologie de l'hôte dans le contrôle des maladies infectieuses dans la faune sauvage (Delahay *et al*, 2009 ; Gortazar *et al*, 2016) ; Mc Donald *et al*, 2007 ; Miller *et al*, 2013 ; Proffitt *et al* 2010).

L'absence de données confirmées susceptibles d'expliquer les différences de séroprévalence entre secteurs fait peser un poids important sur le niveau d'incertitude de la présente évaluation.

- **Connaissance et évolution des effectifs et des groupes sociaux par secteur** : les effectifs initiaux et actualisés de bouquetins dans les différents secteurs, de même que la composition initiale des groupes sociaux et leur évolution au gré des opérations de gestion, ne sont pas disponibles au moment du traitement de la présente saisine.

Ce manque de connaissance limite fortement la capacité du GT à évaluer les différentes options de gestion, en l'absence de données chiffrées à confronter aux hypothèses d'abattage et/ou d'élimination sélective dans les différents secteurs.

La question de l'évolution des groupes sociaux, suite aux opérations de gestion antérieures, est également importante à étudier. En effet, les experts considèrent que les abattages ou euthanasies, effectués en nombre au cours de ces dernières années, ont pu conduire à la reconstitution de nouveaux groupes sociaux, par mélange d'animaux issus de différents groupes (l'hypothèse serait qu'en cas de baisse des effectifs, les groupes sociaux de bouquetins gardent la même taille, impliquant un mélange d'animaux). Ce phénomène, s'il était confirmé, pourrait faciliter la transmission et l'entretien de l'infection.

L'absence de ces données de population contribue aussi au niveau d'incertitude de la présente évaluation.

- **Données de séroprévalence réactualisées** : plusieurs mesures de gestion ont été engagées en 2015, portant à la fois sur la capture et l'euthanasie sélective de 125 bouquetins et sur l'abattage indiscriminé de 70 animaux non marqués. Les effets de ces mesures de gestion, à la fois sur la séroprévalence et sur les populations de bouquetins ne sont pas connus au moment de la présente évaluation. En outre, le nombre de captures ayant pu être réalisé en 2016 et 2017 est faible (une vingtaine de captures par an réparties sur l'ensemble du massif, Tableau 1) et ne permettra de toute façon pas d'estimer une valeur actualisée de la séroprévalence dans chaque secteur.

⁶ Les experts considèrent l'infection brucellique des bouquetins du massif du Bargy comme une enzootie, dans la mesure où cette infection est établie dans la population et s'y maintient depuis plusieurs années.

Cette absence d'éléments sur l'évolution de la séroprévalence ne permet d'évaluer correctement (en termes séroprévalence) l'impact des mesures de gestion réalisées depuis 2015.

Par ailleurs, les données sur le statut sanitaire des bouquetins marqués dans les différents secteurs, ne sont pas suffisantes pour disposer d'une estimation précise du taux d'incidence de la brucellose dans cette population particulière de bouquetins qui, lorsqu'ils ont été marqués, étaient séronégatifs mais qui ont pu être contaminés depuis leur capture. Un taux d'incidence de 8 à 10 cas pour 100 individus.années a été estimé par le biais des différentes captures-recaptures qui ont été réalisées de 2013 à 2015, mais cette estimation comporte un niveau d'incertitude élevé.

L'absence de connaissances sur le statut initial du système et sur les conséquences écologiques et épidémiologiques des opérations de gestion entreprises est un facteur d'incertitude important pour le GT qui souligne le caractère indispensable d'une surveillance pérenne permettant d'adapter la gestion à la réponse des populations sauvages.

4.2.2.2 Incertitude méthodologique

Différents points liés aux méthodes employées dans l'étude de l'épidémiologie de la brucellose chez les bouquetins et dans l'évaluation des scénarios de gestion contribuent au niveau d'incertitude de la présente évaluation.

- **Modélisation de la dynamique de la brucellose dans la population de bouquetins du Bargy** : les travaux de thèse en cours, réalisés sous la co-direction de l'ONCFS, de l'Université Claude Bernard Lyon 1, VetAgroSup Lyon et de l'Anses, reprennent et approfondissent les travaux de modélisation initiés par l'Anses pour le rapport 2014-SA-0218, en y intégrant la spatialisation du risque. Ces travaux ne seront pas disponibles avant fin 2018. Le GT ne peut donc pas approcher l'évaluation des options de gestion de façon quantitative.

Seule l'approche qualitative et théorique est donc envisageable pour le traitement de la présente saisine.

Le rapport tout récent sur la brucellose dans la Greater Yellow Stone Area (The National Academies of sciences, engineering and medicine, 2017) recommande que la modélisation soit utilisée pour caractériser et quantifier le risque de transmission de la maladie dans la faune sauvage, ce qui requiert la compréhension des mécanismes spatio-temporels impliqués dans l'épidémiologie de la maladie. Il convient de souligner que les manques de connaissances évoqués à ce sujet pèsent aussi sur l'incertitude des résultats du modèle.

Ainsi, les experts soulignent que les manques de connaissances sur l'épidémiologie de la maladie pèsent sur toute l'évaluation, quelle que soit la méthode employée.

- **Echantillonnage des animaux pour prélèvements**: l'étude et la surveillance des maladies de la faune sauvage se heurtent toujours au problème de représentativité des échantillons réalisés, compte tenu des grandes difficultés rencontrées dans la récolte des prélèvements (biais d'échantillonnage car les animaux ne sont en réalité jamais prélevés « au hasard », animaux difficiles à capturer, prises de sang difficiles à réaliser lorsqu'il s'agit de cadavres, qualité irrégulière des prélèvements *in situ*, commémoratifs irrégulièrement renseignés, ...) et des très importants moyens requis pour leur réalisation.

De ce fait, l'extension à la population des valeurs de prévalence, ainsi mesurée, doit toujours s'accompagner d'une grande réserve, en soulignant l'incertitude sur ces résultats.

- **Méthodes d'analyse** : Actuellement la sérologie est l'unique moyen dont disposent les acteurs pour identifier les animaux à risque d'excrétion au chevet de l'animal, en l'absence de signes cliniques. Malgré la bonne performance des tests, comme dans toute démarche de dépistage ou de diagnostic, il subsiste une incertitude sur l'interprétation du résultat (risque de quelques faux positifs ou faux négatifs).

Comme l'indique le rapport de l'Anses relatif au test sérologique *in situ* utilisé sur les bouquetins (Anses 2014) :

« La sensibilité et la spécificité analytiques du test sont conformes à celles attendues de l'ELISA indirect, test le plus sensible disponible actuellement pour la détection des anticorps anti-brucelliques chez les petits ruminants domestiques ;

Sensibilité et spécificité diagnostiques n'ont pu être établies précisément pour ce test faute de populations animales de statut connu au regard de l'infection brucellique et en nombre suffisant. Des résultats positifs par excès ou négatifs par défaut ne peuvent donc être exclus, mais ces derniers pourraient être rapidement identifiés par les tests EAT et FC réalisés par la suite en laboratoire.

En revanche, en comparaison avec les tests sérologiques reconnus chez les petits ruminants, les performances du test rapide semblent adaptées au dépistage de la brucellose chez le bouquetin, notamment pour les animaux présentant une réponse sérologique importante, témoignant d'une infection brucellique très probable.

Le test semble donc pouvoir être mis en œuvre dans le cadre d'une stratégie de contrôle de type sanitaire.» (Anses, 2014).

L'incertitude liée aux méthodes d'analyse est donc considérée comme faible par le GT dans la présente évaluation.

Compte tenu de ces différents éléments d'incertitude et notamment du manque de connaissances sur des points cruciaux de la compréhension de l'épidémiologie de la brucellose chez les bouquetins du massif du Bargy, **le GT souligne que la présente évaluation ne peut être effectuée qu'avec une incertitude très élevée.**

4.2.3. Surveillance

Les experts insistent sur l'importance, quel que soit le scénario de gestion choisi, de maintenir une surveillance de l'infection brucellique dans la population de bouquetins sur l'ensemble du massif pendant les opérations de gestion mais également les années suivantes, dans un objectif avant tout opérationnel : la surveillance doit permettre d'évaluer l'effet des stratégies de gestion mises en œuvre.

4.2.3.1 Surveillance et gestion adaptative

Cette surveillance doit produire suffisamment d'informations pour pouvoir appliquer le principe de « gestion adaptative » consistant à évaluer et adapter les mesures de gestion mises en place, en fonction de la réponse des populations sauvages.

Ce mode de gestion implique une évaluation régulière des mesures mises en œuvre en regard de l'évolution de la situation épidémiologique et des connaissances scientifiques conduisant, si nécessaire, à une adaptation appropriée de ces mesures. Cette notion de gestion adaptative, classique dans la lutte contre les maladies animales chez les animaux domestiques, a été introduite dans les sciences de l'environnement pour la gestion des ressources naturelles à la fin des années 70 (Holling 1978, Walters et Hilborn 1978). Elle est définie ainsi : la gestion adaptative est un « *processus flexible de prise de décisions qui est ajustable au regard des incertitudes, au fur et à mesure que les résultats des actions de gestion et d'autres événements sont mieux compris. Un suivi attentif de ces résultats permet à la fois de faire avancer la compréhension scientifique et d'aider à ajuster les politiques ou les interventions dans le cadre d'un processus d'apprentissage itératif* » (National Research Council 2004, Williams et Brown 2014). Elle est

particulièrement utile dans le cas de systèmes naturels qui répondent aux actions intentées, mais pour lesquels des sources d'incertitude existent quant aux processus qui gouvernent ces systèmes et à l'effet des actions mises en place (Williams, Szaro, et Shapiro 2012).

Ce processus adaptatif s'applique également dans la gestion des maladies de la faune sauvage, et permet d'améliorer, voire de réorienter les scénarios de gestion en tirant parti des résultats obtenus sur les populations sauvages par les précédents scénarios (The National Academies of sciences, engineering and medicine, 2017).

On peut d'ailleurs remarquer que le processus de gestion adaptative semble déjà engagé dans le cas de la brucellose des bouquetins du massif du Bary : la mise en évidence de connaissances nouvelles, à savoir la structuration spatiale des niveaux de prévalence, est à l'origine d'une évolution de la gestion vers des mesures adaptées dans les différents secteurs identifiés.

Par ailleurs, dans un contexte de moyen-long terme, une condition essentielle est que l'ensemble des organismes et des parties prenantes soutienne les options prises (Treanor et al. 2013). Ainsi, pour proposer des scénarios de gestion au fil des années, il paraît essentiel d'organiser une concertation entre les parties prenantes, qui puisse se dérouler sur le long terme jusqu'à la fin de la crise.

4.2.3.2 Surveillance et levée des incertitudes épistémiques

Par ailleurs, en raison de l'incertitude épistémique très élevée persistant sur la brucellose des bouquetins du massif du Bary, la surveillance doit également permettre d'acquérir les éléments de connaissance manquants sur l'épidémiologie de la maladie dans ce massif. Cette levée, au moins partielle, des incertitudes systémiques présente un objectif opérationnel (et non pas seulement de recherche scientifique), car elle permet d'améliorer l'évaluation des options de gestion et la pertinence des adaptations proposées dans le cadre de la gestion adaptative.

Cette surveillance devra reposer sur la capture et le dépistage systématique du statut sérologique individuel, *in situ*, sur l'ensemble des secteurs où des opérations de gestion seraient susceptibles d'avoir un impact (direct ou indirect), d'un nombre d'individus suffisant pour que la prévalence puisse être estimée entre 2 opérations de gestion avec une précision suffisante. Les individus positifs au test de dépistage seront euthanasiés. Cette surveillance devrait porter sur des animaux marqués et non-marqués. En revanche, compte tenu de la séroconversion tardive, suite à une infection *in utero* ou au jeune âge, du fait de la biologie de l'infection, le dépistage sérologique ne devrait préférentiellement cibler que les animaux de plus de 2 ans.

En outre, de nouveaux dispositifs de capture pourraient être progressivement mis en place en vue de pallier l'augmentation de la distance de fuite décrite par les acteurs de terrain. Il existe en effet différentes solutions de capture alternatives à la téléoanesthésie, qu'il serait très utile d'envisager en suscitant un échange sur les pratiques des différentes équipes européennes.

Dans le cas où les mesures de gestion intègrent l'abattage indiscriminé (tir à distance sans dépistage préalable), les experts soulignent l'importance de réaliser, sur le maximum de cadavres, des prélèvements et recueil de données selon un protocole à définir.

Idéalement, les experts recommandent de conduire cette surveillance tous les ans. Cependant, si les résultats de cette surveillance sont favorables (diminution ou stabilisation de la prévalence), une surveillance allégée pourrait alors être mise en place, avec la réalisation de captures de manière sectorisée et pluriannuelle. La surveillance doit être étendue aux massifs voisins, dans les populations de bouquetins et d'autres ruminants sauvages exposées, notamment dans le massif des Aravis.

Quel que soit le scénario de gestion choisi, la mise en place et le maintien d'une surveillance avant, **pendant et après les opérations de gestion est indispensable** au suivi de l'infection brucellique sur ce massif. Cette surveillance doit produire suffisamment d'informations pour pouvoir appliquer le principe de « gestion adaptative » consistant à évaluer et adapter les mesures de gestion mises en place, en fonction de la réponse des populations sauvages. Elle doit également permettre d'apporter des éléments de connaissance manquants afin de lever au mieux l'incertitude sur l'évaluation des mesures de gestion.

Cette surveillance peut reposer sur des opérations de captures avec dépistage et euthanasie des individus séropositifs et, si des abattages indiscriminés sont menés, sur la réalisation de prélèvements sur les cadavres, en vue de connaître leur statut vis-à-vis de l'infection brucellique et leurs caractéristiques biologiques.

Les résultats de cette surveillance permettront, si nécessaire, d'adapter les mesures de gestion appliquées en fonction de l'évolution des connaissances épidémiologiques sur l'ensemble du massif.

4.2.4. Objectif des options de gestion

Les options de gestion ne peuvent être évaluées sans se rapporter à l'objectif qu'elles visent. Même si la saisine porte sur « l'assainissement de la population de bouquetins », le GT rappelle que l'objectif primordial et principal de cette problématique est la **protection de la santé publique, et donc la protection des cheptels domestiques exposés**.

Cet objectif peut être atteint par 3 principales stratégies de gestion :

- Eradication à court terme de l'infection
- Diminution de la prévalence et/ou du nombre d'animaux infectés, en vue (1) de diminuer la probabilité de contact des animaux domestiques avec un bouquetin infecté et (2) d'atteindre un niveau d'infection permettant de tendre vers une extinction naturelle de l'infection
- Surveillance de la population de bouquetins (sans objectif particulier concernant la prévalence) et des cheptels domestiques, avec application de mesures de biosécurité.

4.2.4.1 Terminologie employée

Il est important de préciser les termes utilisés dans le présent chapitre :

- × **Abattage indiscriminé** : abattage obtenu par tir à distance, sans dépistage préalable de l'infection brucellique chez les animaux. Le statut sérologique de l'animal est donc inconnu au moment de la mise à mort. L'objectif est de réduire à la fois la densité des individus sensibles et des infectieux, sans modifier la prévalence ;
- × **Elimination sélective** : capture d'un maximum d'animaux avec un objectif de réduction de la prévalence, associée à un dépistage systématique des animaux capturés et euthanasie des animaux séropositifs. Le statut sérologique de l'animal est donc connu au moment de la mise à mort. Les animaux séronégatifs sont marqués et relâchés ;
- × **Surveillance** : capture d'un échantillon représentatif d'animaux avec un dépistage systématique de ces animaux (associé cependant à une euthanasie des animaux séropositifs) en vue de déterminer la séroprévalence dans la population suivie.

4.2.4.2 Peut-on s'attendre à une éradication à court terme ?

Les experts considèrent que l'objectif d'éradication à court terme (c'est-à-dire l'obtention d'une population assainie avec certitude dans un délai de 3-5 ans) n'est pas envisageable pour les scénarios étudiés dans le présent rapport car :

- il n'existe pas de cas documenté d'éradication d'une infection enzootique de brucellose dans des populations sauvages. L'expérience vécue aux USA avec l'infection à *Brucella abortus* dans la Greater Yellow Stone Area, touchant des populations sauvages de bisons (*Bison bison*) et de wapitis, (*Cervus canadensis*), montre que de nombreuses mesures de gestion testées depuis plus de 20 ans n'ont pas permis d'éradiquer l'infection (The National Academies of sciences, engineering and medicine, 2017).

La situation des Etats-Unis est toutefois sans commune mesure en termes d'ampleur avec celle du Bargy : il s'agit d'une zone de 400 par 200 km, dans laquelle la brucellose est présente depuis au moins 1917, peuplée de 5 500 bisons infectés à 60% et de 125 000 wapitis infectés, de 10 à 40% selon les zones. Cependant, les experts soulignent les parallèles qui peuvent être faits en matière de problématique et d'objectifs.

- Dans le rapport de l'Anses 2015, les seuls scénarios qui offraient des perspectives d'éradication sur un temps relativement court (5 ans pour les plus optimistes) intégraient la vaccination.

4.2.4.3 Peut-on s'attendre à observer une diminution de la prévalence suivie d'une extinction spontanée de l'infection ?

Plusieurs scénarios étudiés dans le présent rapport visent à obtenir une diminution du nombre d'animaux infectés, sous un certain seuil en-deçà duquel il y aurait une forte probabilité d'extinction de l'infection. Cette extinction est-elle possible ?

L'évolution d'une infection dans une population sauvage dépend, à des degrés divers, de 3 facteurs : la prévalence dans la population, la densité des individus réceptifs et les modalités de transmission de l'infection entre individus, elle-même dépendante du comportement des animaux et de la relation hôte-agent pathogène-environnement.

Dans la zone cœur, la prévalence est restée très élevée entre 2012 et 2015. Le GT n'envisage aucunement la possibilité d'une extinction naturelle de l'infection dans cette zone dans l'état actuel des choses. Il convient donc d'analyser si les scénarios de gestion envisagés peuvent agir sur les facteurs conditionnant l'évolution de l'infection, dans le sens de son extinction à terme.

La question de l'extinction de l'infection dans le cas présent est directement liée à celle de l'évolution du statut épidémiologique de cette population sauvage, actuellement réservoir de la brucellose. Plusieurs cas décrits dans des populations sauvages (Gortazar, 2011 ; Afssa, 2009) montrent qu'une espèce animale peut être réservoir ou simple hôte de liaison (ou « spillover ») pour certaines maladies infectieuses, selon la situation épidémiologique de l'infection (densité, modalités de transmission, prévalence, ...). Différentes opérations appliquées dans ces expériences de gestion de foyers infectieux dans la faune sauvage, montrent qu'en diminuant notamment la prévalence sous un certain seuil, l'espèce sauvage concernée peut passer de l'état de réservoir à celui de simple hôte de liaison et, si aucune autre espèce animale ne reprend le rôle de réservoir, l'infection parvient alors à s'éteindre.

De même, la littérature relative à des cas de brucellose chez des ongulés sauvages de montagne en France, en Italie ou en Espagne (Bassano et al, sous presse ; Gauthier, Hars, et Rossi 1998 ; Ferroglio et al, 2003 ; Godfroid et al. 2013 ; Gortázar et al. 2007 ; Leon-Vizcaino 1991 ; Munoz et al. 2010) montre que des situations d'infection à faible niveau de prévalence n'ont pas été caractérisées par une tendance à l'extension au sein de la population et ont évolué plutôt vers l'extinction spontanée à l'échelle d'une génération d'animaux (Annexe 2 du rapport de l'Anses 2015).

Se posent alors deux questions :

- Quel niveau de prévalence atteindre pour parvenir à une probabilité d'extinction élevée ? Il n'est pas possible pour le GT de répondre à cette question aujourd'hui. Cependant, le modèle évoqué au point 4.2.2.2 devrait permettre d'approcher une réponse.

- Par quel(s) moyen(s) de gestion obtenir durablement une baisse de l'incidence (vitesse d'apparition des nouveaux cas dans la population) ? Est-ce en diminuant fortement la densité de population ? En éliminant sélectivement les animaux infectés ? En ciblant certains groupes sociaux ? Ou en ciblant certains secteurs ?

La réponse à ces questions dépend essentiellement des caractéristiques écologiques et épidémiologiques de la transmission de la brucellose dans la population de bouquetins du Bargy et notamment de l'importance relative des 3 facteurs conditionnant l'évolution de l'infection, que sont la prévalence dans la population, la densité des individus et les modalités de transmission de l'infection entre individus

Si intuitivement il peut paraître intéressant de réduire la densité des individus dans une population pour obtenir une baisse de l'incidence et s'attendre à une extinction de l'infection, ceci n'est possible que si le facteur « densité de population » est prépondérant dans la dynamique de l'infection. Or, certains éléments récemment mis en évidence comme la sectorisation des femelles et le rôle vraisemblablement important de la transmission de la brucellose au sein des groupes matriarcaux dans les sous-unités et la transmission par les mâles entre les sous-unités, ainsi que l'hypothèse (non encore vérifiée) de la constance de la taille des groupes de femelles à travers les différentes opérations de gestion, tendent à souligner que les autres facteurs de la dynamique d'infection, comme les modalités de transmission, pèsent de manière importante, sans qu'il soit possible de le quantifier, dans l'évolution de l'infection.

Ainsi, une diminution seule de la densité des animaux dans la population de bouquetins du Bargy ne s'accompagnera pas forcément de la réponse attendue en matière de diminution de la prévalence, en dessous d'un seuil permettant de tendre vers l'extinction.

En conséquence, cet objectif d'extinction reste aujourd'hui très difficile à évaluer en termes de probabilité de réussite. En effet, les conditions pour atteindre cet objectif ne sont pas connues à l'heure actuelle :

- Il est nécessaire de faire baisser la prévalence dans la population, mais les conditions à atteindre pour augmenter la probabilité d'extinction de la maladie (en termes de densité et de nombre d'infectés), ne sont pas estimées quantitativement ;
- Les options de gestion à privilégier pour obtenir une baisse durable de la prévalence ne peuvent être précisées, l'importance relative de chacun des facteurs de la dynamique d'infection étant aujourd'hui mal connue.

L'éradication de la brucellose chez les bouquetins du Bargy à court terme n'est pas atteignable du point de vue des experts. Seules les autres stratégies ont été discutées et prises en compte, soit isolément, soit combinés dans le temps et dans l'espace. Les experts soulignent cependant toutes les inconnues qui persistent aujourd'hui et empêchent notamment de préciser la meilleure façon d'atteindre une situation épidémiologique permettant de rendre plus probable une extinction de l'infection, l'importance relative de chacun des facteurs de la dynamique d'infection (prévalence, densité de population, modalités de transmission de l'infection) étant aujourd'hui mal connue.

4.2.5.Scénarios évalués

Dans la note de réponse à la première question de la saisine complémentaire, adressée aux pétitionnaires le 12 mai 2017, les experts avaient répondu qu'ils considéraient que les nouvelles informations disponibles étaient susceptibles de modifier l'évaluation du risque réalisée dans le rapport de l'Anses 2015.

Dans la continuité de cette réponse, les experts se sont attachés d'abord à examiner, en premier lieu, l'impact des nouvelles données sur la pertinence des scénarios proposés dans le rapport de 2015. Ceux-ci sont qualifiés par le GT de « scénarios non sectorisés », dans la mesure où ils s'appliquaient de façon indifférenciée, quels que soient les secteurs. Tenant compte des nouvelles informations faisant état d'une sectorisation de la prévalence, les experts ont estimé qu'il n'était plus pertinent de raisonner sur des scénarios incluant des opérations de gestion de la population de bouquetins non différenciées par secteur. Ainsi, les scénarios du rapport 2015 n'ont pas été réévalués. Seul le scénario ne prévoyant pas d'opérations de gestion sur la population de bouquetins, basé sur la surveillance et la mise en œuvre de mesures de biosécurité, a été réévalué.

Le GT a ensuite conduit une évaluation des scénarios prenant en compte une sectorisation des opérations de gestion (qualifiés de « scénarios sectorisés », c'est-à-dire plus ou moins différenciés selon les secteurs), au premier rang desquels se situe le scénario d'« abattage indiscriminé en « zone cœur » des animaux non-marqués et élimination sélective en « zone périphérique », correspondant au scénario proposé par la préfecture de Haute-Savoie, ainsi que l'indique la saisine complémentaire (cf annexe 2).

4.2.5.1 Scénario non sectorisé : surveillance et biosécurité

Le scénario étudié consiste en une surveillance *ad hoc* de la population de bouquetins du Bargy, sans mise en place de mesures de gestion. Cette surveillance (capture, test sérologique, euthanasie des séropositifs et marquage et lâcher des séronégatifs), porterait sur un nombre d'individus et avec un rythme à définir, selon les moyens disponibles et les besoins pour apprécier l'évolution de la séroprévalence.

Ce scénario ne répond pas à des objectifs de réduction de la pression infectieuse ou d'extinction de la maladie sur le long terme, puisqu'il n'influe pas forcément sur la dynamique de l'infection. Il offre seulement la perspective de suivre l'évolution de l'infection dans la population des bouquetins du Bargy. En permettant, à terme, une meilleure connaissance de la dynamique de l'infection et en améliorant la connaissance des facteurs contribuant à son développement, il peut contribuer à lever les incertitudes précédemment évoquées et à définir les modes de gestion les plus appropriés.

L'objectif de ce scénario peut être aussi de minimiser les coûts de la lutte contre la brucellose des bouquetins du massif du Bargy et les risques d'accidents humains (liés aux interventions sur les bouquetins) en acceptant le risque lié à la cohabitation entre bouquetins infectés et espèces domestiques indemnes. Ainsi, ce scénario présente un meilleur rapport coût/bénéfice en termes de risque global pour l'homme (risque d'accident lors des captures / risque de cas humain de brucellose), avec d'autres scénarios plus interventionnistes.

La persistance de l'infection brucellique dans la population des bouquetins du Bargy brucellique implique cependant celle d'un risque de contamination des ruminants domestiques. Or, le risque de contamination des ruminants domestiques par les bouquetins a été considéré comme « quasi nul à minime » (1 à 2 sur une échelle de 0 à 9). En effet, malgré une prévalence très élevée de l'infection et sa présence probablement ancienne chez les bouquetins (la souche actuelle, identique à celle circulant chez de petits ruminants en 1999, plaide en ce sens, MICK et al., 2014), un seul foyer de brucellose sur des animaux domestiques a été enregistré depuis 17 ans et ceci probablement en l'absence de mesures spécifiques de biosécurité pendant au moins la période de 1999 à 2012. Dans le même temps, des situations potentiellement propices à la transmission de la brucellose à partir des bouquetins ont été observées de façon régulière, en particulier vis-à-vis des caprins (espèce la plus proche des bouquetins) estivant dans la zone identifiée comme la plus infectée du massif, avec des cohabitations rapprochées couramment observées lors du suivi 2012-2015 et des suspicions d'accouplements conduisant à la naissance d'hybrides bouquetins – chèvres selon les dires du propriétaire. De nombreux ovins non parqués sont aussi présents dans

des sites fréquentés par les bouquetins. Pourtant aucune trace d'infection n'a été identifiée sur ces cheptels.

Ce scénario conduit à terme à une augmentation prévisible du nombre d'animaux infectés, corrélativement à l'augmentation de la taille de la population. Cependant, les experts considèrent que le risque de transmission aux ruminants domestiques devrait rester très bas et ainsi l'objectif de prévention de la transmission aux cheptels domestiques et donc de préservation de la santé publique pourrait être pérennisé.

Le risque de contamination des bouquetins aux ruminants domestiques pourrait encore être réduit (comme indiqué dans le précédent avis de Anses 2015 : scénario 1.1) par l'optimisation des mesures de biosécurité en élevage dans les alpages visant à limiter les interactions entre bouquetins et ruminants domestiques. Dans ces conditions, et en maintenant des mesures de surveillance renforcée des troupeaux, le risque pour la santé publique serait encore inférieur à celui de la contamination des ruminants.

Les experts estiment que ce scénario maintient toutefois un risque de dispersion de l'infection brucellique à des animaux d'autres massifs (Aravis notamment) mais dans l'ignorance où ils sont de la situation actuelle dans ces massifs, l'infection y étant déjà peut être installée, ce risque ne peut pas être estimé. Cela étant, ils estiment que si la brucellose avait déjà diffusé dans les populations de bouquetins présents dans le massif des Aravis, le risque pour les élevages de ce massif (compte tenu des densités respectives d'élevages et de bouquetins) et, à terme pour la santé publique, ne serait pas supérieurs à celui estimé dans le Bargy.

En résumé, les experts considèrent que les nouvelles données disponibles (modification de la taille et de la structure de la population, avec augmentation du nombre d'animaux marqués, répartition de la population et sectorisation de la prévalence) ne justifient pas de ré-évaluer les scénarios incluant des opérations de gestion de la population de bouquetins non différenciées par secteur.

Seul le scénario basé sur la surveillance et la mise en œuvre de mesures de biosécurité et ne prévoyant pas d'opérations de gestion sur la population de bouquetins, a été réévalué. Le GT souligne que ce scénario consistant à cesser toute action d'abattage de la population des bouquetins du Bargy (hormis l'euthanasie des sujets trouvés positifs lors des captures de la surveillance), en maintenant une surveillance adaptée, pourrait être envisagé pour minimiser les coûts et les risques humains liés aux interventions, tout en permettant de suivre l'évolution de l'infection dans la population des bouquetins du Bargy. Ce scénario ne répond pas à des objectifs de réduction de la pression infectieuse ou d'extinction de la maladie sur le long terme, puisqu'il n'influe pas forcément sur la dynamique de l'infection. En apportant, à terme, une meilleure connaissance de la dynamique de l'infection et en améliorant la connaissance des facteurs contribuant à son développement, il peut conduire à lever les incertitudes précédemment évoquées et à définir les modes de gestion les plus appropriés.

Ce scénario conduit à terme à une augmentation prévisible du nombre d'animaux infectés corrélativement à l'augmentation de la taille de la population. Cependant, les experts considèrent que le risque de transmission aux ruminants domestiques devrait rester très bas et ainsi l'objectif de prévention de la transmission aux cheptels domestiques et donc de préservation de la santé publique pourrait être pérennisé.

Il serait certainement d'un meilleur rapport coût/bénéfice en termes de risque global pour l'homme (risque d'accident lors des captures / risque de cas humain de brucellose), que d'autres scénarios plus interventionnistes.

Le maintien d'un risque de dispersion de l'infection à d'autres massifs (qui n'est pas spécifique à ce scénario) implique de mettre en œuvre une surveillance sur les massifs voisins.

4.2.5.2 Scénarios sectorisés

Les scénarios étudiés ci-après prennent en compte la répartition spatiale des groupes de bouquetins femelles dans le massif du Bargy et la sectorisation de la prévalence associée. Pour rappel, les différents secteurs considérés sont (cf figure 2) :

- × Les secteurs à forte prévalence : Jallouvre-Peyre et Grand Bargy (n°3 et 4, Figure 2) ;
- × Les secteurs à faible prévalence : Leschaux-Andey et Charmieux-Buclon (n°1 et 2) ;
- × Un secteur à prévalence intermédiaire : le Petit Bargy (n°5).

Ces scénarios sont prévus pour être mis en place sur une période de 2 à 3 ans, et supposent le maintien de la surveillance sur l'ensemble du massif dans les années suivantes, afin de pouvoir éventuellement envisager des mesures de gestion considérées plus pertinentes au vu de l'évolution de la prévalence.

A. Scénario d'abattage indiscriminé en zone cœur des animaux non marqués et élimination sélective en zone périphérique

L'évaluation de ce scénario est la question principale du complément à la saisine reçu le 02 mai 2017 (annexe 2), correspondant au scénario proposé par la préfecture de Haute-Savoie.

- **Déroulement :**

La démarche présentée par la préfecture de Haute-Savoie est la suivante :

- abattage indiscriminé de tous les animaux non marqués de plus de 2 ans, présents dans les deux secteurs les plus infectés, soit le Grand Bargy et Jallouvre-Peyre où la prévalence est supérieure à 50%. Compte tenu des estimations pour 2016 et en faisant l'hypothèse que la moitié de la population fréquente ces 2 secteurs (auditions), il concernerait environ 80 animaux hors cabris.

Le noyau de population restant, constitué des animaux marqués (24 femelles affectées à ces 2 secteurs + 57 des mâles marqués qui y ont été capturés, les utilisent fréquemment, mais utilisent aussi le massif plus largement) et des animaux non marqués ayant échappé à l'abattage (y compris les animaux de moins de 2 ans) serait soumis à une élimination sélective par capture des animaux, avec euthanasie des séropositifs, marquage et relâcher des séronégatifs.

Ce noyau serait destiné à repeupler ces deux secteurs.

- élimination sélective dans les secteurs du Petit Bargy (prévalence d'environ 35%), de Leschaux-Andey et de Charmieux-Buclon (prévalence d'environ 10%), appliquée aux animaux présents dans ces secteurs, quels que soient leur âge ou leurs marques.

Ces opérations se dérouleraient sur au moins 3 ans (2017-2019), selon des séquences adaptées aux conditions de terrain et aux ressources disponibles.

Dans tous les secteurs, les animaux capturés et testés séronégatifs seraient vaccinés si les conclusions de l'étude expérimentale se révèlent favorables et dès que les autorisations de vacciner seraient délivrées. Comme indiqué au point 3, les scénarios incluant la vaccination n'ont pas été évalués dans le présent rapport.

- **Faisabilité :**

L'audition des agents de l'ONCFS a révélé que les secteurs du Grand Bargy et de Jallouvre-Peyre sont les secteurs où l'applicabilité des mesures de gestion (abattage et capture) est la moins difficile car ces secteurs sont plus ouverts (Grand Bargy) et moins difficiles d'accès (Jallouvre-Peyre). Pour les autres secteurs, présentant un couvert forestier important (Petit Bargy, Charmieux-Buclon et Leschaux-Andey), les opérations de gestion sont plus difficiles.

Par ailleurs, cette audition a confirmé que les opérations de tirs (abattage indiscriminé) sont beaucoup plus faciles à mettre en œuvre que les opérations de capture (élimination sélective). Cette différence est principalement liée à la distance à laquelle chaque opération peut être réalisée, qui est beaucoup plus grande pour le tir (jusqu'à 200 m) que pour les captures (20-30 m). L'impact de cette différence est d'autant plus important que, suite aux différentes opérations de gestion qui ont eu lieu ces dernières années, les bouquetins du massif ont une distance de fuite en constante augmentation depuis 2012.

Dans ce scénario, il est prévu que les captures soient réalisées dans les secteurs du Petit-Bargy, de Charmieux-Buclon et de Leschaux-Andey qui sont des secteurs boisés et escarpés, dans lesquels les animaux sont plus difficilement visibles. En plus de la détection réduite dans ce milieu, la possibilité de perdre le contact visuel avec les groupes suivis ou les individus fléchés est plus importante qu'en milieu ouvert. Par le passé, les bouquetins capturés dans ces trois secteurs l'ont généralement été dans les quelques zones ouvertes mais il devient très difficile de les capturer dès qu'ils regagnent les barres rocheuses et les zones boisées leur servant de refuge.

En outre, le scénario prévoit pour les secteurs du Grand Bargy et de Jallouvre-Peyre de concentrer l'effort de capture sur les animaux non marqués après l'abattage indiscriminé. Or les auditions ont appris au groupe d'experts qu'une grande majorité des individus non marqués, après les cinq précédentes campagnes de capture, sont aussi les plus farouches, ou ceux qui ne fréquentent que

rarement les zones de capture les plus accessibles. Ces difficultés rendent cette option problématique en termes de faisabilité.

Une autre contrainte associée aux captures est l'obligation de présence d'un vétérinaire dans chaque équipe de capture pour réaliser l'euthanasie des animaux séropositifs. Cette obligation limite le nombre d'équipes et donc la capacité de capture sur le court terme.

En termes de faisabilité, le printemps est la période où ces opérations (abattage ou capture) sont les plus facilement applicables car il s'agit du moment où les bouquetins descendent le plus bas en altitude. Les opérations de gestion sur les secteurs périphériques, où leur applicabilité est difficile, sont également plus efficaces au printemps. En été elles sont rendues impossibles du fait de la vocation touristique de cette région, et en automne, comme en été, ces opérations sont plus délicates, car les animaux se trouvent plus hauts en altitude et moins accessibles.

- **Evaluation**

Le GT rappelle l'incertitude très élevée qui persiste sur la compréhension de l'épidémiologie de la brucellose dans la population de bouquetins.

Les experts soulignent néanmoins :

- l'intérêt de la prise en compte de la diversité des situations de l'infection selon les secteurs du massif, avec des modalités de gestion différentes selon les niveaux de séroprévalence ;
- l'intérêt des mesures de gestion offensives dans les secteurs plus infectés et défensives ailleurs, qui sont les plus à même d'aboutir à une baisse de la séroprévalence dans la zone cœur et à éviter son augmentation dans les zones périphériques ;
- l'intérêt d'un plan sanitaire prévu sur une période de 3 ans, reconnaissant l'impossibilité de l'abattage et/ou de la capture de l'ensemble de la population en un temps plus court ;
- l'existence de fortes contraintes de faisabilité (ressources humaines et matérielles mobilisables, difficultés variables selon la zone, liées notamment à l'accessibilité et au couvert forestier, qui limitent le nombre d'animaux pouvant être abattus ou capturables),
- l'abattage indiscriminé des animaux non marqués dans les secteurs du Grand Bargy et de Jallouvre-Peyre, éliminera un nombre important d'animaux qui ont une forte probabilité d'être infectés, compte tenu de la prévalence dans ces zones. Cela diminuera ainsi la pression infectieuse dans cette zone. Il n'est cependant pas possible d'estimer quantitativement a priori l'impact de cette baisse de pression infectieuse, très dépendant de l'importance des moyens mis en œuvre et de l'épidémiologie de la brucellose :
 - o en zone cœur : la population restante sera constituée à la fois d'animaux marqués, présentant une séroprévalence moindre que les non marqués, mais dont certains auront été infectés depuis leur capture (taux d'incidence annuelle estimée entre 8 et 10%), et d'animaux non marqués, ayant échappé à l'abattage indiscriminé (il est attendu que cet abattage indiscriminé ne pourra pas concerner la totalité des animaux non-marqués, certains animaux n'étant pas visibles/atteignables, notamment dans les zones boisées ou inaccessibles). Les animaux infectés restants pourront transmettre l'infection aux animaux sains, d'autant plus si ces opérations ont lieu au printemps. L'évolution à court terme de l'infection est donc difficile à prévoir. Il est également difficile de prédire si l'infection pourra décroître à moyen-long terme pour tendre vers une extinction. L'incertitude est trop élevée pour permettre au GT de se prononcer sur le court terme comme sur le moyen-long terme.
 - o la réalisation d'une élimination sélective dans les zones périphériques vise à diminuer la prévalence en euthanasiant les animaux capturés et trouvés séropositifs, dans des secteurs où la prévalence est déjà faible (notamment Charmieux-Buclon et Leschaux-Andey). Cette option de gestion paraît théoriquement intéressante : le nombre

d'animaux séropositifs restant est relativement faible, suggérant la possibilité de parvenir à les éliminer. Cependant, de fortes contraintes de faisabilité pourraient amoindrir l'intérêt de cette option de gestion : ces zones périphériques (notamment Leschaux-Andey) sont difficiles d'accès pour les captures, mais aussi et surtout le nombre d'animaux séropositifs est très faible, amenant à un effort de capture important par animal séropositif à éliminer. Il se peut que ce programme d'élimination sélective n'atteigne ainsi pas son objectif. Des moyens très importants devraient donc être dédiés à ces opérations, en faisant probablement appel à d'autres modes de capture.

Compte tenu des difficultés liées à l'abattage et/ou aux captures sur certains secteurs (boisés par exemple) et de l'accroissement de ces difficultés au fur et à mesure des opérations, du fait de la diminution des effectifs ainsi que de l'augmentation de la distance de fuite des bouquetins, il est probable que ce programme doive être prolongé au-delà des 3 ans prévus, notamment pour les captures en zones périphériques. Dans tous les cas, la population de bouquetins devrait, au terme de ces 3 ans, faire l'objet d'une surveillance *ad hoc* (par capture associée à l'euthanasie des séropositifs d'un échantillon significatif dans les différents secteurs du massif), de manière à suivre l'évolution de la séroprévalence de la brucellose et d'en vérifier la diminution progressive espérée.

Ces constats doivent amener le gestionnaire à faire des choix en fonction des moyens disponibles et des contraintes sociétales sur :

- les modalités de mise en place des opérations d'abattage, à savoir sur un laps de temps court (si oui, le choix de la saison : printemps ou automne) ou sur une période étalée dans le temps ;
- la réalisation des opérations d'élimination sélective, soit, en même temps sur les deux secteurs concernés (Charmieux-Buclon et Leschaux-Andey), soit prioritairement sur un secteur puis l'autre dans un second temps. Dans ce cas, le secteur « Charmieux-Buclon », en continuité avec les 3 secteurs de la zone cœur et effectivement fréquenté ponctuellement par les mâles de la zone cœur, paraît prioritaire par rapport au secteur « Leschaux-Andey ».

Concernant les risques associés à ce scénario, les experts estiment que les opérations d'abattage indiscriminé au printemps augmentent le risque de diffusion de la brucellose, car elles interviennent pendant la période des avortements brucelliques (dernier tiers de gestation) et des mises-bas potentiellement infectieuses, au cours de laquelle le risque de transmission semble être le plus élevé. Les opérations d'abattage indiscriminé peuvent en effet conduire à des mouvements d'animaux qui augmentent les contacts intra-spécifiques et la probabilité de contacts avec les sources d'infection. Le risque de réorganisation sociale des groupes ne peut être évalué par manque d'éléments scientifiques établis. Si l'hypothèse de réorganisation sociale venait à être confirmée, cela augmenterait davantage les contacts intra-spécifiques avec des sources d'infection. De surcroît, les conditions de terrain rendent souvent difficiles l'enlèvement de tous les cadavres des animaux abattus (environ un tiers n'a pas été récupéré lors des abattages d'octobre 2015). Or les cadavres de bouquetins abattus pendant leur période d'excrétion et fortement infectés représentent une source potentielle de contamination brucellique.

- **Recommandations :**

Suite à cette évaluation, les experts estiment que des mesures complémentaires seraient susceptibles d'optimiser ce scénario.

- Au vu de la géographie du massif du Bargy, les experts considèrent que la zone périphérique correspond aux secteurs de Charmieux-Buclon et Leschaux-Andey et que la zone cœur devrait correspondre aux secteurs de Jallouvre-Peyre, du Grand Bargy et du Petit Bargy. En effet, bien que situé en périphérie du massif, de par son statut particulier

avec une prévalence d'infection brucellique intermédiaire, mais qui reste assez élevée, et une certaine continuité géographique avec le Grand Bargy, le secteur du Petit Bargy devrait être placé dans la zone cœur, et être soumis aux mêmes mesures de gestion que Grand Bargy et Jallouvre-Peyre, ce qui constitue une différence par rapport à la proposition de la préfecture de Haute-Savoie.

- Les experts préconisent également l'abattage indiscriminé en zone cœur des animaux de moins de deux ans, car ils représentent, à terme, le même risque de diffusion de l'infection brucellique que les adultes. En effet, ces animaux sont, dans ces secteurs, au contact d'animaux plus âgés dont une proportion importante est infectée. Ils ont donc une probabilité élevée d'être infectés dès leur plus jeune âge, sans pour autant que cela soit détectable avant leur entrée en reproduction. Au moment d'entrer en reproduction, ils seraient, à leur tour, susceptibles de transmettre la maladie et ainsi de recréer une source d'infection locale (femelles) ou à distance (mâles) pour le reste de la population ;
- la mise en place d'une surveillance des animaux marqués sur l'ensemble des secteurs qui devrait être poursuivie au-delà des 3 ans prévus pour cette stratégie afin de suivre l'évolution de la prévalence. Cette surveillance devra être programmée de manière à fournir les informations nécessaires pour réadapter, chaque fois que nécessaire, les mesures de gestion appliquées (principe de gestion adaptative).

Par ailleurs, les experts recommandent le maintien d'un nombre suffisant de bouquetins équipés de GPS fonctionnels, nécessaires pour surveiller les évolutions des mouvements d'animaux suite aux opérations d'abattage.

Les experts insistent toutefois sur le fait que l'effet escompté de l'élimination sélective dans les zones périphériques dépend de la mise en place de moyens importants pour parvenir à éliminer les quelques individus séropositifs présents dans ces zones. Or, la réalisation de ces captures d'animaux sauvages en haute montagne représente un risque professionnel important pour les acteurs de terrain en charge de l'application de ces mesures de gestion, risque d'autant plus grand que la fréquence des captures augmente.

Aussi, compte tenu du faible rapport coût/bénéfice de cette option sur les zones périphériques, une variante de ce scénario, pour sa partie relative à l'élimination sélective sur ces secteurs, serait de mettre en place une simple surveillance (par la capture d'un échantillon plus petit, et non pas d'un maximum d'individus comme proposé dans le scénario préfectoral) en complément de l'abattage en zone cœur. Cette option diminuerait les contraintes logistiques évoquées *supra*, en nécessitant un moindre nombre de captures et permettrait de vérifier l'absence d'augmentation de la prévalence dans la zone périphérique. Une approche par simulation sommaire (voir annexe 5), effectuée en première intention par les experts (dans l'attente de résultats plus détaillés de la modélisation en cours) illustre le fait que la stratégie d'abattage sélectif apparaît d'autant plus efficace (à même d'obtenir une diminution de la prévalence) que la prévalence initiale est élevée. Ceci illustre qu'appliquée dans les zones périphériques (où la prévalence est plus faible) cette stratégie n'aura qu'un effet limité sur la diminution de la prévalence.

Le scénario proposé par la Préfecture de Haute Savoie, qui comprend la réduction d'un réservoir important d'infection dans la zone cœur, associée à une capture avec euthanasie sélective dans les secteurs périphériques à faible séroprévalence, présente l'intérêt de tenir compte de la sectorisation de l'infection et d'appliquer des mesures de gestion offensives dans les secteurs plus infectés et défensives ailleurs.

Il est cependant difficile de prévoir si ces opérations conduiront à une diminution de la séroprévalence ou à une diminution de la pression infectieuse sur le court terme, car cela dépendra fortement des moyens mis en œuvre : les animaux infectés restants en zone cœur pourraient en effet transmettre l'infection aux animaux sains, d'autant plus si ces opérations ont lieu au printemps. Il est également difficile de prédire si l'infection pourra décroître à moyen-long terme pour tendre vers une extinction, compte tenu des incertitudes sur l'épidémiologie de l'infection.

En outre, les experts soulignent les fortes contraintes logistiques de ces opérations (nombre important de captures à réaliser alors qu'elles seront difficiles en zones périphériques, nécessité d'éviter l'abattage indiscriminé au printemps, ...).

Afin d'augmenter la probabilité de réduire la dynamique de l'infection, Le GT recommande de compléter les mesures précédentes par les suivantes:

- placer le secteur du Petit Bargy dans la zone cœur
- pratiquer l'abattage indiscriminé en zone cœur des animaux de moins de deux ans
- maintenir une surveillance des animaux marqués sur l'ensemble des secteurs, au-delà de 3 ans

En cas de difficultés dans le déploiement des moyens nécessaire à la réalisation de l'ensemble des mesures prévues, une variante possible serait de mettre en place une simple surveillance et non un abattage sélectif dans les zones périphériques

Par ailleurs, les experts préconisent que la question de la sécurité des agents et de son amélioration au travers de modalités de capture alternatives soit posée et fasse l'objet d'un travail spécifique.

B. Scénario alternatif consistant en de l'élimination sélective sur la zone cœur et de la surveillance seule sur la zone périphérique

• Déroulement :

Ce scénario consisterait en une campagne intensive d'élimination sélective (basée sur la capture, test « au chevet de l'animal », euthanasie des séropositifs et marquage-relâcher des séronégatifs) d'un maximum d'individus, dans la zone cœur redéfinie comme ci-dessus dans les recommandations du GT (Jallouvre-Peyre, Grand Bargy et Petit Bargy) ; le taux de capture annuel minimum pour permettre une réduction de la prévalence est à évaluer en fonction du nombre d'animaux effectivement présents dans les différentes sous-unités (cf ci-après). Il s'accompagnerait d'une surveillance sur la zone périphérique (Charmieu-Buclon et Leschaux-Andey) selon des modalités déjà décrites dans la variante du scénario précédent. Par ailleurs, une fois le processus d'élimination sélective terminé, une surveillance serait mise en place sur le long terme pour l'ensemble du massif (zone cœur comprise) sur les animaux restants (marqués et non-marqués). Les animaux trouvés séropositifs au cours de cette surveillance seraient euthanasiés.

• Faisabilité :

Dans ce scénario, l'élimination sélective aurait lieu dans les secteurs de la zone cœur qui, d'après les agents ONCFS auditionnés, sont les plus ouverts et/ou les plus faciles d'accès, à l'exception du Petit Bargy du fait de son couvert forestier. Ainsi, bien que les captures des non-marqués soient rendues plus difficiles du fait de la diminution progressive de leur proportion au fur et à mesure de l'élimination sélective et de l'augmentation de la distance de fuite, les captures par téléanesthésie y sont moins difficilement réalisables, du fait d'une meilleure visibilité/accessibilité, que dans la zone périphérique. Cependant, pour pouvoir atteindre un objectif de diminution de la prévalence (qui est élevée dans cette zone), le nombre d'animaux capturés doit être important.

L'obtention du taux minimal annuel de capture pour obtenir cet objectif demande de poursuivre les travaux de modélisation. Comme indiqué au point précédent, la stratégie d'abattage sélectif apparaît d'autant plus efficace (à même d'obtenir une diminution de la prévalence) que la prévalence initiale est élevée.

Par ailleurs, s'il y a besoin d'augmenter la pression de capture, il pourrait être envisagé de mobiliser des équipes de l'ONCFS ou de Parcs Nationaux expertes en téléanesthésie de bouquetins sur d'autres sites, ainsi que de développer d'autres modes de capture.

Pour la zone périphérique, la réalisation d'une surveillance doit être organisée dans le but d'y vérifier l'absence d'augmentation de la prévalence. Compte tenu du nombre moindre d'animaux à capturer, cette option de surveillance semble atteignable, bien qu'elle se fasse en secteurs boisés, plus difficiles pour la réalisation de capture par téléanesthésie.

- **Evaluation :**

En raison des niveaux de séroprévalence très élevés observés dans la zone cœur et de la dynamique d'infection rapide qui en découle, les captures doivent y être réalisées en quantité élevée et dans un temps très court (1-2 ans) pour éviter que la progression de l'infection neutralise les effets des mesures appliquées. **Le succès de l'opération dépend donc de l'importance des moyens mis en œuvre.** La prévalence est susceptible de baisser plus rapidement dans les zones où elle est élevée au départ que dans les zones où elle est faible.

Si ces conditions sont réunies, les experts estiment que ce scénario permettrait d'atteindre l'objectif de diminution de la prévalence dans la zone cœur et, à terme, de tendre vers une extinction, tout en préservant la population de bouquetins du massif du Bargy et en impactant moins sur sa diversité génétique. Ce scénario permettrait en outre d'obtenir des données sur la prévalence dans les secteurs de la zone cœur, tout en la diminuant par l'euthanasie des animaux séropositifs, sur une période de 1 à 2 ans. Ces données scientifiques constitueraient une nouvelle base solide pour adapter les scénarios de gestion à la situation épidémiologique alors mise à jour.

Par ailleurs, les mesures proposées dans la zone périphérique n'ont pour seul objectif que d'y suivre l'évolution de la prévalence et l'éventuel impact des mesures d'élimination sélectives effectuées en zone cœur. Elles ne peuvent réellement contribuer à une réduction de la prévalence.

Enfin, ce scénario offre une meilleure réponse au cadre réglementaire issu du Code de l'environnement qui institue des garanties particulières pour les espèces protégées.

Concernant les risques associés à ce scénario, il est souligné que le nombre élevé de captures à prévoir et la rapidité avec laquelle elles devront être réalisées constitue un facteur de risque professionnel. Les experts rappellent en effet que la réalisation de captures d'animaux sauvages en haute montagne représente un risque important pour les acteurs de terrain en charge de l'application de ces mesures de gestion et que plus le nombre de captures à effectuer augmente, plus ce risque augmente.

- **Variante :**

Si la modélisation en cours venait à montrer que l'effet d'abaissement est surtout important les premières années, pour ensuite plafonner (certaines études sommaires le suggèrent), ce scénario pourrait être suivi d'un abattage des animaux non capturés restants dans la zone cœur, si les informations épidémiologiques le justifient.

Cette option de gestion utiliserait en fin de compte les mêmes outils que le scénario précédent, mais dans un ordre inversé. Cela offrirait deux avantages :

- par rapport au scénario précédent, le fait de commencer par des captures, puis de poursuivre par un abattage présente une faisabilité optimisée (les animaux sont plus facilement accessibles lorsqu'ils sont plus abondants, et leur capture est plus opérationnelle avant un abattage indiscriminé qu'après).
- après les opérations de captures avec euthanasie des séropositifs, le nombre d'individus non-marqués à abattre en zone cœur sera devenu très faible (fin 2016, il restait sur le massif entier 167 [152 – 229] individus non marqués, dont environ une moitié en zone cœur ; au terme de 2 années de ce scénario, il resterait probablement moins de 50 individus concernés).

Enfin, si les moyens pouvant être consacrés à ce scénario sont limités, il est envisageable de prioriser les secteurs où la surveillance sera mise en place entre les secteurs de la zone périphérique, la priorité devant être donnée au secteur Charmieux-Buclon par rapport à Leschaux-Andey.

En résumé, ce scénario pourrait permettre, **sous réserve que des moyens importants soient déployés pour l'élimination sélective en zone cœur**, de réduire la prévalence dans cette zone, tout en préservant la population de bouquetins du Bargy et en impactant moins sur sa diversité génétique. L'obtention du taux minimal annuel de capture pour obtenir cet objectif demande de poursuivre les travaux de modélisation. En première analyse, la stratégie d'abattage sélectif apparaît d'autant plus efficace (à même d'obtenir une diminution de la prévalence) que la prévalence initiale est élevée.

Il est cependant difficile de prédire si l'infection pourra décroître à moyen-long terme pour tendre vers une extinction, compte tenu des incertitudes sur l'épidémiologie de l'infection.

La mise en place d'une simple surveillance dans les zones périphériques limiterait les moyens à mettre en œuvre dans ces zones pour les reporter sur la zone cœur.

Ce scénario permettrait d'évaluer précisément, à partir des animaux analysés, l'évolution de l'état sanitaire de la zone cœur, et si les caractéristiques épidémiologiques le suggèrent, de compléter cette première action par un abattage des individus non marqués restant en zone cœur, qui représenteraient alors un effectif réduit.

Enfin, eu égard aux risques associés à ce scénario pour les professionnels, les experts préconisent que la question de la sécurité des agents et de son amélioration au travers de modalités de capture alternatives soit posée et fasse l'objet d'un travail spécifique.

4.3. Mesures de biosécurité

Comme expliqué précédemment dans ce rapport, la situation actuelle n'est pas propice à une extinction rapide de la brucellose chez le bouquetin du Bargy. En conséquence, le respect des mesures de biosécurité pour les troupeaux en alpage et la poursuite d'une surveillance renforcée des cheptels exposés sont fondamentaux.

Les mesures de biosécurité visent à réduire encore le risque de transmission de l'infection brucellique des bouquetins aux ruminants domestiques, et indirectement à l'homme, risque déjà estimé « quasi-nul » à « minime » (1 à 2 sur une échelle de 0 à 9, rapport de l'Anses 2015).

Comme expliqué dans le rapport de l'Anses 2015, l'exposition des ruminants domestiques à l'infection brucellique est faible : les occasions de contacts directs sont rares voire nulles désormais, depuis l'arrêt de l'élevage caprin évoqué précédemment dans ce rapport et les possibilités de contacts indirects sont très circonscrites dans le temps et dans l'espace. Ainsi, la maîtrise de ce risque n'implique pas des grands changements de pratiques mais des actions ciblées dans l'espace et dans le temps. Les études sur les taux de contacts en alpage de 2013 et sur l'exploitation du suivi GPS montrent en effet que le nombre de sites concernés est très faible (moins d'une dizaine).

Les experts réitèrent ci-dessous les recommandations en termes de biosécurité déjà préconisées dans le rapport de l'Anses 2015.

Ces recommandations en matière de biosécurité portent sur des mesures générales :

- éviter les points de rassemblement interspécifiques, notamment avec l'arrêt total de l'utilisation de « pierres à sel » qui attirent les bouquetins sur les zones de pâture, et peuvent favoriser des regroupements de bouquetins également propices à la transmission intraspécifique. Le sel peut néanmoins être distribué sous forme de sel-grains aux animaux mais dans des quantités restreintes et avec un renouvellement fréquent ;
- utiliser des dispositifs d'élevage permettant d'éloigner les bouquetins des ruminants d'élevage par la présence humaine (berger) ou de chiens (de garde ou de protection).

Ces recommandations portent également sur des mesures ciblées sur les zones à risque où la présence de contacts entre bouquetins et cheptels domestiques génère un risque de transmission. Les premiers relevés de 2013 désignaient seulement 6 alpages à risque sur 42. Ces zones seraient à caractériser plus finement dans le contexte actuel.

- gérer les choix de pâtures au moment de la première mise à l'herbe afin que les quelques parcelles à risque, car fréquentées par les bouquetins au printemps lors de la repousse de l'herbe, ne soient pas utilisées par les troupeaux sur cette période. Elles peuvent être occupées en seconde intention ;
- empêcher l'accès par les cheptels (notamment ovins-caprins) aux zones-refuges sans valeur zootechnique de la faune sauvage (vires, barres rocheuses). Cela peut se faire à l'aide d'une clôture ou d'un portillon. Exemple pratiqué dans le passé lors de l'épisode du piétin en 1996 : grottes de Montarquis sur le site du Bargy.

En résumé, les experts renouvellent ici les recommandations sur les mesures de biosécurité déjà faites dans le rapport de l'Anses 2015 (élimination des pierres à sel, utilisation de chiens, évitement de certaines parcelles à risque lors de la mise à l'herbe et des zones refuges).

Le risque de contamination des ruminants domestiques par les bouquetins a été considéré comme « quasi nul à minime » (1 à 2 sur une échelle de 0 à 9). Il pourrait encore être réduit par l'optimisation des mesures de biosécurité en élevage dans les alpages visant à limiter les interactions entre bouquetins et ruminants domestiques.

4.4. Conclusion

L'Anses, dans son avis du 22 juillet 2015 avait analysé plusieurs scénarios pour la maîtrise de la brucellose chez les bouquetins du Bargy. Depuis la rédaction de cet avis, deux années de recueil de données ont fait progresser les connaissances relatives à cette maladie, conduisant les pouvoirs publics à interroger l'Anses sur la nécessité - ou non - de réévaluer ces scénarios. La saisine portait en outre sur l'évaluation d'un scénario de gestion proposé par la préfecture de Haute-Savoie.

Les scénarios précédemment évalués, du moins pour certaines des options proposées, introduisaient un recours à la vaccination des bouquetins. L'utilisation de l'outil vaccinal est aussi une des composantes du scénario de gestion proposé par la préfecture de Haute-Savoie. Le recours à la vaccination est cependant soumis aux résultats d'une expérimentation visant à s'assurer de l'innocuité du vaccin REV.1 conjonctival chez le bouquetin des Alpes, mise en place en janvier 2017. **Ne disposant pas des résultats au moment de leurs travaux** (la présente expertise et l'expérimentation étant concomitantes), **les experts ont décidé de limiter leur expertise aux scénarios sans outil vaccinal**. Ils pourront dans un second temps, évaluer l'impact de l'apport vaccinal sur l'atteinte des objectifs recherchés dans les scénarios proposés; si les gestionnaires envisagent d'utiliser le vaccin sur les bouquetins, au vu des résultats de l'expérimentation vaccinale et de ce fait souhaitent saisir l'Anses.

Les **nouvelles données disponibles** depuis le rapport de l'Anses 2015 apportent un certain nombre d'éléments que les experts ont utilisé dans leur évaluation des différents scénarios de gestion de l'infection brucellique chez les bouquetins du massif du Bargy, à savoir, notamment :

- l'identification, sur la base du suivi populationnel effectué depuis 2013, de secteurs spécifiques du massif dans lesquels les groupes de femelles ont tendance à rester tout au long de l'année, tandis que la plupart des mâles peuvent se déplacer sur l'ensemble du massif, de façon hétérogène, notamment en période de rut ;
- la corrélation entre la spatialisation des groupes d'animaux et la séroprévalence de la brucellose dans la population, s'exprimant par des séroprévalences des groupes de bouquetins présents dans les secteurs « Grand Bargy » et « Jallouvre-Peyre » plus élevées que celles estimées dans les secteurs « Leschaux-Andey » et « Charmieux-Buclon », le secteur du « Petit-Bargy » ayant un statut intermédiaire, et ceci quel que soit le sexe ;
- la répartition spatiale de l'infection en faveur d'une contamination intra-secteur entretenue essentiellement par les femelles, la transmission vénérienne semblant intervenir de façon secondaire au sein d'un même secteur, mais ayant un rôle plus important dans la diffusion de l'infection d'un secteur à l'autre. En conséquence, la période à risque d'infection dans chaque secteur correspondrait essentiellement à celle des mises bas et des avortements brucelliques (dernier tiers de la gestation), soit la période de transition entre l'hiver et le printemps. A cette période, les groupes de bouquetins de chaque secteur se rassemblent (mâles compris), en utilisant les premières pâtures déneigées, ce qui augmente la probabilité de contacts directs et indirects et donc de transmission de la brucellose entre ces groupes. En revanche la transmission entre secteurs, principalement assurée par les mâles, correspondrait probablement à la période du rut ;
- les données de suivis GPS montrant que des bouquetins se déplacent entre le massif du Bargy et celui des Aravis : ces mouvements ne concerneraient que des mâles (environ 5%), mais cela reste à confirmer avec le suivi d'un effectif plus important. Ces données sont à rapprocher des résultats des analyses génétiques qui indiquent un brassage génétique suggérant des événements de migration et de reproduction entre bouquetins du Bargy et bouquetins des Aravis.
- l'estimation de la taille de la population suite aux opérations de gestion mises en œuvre dans le massif du Bargy et de la proportion d'animaux marqués (123 animaux marqués en 2016 sur

une population estimée de 290 individus), sachant néanmoins qu'elle correspond aux relevés effectués en 2016 (les résultats issus de l'exploitation des années suivantes, portant notamment sur les niveaux actualisés des densités [2017] et des prévalences dans les différents secteurs identifiés [2016-2017] n'étant pas disponibles à ce jour).

En dépit des nouvelles données disponibles, qui ont permis un progrès considérable dans la compréhension du système brucellose-bouquetin dans le Bargy, les connaissances restent cependant parcellaires et en tout cas, insuffisantes pour répondre aux interrogations sur les mécanismes régissant la dynamique de l'infection brucellique dans la population des bouquetins du Bargy (en particulier les mécanismes écologiques à l'origine de la structuration spatiale de l'infection), et sur les conséquences écologiques et épidémiologiques des précédentes opérations de gestion. Le manque de connaissances a énormément pesé sur les travaux des experts et les évaluations des différents scénarios de gestion sont, de fait, affectées d'un niveau élevé d'incertitude. Les incertitudes ne permettent pas non plus une hiérarchisation des scénarios évalués, dont il apparaît que le succès dépend des choix stratégiques faits par le pétitionnaire, des moyens mis en œuvre et des aléas dans le déroulement de leur application.

Les options de gestion ne peuvent être évaluées sans se rapporter à l'objectif qu'elles visent. Même si la saisine porte sur « l'assainissement de la population de bouquetins », le GT rappelle que l'objectif primordial et principal de cette problématique est la protection de la santé publique, et donc la protection des cheptels domestiques exposés. La maîtrise du risque d'infection des ruminants domestiques exposés peut faire appel à différentes stratégies de gestion. Il convient de rappeler que la probabilité de contamination est toujours estimée par les experts comme « quasi-nulle à minime » (1 à 2 sur une échelle de 0 à 9).

Trois stratégies de maîtrise du réservoir constitué par la population des bouquetins du Bargy ont été définies :

- l'éradication de l'infection à court terme (3 à 5 ans),
- la diminution de la prévalence et/ou du nombre d'animaux infectés, en vue de diminuer la probabilité de contact des animaux domestiques avec un bouquetin infecté et d'atteindre un niveau d'infection permettant de tendre vers une extinction naturelle de l'infection,
- une surveillance de la population de bouquetins (sans objectif particulier concernant la prévalence) et des cheptels domestiques, avec application de mesures de biosécurité.

Ces diverses stratégies doivent s'envisager dans le cadre d'une gestion adaptative en tenant compte de l'évolution de l'infection observée par une surveillance accrue.

L'éradication de la brucellose chez les bouquetins du Bargy à court terme n'est pas atteignable du point de vue des experts.

Dans cet esprit, et en tenant compte des nouvelles données de sectorisation de l'infection, les experts ont évalué **trois scénarios**, deux (dont le scénario présenté par la préfecture de Haute-Savoie) correspondant à des scénarios sectorisés mettent en jeu des mesures différenciées selon les secteurs, le troisième reprenant le scénario non sectorisé du précédent rapport consistant en une surveillance de l'infection dans la population des bouquetins. **Ces trois scénarios doivent être nécessairement associés au maintien des mesures de biosécurité et de surveillance applicables aux cheptels exposés.**

Le **scénario présenté par la préfecture de Haute-Savoie** est un scénario sectorisé prévoyant, dans les secteurs à forte prévalence (Grand Bargy et Jallouvre-Peyre) l'abattage indiscriminé des bouquetins âgés de 2 ans et plus non marqués, et, dans les secteurs à faible prévalence (Charmieux-Buclon et Leschaux-Andey) et prévalence intermédiaire (Petit Bargy), une élimination

sélective (capture, contrôle sérologique, marquage et relâcher des séronégatifs et euthanasie des positifs). Les experts considèrent que ce scénario présente l'intérêt de tenir compte de la sectorisation de l'infection et d'appliquer des mesures de gestion offensives dans les secteurs plus infectés et défensives ailleurs. Il est cependant difficile de prévoir si ces opérations conduiront à une diminution de la séroprévalence et de la pression infectieuse sur le court terme, car cela dépendra fortement des moyens mis en œuvre : les animaux infectés restants en zone cœur pourront transmettre l'infection aux animaux sains, d'autant plus si ces opérations ont lieu au printemps. Il est également difficile de prédire si l'infection pourra décroître à moyen-long terme pour tendre vers une extinction, compte tenu des incertitudes sur l'épidémiologie de l'infection. Cependant, afin d'augmenter la probabilité d'atteindre les objectifs fixés, les experts estiment que le scénario proposé devrait être complété par :

- la mise en place de l'abattage indiscriminé plutôt que des captures avec euthanasie des séropositifs dans le secteur du Petit Bargy, du fait de la prévalence élevée dans ce secteur (35%) et de sa géographie, ce secteur est en continuité avec les secteurs les plus impactés par la brucellose et les opérations de capture y sont difficiles ;
- l'abattage indiscriminé des animaux de moins de deux ans non marqués dans les secteurs à forte prévalence (Grand Bargy, Jallouvre-Peyre et Petit-Bargy), car ils représentent un niveau similaire de risque de diffusion de l'infection brucellique que les adultes ;
- la mise en œuvre de moyens importants pour capturer le maximum d'animaux possible (y compris les animaux marqués) dans le plus court laps de temps dans les secteurs périphériques (Charmieux-Buclon et Leschaux-Andey), afin de limiter l'incidence de la maladie chez les animaux marqués, qui s'infectent aux contacts d'animaux infectés non dépistés ;
- la poursuite d'une surveillance des animaux marqués (et du reliquat d'animaux non marqués qui auront échappé aux opérations d'abattage) sur l'ensemble des secteurs et sur les massifs adjacents au-delà des 3 ans prévus pour cette stratégie afin de s'assurer de la diminution progressive attendue de la prévalence.

Néanmoins, les experts ne peuvent ni évaluer les effets potentiels de la reconstitution de nouveaux groupes suite à la désorganisation des groupes sociaux (consécutifs aux opérations d'abattage dans les zones très infectées) sur la dynamique de l'infection, ni éliminer les risques de déplacements de certains sujets vers ou depuis d'autres secteurs et le massif des Aravis.

Le second scénario évalué par les experts consiste à effectuer une élimination sélective des bouquetins infectés (marqués ou non marqués) en zone de forte prévalence (Grand Bargy, Jallouvre-Peyre et Petit-Bargy) et à se cantonner à une surveillance dans les secteurs périphériques (Charmieux-Buclon et Leschaux-Andey), compte tenu de la faible séroprévalence (10%) et de leur accès plus difficile, afin d'y contrôler l'évolution de la séroprévalence et s'assurer qu'elle ne s'élève pas. Ce scénario suppose toutefois la mise en œuvre de moyens importants pour capturer en zone cœur (Grand Bargy, Jallouvre-Peyre et Petit-Bargy), le maximum d'animaux possible (y compris les animaux marqués) dans le plus court laps de temps. Les résultats attendus sont identiques à ceux du scénario précédent, tout en préservant la population de bouquetins du massif du Bargy et en impactant moins sur sa diversité génétique. Enfin, le renseignement régulier de la prévalence dans chacun des secteurs concernés devrait permettre, par la modélisation (travaux en cours), de déterminer le nombre optimal d'animaux à capturer pour atteindre la prévalence la plus basse possible.

La réalisation de l'un ou l'autre de ces scénarios doit être associée à une surveillance optimale de la population destinée à mesurer les effets de leur application, condition *sine qua non* pour permettre une **gestion adaptative** de la brucellose des bouquetins. Si nécessaire, les mesures appliquées devront être modifiées dans le temps (par exemple dans le premier scénario la possibilité de se cantonner à une simple surveillance des animaux dans les zones périphériques

de faible prévalence, et dans le second scénario, l'adoption de mesures d'abattage des bouquetins n'ayant pu être capturés dans les secteurs de forte séroprévalence).

Indépendamment de l'**importance des moyens à mettre en œuvre**, il faut garder à l'esprit, pour ces deux scénarios les **risques d'accidents pour les agents chargés de capturer les bouquetins**, opérations qui se compliquent avec la diminution du nombre d'animaux, l'augmentation des distances de fuite et leur refuge dans les zones plus difficilement accessibles. **Ces points doivent être pris en considération dans le cadre d'une analyse bénéfices/risques au regard de l'objectif de santé publique précédemment défini.**

Les experts estiment que, nonobstant le maintien du risque de transmission aux cheptels exposés, lequel, même s'il est très faible, impose le maintien des mesures de biosécurité et de surveillance renforcées, **les actions dirigées contre la population des bouquetins n'ont pas un caractère d'urgence**, étant accepté l'idée qu'une éradication à court terme n'est pas atteignable. Il conviendrait, d'ailleurs, de déterminer si les mesures déjà engagées (dont on n'a pu jusqu'à présent mesurer les effets), ont pu permettre de stabiliser et/ou réduire l'infection.

Le troisième scénario, quant à lui, ne prévoit pas d'opérations de gestion sur la population de bouquetins et ne correspond pas à un objectif de baisse de la pression infectieuse. Pour autant, les experts considèrent que le risque de transmission aux ruminants domestiques devrait rester très bas et ainsi l'objectif de préservation de la santé publique pourrait être pérennisé. Ce scénario repose sur la mise en œuvre d'une surveillance optimisée en déterminant le nombre d'animaux à capturer et tester par secteurs pour suivre l'évolution de l'infection dans la population des bouquetins du Bargy (associée néanmoins à leur euthanasie en cas de positivité) et sur l'application de mesures de biosécurité. Ce scénario pourrait être envisagé pour minimiser les coûts et les risques humains liés aux interventions, tout en permettant de suivre l'évolution de l'infection dans la population des bouquetins du Bargy.

Contrairement aux connaissances très avancées sur les espèces domestiques permettant d'agir sur les facteurs de risque de brucellose et ayant permis d'assainir le cheptel français, il conviendrait ici de se donner le temps de déterminer les mécanismes régissant la dynamique de l'infection brucellique dans la population de bouquetins du massif du Bargy. Dans la mesure où la probabilité de contamination des cheptels domestiques est toujours estimée par les experts comme « quasi-nulle à minime » (1 à 2 sur une échelle de 0 à 9), ce temps d'investigation peut permettre de lever une partie des incertitudes évoquées et de redéfinir, à terme, dans une démarche de gestion adaptative, les options de maîtrise les mieux adaptées.

L'analyse bénéfices/risques est primordiale pour déterminer l'option de gestion la mieux adaptée à la situation. Mais quelle que soit la stratégie adoptée, les experts estiment qu'elle doit impérativement relever d'une gestion participative réunissant l'ensemble des acteurs concernés par ce foyer de brucellose et partageant un même degré d'informations quant aux connaissances acquises ou restant à acquérir.

5. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions et recommandations des experts de son groupe de travail et de son comité d'experts spécialisés « Santé et bien-être des animaux », relatives à l'évaluation approfondie et réactualisée de mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy.

L'Agence rappelle que ces nouvelles conclusions s'ajoutent à un historique désormais long de travaux scientifiques ou d'expertises principalement menés par l'ONCFS et l'Anses. Dans son avis de juillet 2015, l'Anses analysait plus particulièrement différentes options de gestion non sectorisées géographiquement, impliquant pour certaines d'entre elles le déploiement d'une stratégie vaccinale.

Ce nouvel avis s'inscrit plus particulièrement dans le contexte de deux saisines spécifiques adressées notamment à l'Anses par les ministères chargés de l'agriculture et de l'écologie.

La première d'entre elle portait sur le déploiement d'une expérimentation visant à comparer le niveau d'innocuité du vaccin Rev.1 chez le bouquetin des Alpes et la chèvre domestique. Ces travaux expérimentaux coordonnés par l'ONCFS et menés de janvier à avril 2017 ont fait l'objet d'un rapport spécifique en date du 22 juillet 2017. Les résultats font apparaître que la distribution de la souche Rev.1, le risque d'excrétion et la réponse immunitaire ne sont pas équivalents entre les deux espèces. Pour autant, ce rapport ne conclut pas quant à l'utilisation du vaccin *in natura*, dont l'intérêt devrait être examiné dans le cadre plus large de l'évaluation de stratégies de gestion opérationnelles.

Le présent avis de l'Anses répond lui spécifiquement à la deuxième saisine, relative à l'évaluation du scénario sectorisé de maîtrise du foyer de brucellose tel que proposé en février 2017 par le préfet de Haute Savoie. Néanmoins, le calendrier d'évaluation de l'innocuité du vaccin Rev.1 n'a évidemment pas permis aux experts d'en intégrer les conclusions. Leurs travaux n'ont donc pu évaluer l'impact d'un apport vaccinal. La question de la pertinence et des modalités de déploiement éventuel de l'outil vaccinal devrait donc le cas échéant faire l'objet d'un questionnement complémentaire de la part des gestionnaires concernés, à la lumière des différentes conclusions désormais disponibles.

L'examen des nombreuses nouvelles données produites, relatives notamment à la prévalence de l'infection brucellique dans les différentes zones du massif du Bargy a permis aux experts, tout en rappelant qu'une éradication à court terme n'est pas atteignable, d'examiner trois scénarios de gestion du foyer, avec comme objectif principal la protection de la santé publique et donc la protection des cheptels exposés.

Deux d'entre eux, issus de la proposition préfectorale, s'appuient sur une gestion sectorisée, en suggérant différents ajustements locaux.

Le dernier scénario non sectorisé proposé par les experts, rappelant que la probabilité de contamination des cheptels était estimée « quasi-nulle à minime » et qu'en conséquence, les actions dirigées contre la population de bouquetins n'ont pas un caractère d'urgence, prône une surveillance optimisée de la population des bouquetins et l'application de mesures de biosécurité pour les troupeaux en alpage.

L'évaluation des scénarios de gestion reste, dans tous les cas, affectée de nombreuses incertitudes, tant scientifiques que relatives aux modalités pratiques de mise en œuvre. Ces incertitudes n'ont pas permis la hiérarchisation des scénarios proposés.

Enfin, au-delà de ces éléments d'appréciation des scénarios de gestion proposés, conformément à la saisine reçue, l'Anses rappelle avec ses experts les multiples enjeux associés à la maîtrise du foyer de brucellose. Ils concernent tout particulièrement la surveillance des bouquetins du Bargy

mais aussi des massifs adjacents, le maintien d'une pression de surveillance adaptée sur les cheptels domestiques ainsi que l'application rigoureuse des mesures de biosécurité.

Dr Roger Genet

MOTS-CLÉS

Bouquetin, brucellose, *Brucella melitensis*, *Capra ibex*, massif du Bargy, mesures de lutte, vaccination, vaccin Rev.1, cheptel domestique, abattage, capture, option de gestion, mesure de biosécurité

Ibex, brucellosis, *Brucella melitensis*, *Capra ibex*, Bargy mountains, control measures, vaccination, Rev 1 vaccine, domestic livestock, culling, capture, management option, biosecurity measure

BIBLIOGRAPHIE

Afssa, 2009. Avis de l'Agence française de sécurité sanitaire des aliments sur l'évaluation du risque relatif à la tuberculose de la faune sauvage en forêt de Brotonne. 2008-SA-0331. Publié le 3 mars 2009.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2008sa0331.pdf>

Anses, 2014. Note d'appui scientifique et technique relative au dépistage des bouquetins infectés de brucellose sur le terrain. 2014-SA-0241. Publiée le 3 décembre 2014.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/LABO2014sa0241.pdf>.

Anses, 2015. Avis et rapport de l'Anses relatifs aux mesures de maîtrise de la brucellose chez les bouquetins du Bargy. 2014-SA-0218. Publié le 22 juillet 2015.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2014sa0218Ra.pdf>

Bassano B, Ferroglio E: Brucellosis in alpine ibex: epidemiological consideration based on a serosurvey. In: Proceedings of III World Conference on Mountain Ungulate 2002 Saragossa, Spain, pp. 30-31.

Bassano B., Gennero M.S., Luzzago C., Bruno S., Pasquaretta C., Ferroglio E., (sous presse) - Infectious diseases did not drive the decreasing of Alpine ibex (*Capra ibex*) population in Gran Paradiso National Park (Italy)

Biebach, Iris, et Lukas F. Keller. 2010. "Inbreeding in reintroduced populations: the effects of early reintroduction history and contemporary processes." *Conservation Genetics* 11 (2):527-538. doi: 10.1007/s10592-009-0019-6.

Biebach, Iris, et Lukas F. Keller. 2012. "Genetic variation depends more on admixture than number of founders in reintroduced Alpine ibex populations." *Biological Conservation* 147 (1):197-203. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.034>.

Borriello G., Capparelli R., Bianco M., Fenizia D., Alfano F., Capuano F., Ercolini D., Parisi A., Roperto S., Iannelli D. 2006. Genetic Resistance to *Brucella abortus* in the Water Buffalo (*Bubalus Bubalis*). *Infection and Immunity* 74: 2115–2120

Capparelli R, Alfano F, Amoroso MG, Borriello G, Fenizia D, Bianco A, Roperto S, Roperto F, Iannelli D. 2007 - Protective effect of the Nramp1 BB genotype against *Brucella abortus* in the water buffalo (*Bubalus bubalis*). *Infection and Immunity* 75(2):988-996.

Delahay R.J., Smith G.C., Hutchings M.R., 2009 : Management of Disease in Wild Mammals .Tokyo : Springer, 284 p.

Ferroglio E, Tolari F, Bollo E, Bassano B : Isolation of *Brucella melitensis* from Alpine Ibex. *Journal of wildlife disease*, 1998, 34(2): 400-402.

Ferroglio E, Gennero M S, Rossi L, Tolari F: Epidemiologia della brucellosi nel Camoscio alpino. *J. of Mount. Ecol* 2003. 7: 229-232

Ferroglio E, Gennero M S, Pasino M, Bergagna S, Dondo A, Grattarola C, Rondoletti M., Bassano B : Cohabitation of a *Brucella melitensis* infected Alpine ibex (*Capra ibex*) with domestic small ruminants in an enclosure in Gran Paradiso National Park, in Western Italian Alps. *Eur. J. of Wild. Res.* 2007, 53: 158-160.

Fulford G.R., Roberts M.G., Heesterbeek J.A.P., 2002. The Metapopulation Dynamics of an Infectious Disease: Tuberculosis in Possums. *Theoretical Population Biology* 61, 15–29

Ganguly, I., Sharma, A., Singh, R., Deb, S. M., Singh, D. K., Mitra, A. (2008). Association of microsatellite (GT) n polymorphism at 3' UTR of NRAMP1 with the macrophage function following challenge with *Brucella* LPS in buffalo (*Bubalus bubalis*). *Veterinary microbiology*, 129(1), 188-196.

Gauthier D., Hars J., and Rossi L. 1998. "Brucellosis in free ranging chamois (*Rupicapra rupicapra*) and its relationships with domestic breeding." Third Conference of the Wildlife Disease Association, Edimbourg, Royaume-Uni

Gauthier, D, Chatain G., Choisy JP, Crampe JP, Martinot JP, Michallet J, Terrier G, Tron L, et Villaret JC. 1994. "L'organisation des réintroductions de bouquetin en France—la charte du bouquetin." *IBEX, J.M.E., Spec. Gruppo Stambecco Europa* 2:1-14.

Gauthier, D., et J.C. Villaret. 1990. "Réintroduction d'une espèce protégée, le Bouquetin des Alpes." *Rev. Ecol. (Terre & Vie) Suppl.* 5 :97-120.

- Godfroid, J, Garin Bastuji B. and Blasco Martínez J.M. 2013. "Brucellosis in terrestrial wildlife. Brucellosis: recent developments in diagnosis and epidemiology towards 'One Health' concept." *OIE Sci. Tech. Rev.* 32 (1):27-42.
- Gomes M.T.R., Campos P.C., de Almeida L.A., Oliveira F.S., Costa M.M.S., Marim F.M., Pereira G.S.M., Oliveira SC. 2012. The role of innate immune signals in immunity to *Brucella abortus*. *Front Cell Infect Microbiol.* 2012; 2: 130
- Gortázar C, Delahay R.J., McDonald R.A., Boadella M., Wilson G.J., Gavier-Widen D., Acevedo P., 2011 - The status of tuberculosis in European wild mammals. *Mammal Review*, 2011.
- Gortázar C., Ferroglio E., Höfle U., Frölich K. and Vicente J. 2007. "Diseases shared between wildlife and livestock: a European perspective." *European Journal of Wildlife Research* 53 (4):241-256
- Grenfell et Harwood 1997. *Trend in Ecology and Evolution* 12 : 395-399
- Grossen, C., L. Keller, I. Biebach, et D. Croll. 2014. "Introgression from domestic goat generated variation at the major histocompatibility complex of Alpine ibex." *PLoS Genet* 10 (6):e1004438. doi: 10.1371/journal.pgen.1004438.
- Haydon, D T; Randall, D A; Matthews, L; Knobel, D L; Tallents, L A; et al., 2006 - Low-coverage vaccination strategies for the conservation of endangered species. *Nature* 443 : 692-695
- Holling, CS 1978. *Adaptive environmental assessment and management*. Traduit par. Edité par John Wiley & Sons.
- Iacoboni P.A., Hasenauer F.C., Caffaro M.E., Gaido A., Rossetto C., Neumann R.D., Salatin A., Bertoni E., Poli M.A., Rossetti C.A. 2014. Polymorphisms at the 3-untranslated region of SLC11A1 gene are associated with protection to *Brucella* infection in goats *Veterinary Immunology and Immunopathology* 160 : 230–234
- Jesse M., Ezanno P., Davis S., Heesterbeek J.A.P., 2008 - A fully coupled, mechanistic model for infectious disease dynamics in a metapopulation : movement and epidemic duration. *J Theor Biol* 254 : 331-338
- Leon-Vizcaino, Luis, 1991 : *Ecopatologia della Capra Montes (Capra pyrenaica) en la sierras de Cazorla (España)*. *Collana scientifica PNGP*, 178: 1-13.
- Lloyd-Smith J.O., Schreiber S.J., Kopp P.E., Getz W.M. 2005. Superspreading and the effect of individual variation on disease emergence. *Nature* 438 : 355-359.
- Marchand, Pascal, Jean Hars, Jean-Phillipe Herbaux, Valérie Le Bourg, et Yvette Game. 2015. "Suivis sanitaires et p opulationnels des bouquetins du massif du Bargy et des massifs adjacents - Bilan des opérations réalisées en 2015." : ONCFS.
- Maudet, C, C Miller, B Bassano, C Breitenmoser-Würsten, D Gauthier, G Obexer-Ruff, J Michallet, P Taberlet, et G Luikart. 2002. "Microsatellite DNA and recent statistical methods in wildlife conservation management: applications in Alpine ibex [*Capra ibex (ibex)*]." *Molecular Ecology* 11 (3):421-436.
- Michallet, J. 2007. "Inventaire des populations de bouquetins des Alpes (*Capra ibex ibex* L.) en France." *Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse* 218:42-48.
- Miller, R.S., Farnsworth, M.L., Malmberg, J.L., 2013. Diseases at the livestock-wildlife interface: Status, challenges, and opportunities in the United States. *Prev. Vet. Med.* 110, 119–132.
- Muñoz Pilar M, Boadella M., Arnal M., de Migue M.J., Revilla M., Martínez D., Vicente J., Acevedo P., Oleaga A., and Ruiz-Fons F. 2010. "Spatial distribution and risk factors of Brucellosis in Iberian wild ungulates." *BMC infectious diseases* 10 (1):46.
- National Academies of sciences, engineering and medicine, 2017 – Revisiting Brucellosis in the Greater Yellowstone Area. The National Academies Press. 209 pages
- National Research Council. 2004. *Adaptive Management for Water Resources Project Planning*. Traduit par. Edité. Washington, DC: The National Academies Press.

- Oliveira SC, de Oliveira FS, Macedo GC, de Almeida LA, Carvalho NB. 2008. The role of innate immune receptors in the control of *Brucella abortus* infection: toll-like receptors and beyond. *Microbes Infect.*;10(9):1005-9
- Proffitt, K. M.; White, P. J. & Garrott, R. A, 2010 - Spatio-temporal overlap between Yellowstone bison and elk-implications of wolf restoration and other factors for brucellosis transmission risk. *Journal of Applied Ecology*, 47, 281-289
- Ranjan, S., Sharma, A., Chopra, A., Mitra, A., 2014. Transcript abundance of bovine NRAMP1 and iNOS genes among *Brucella* sero-reactive cattle and buffalo. *African Journal of Microbiology Research*, 8(18), 1850-1854.
- Stüwe, Michael, et Kim T Scribner. 1989. "Low genetic variability in reintroduced alpine ibex (*Capra ibex ibex*) populations." *Journal of Mammalogy*:370-373.
- Treanor JJ. 2013. Integrating ecology with management to control wildlife brucellosis. *Rev. sci. tech. Off. int. Epiz.*, 2013, 32 (1), 239-247
- Villaret, J.C., et R. Estève. 1986. "Populations de bouquetins en Haute Savoie, état 1986, rapport d'étude de la coordination du Parc National de la Vanoise." Parc national de la Vanoise: Programme National Bouquetin.
- Walters, CJ, et R Hilborn. 1978. "Ecological Optimization and Adaptive Management." *Annu Rev Ecol Syst* 9:157-188.
- Williams, B. K., et E. D. Brown. 2014. "Adaptive management: From more talk to real action." *Environmental Management* 53 (2):465-479. doi: 10.1007/s00267-013-0205-7.
- Williams, BK, RC Szaro, et CD Shapiro. 2012. "Adaptive management: The U.S. department of the interior technical guide." Dans *Ecosystems and Natural Resources: Adaptive Management*, 43-150.

ANNEXE 1 : PRÉSENTATION DES INTERVENANTS

PRÉAMBULE : Les experts, membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, en fonction de leur domaine de compétence, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL

Président

M. Jean-Pierre GANIÈRE – ONIRIS Nantes – Compétences en maladies contagieuses, réglementation, zoonoses, analyse de risque qualitative.

Membres

M. Fabrizio DE MASSIS – Chef de laboratoire de référence, Istituto Zooprofilattico sperimentale dell'Abruzzo e del Molise « G. Caporale » (Italie) – Compétences en épidémiologie, brucellose domestique, analyse des risques

Mme Barbara DUFOUR – Enseignant chercheur, UP Maladies Contagieuses, UR EpiMAI, ENV Alfort - Compétences en épidémiologie, maladies infectieuses, pathologie des ruminants, analyse des risques

M. Bruno GARIN-BASTUJI – Directeur de Recherche, Direction des affaires européennes et internationales, Anses - Compétences en bactériologie – brucellose, tuberculose domestique et sauvage -, diagnostic, épidémiologie

M. Dominique GAUTHIER – Directeur du Laboratoire Départemental d'Analyses des Hautes-Alpes – Compétences en éthologie des bouquetins, connaissance du massif du Bargy, faune de montagne

Mme Emmanuelle GILOT-FROMONT – Enseignant chercheur, VetAgro Sup – Compétences en épidémiologie, faune de montagne, modélisation appliquée aux populations sauvages

M. Jean GUILLOTIN – Directeur du Laboratoire Départemental d'Analyses du Nord - Compétences en diagnostic de laboratoire, infectiologie, analyse des risques

M. Pascal MARCHAND – ONCFS – Compétences en éthologie des bouquetins, connaissance du massif du Bargy, écologie spatiale

Mme Claire PONSART – Anses – Compétences en bactériologie - brucellose domestique et sauvage-, diagnostic, épidémiologie

Mme Carole TOIGO – Ingénieur expert – Equipe « Ongulés de montagne » ONCFS – Compétences en éthologie des bouquetins, faune de montagne, modélisation appliquée aux populations sauvages

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ



Les travaux, objets du présent rapport, ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- CES SABA du 12 septembre 2017

Président

M. Etienne THIRY – Faculté de médecine vétérinaire de Liège (BE) – Compétences en virologie, immunologie.

Membres

Mme Suzanne BASTIAN – ONIRIS Nantes – Compétences en épidémiologie, bactériologie, parasitologie, approche globale de la santé animale.

Mme Catherine BELLOC - ONIRIS Nantes – Compétences en Médecine des animaux d'élevage, monogastriques.

M. Alain BOISSY – INRA – Compétences en éthologie, bien-être animal, ruminants, zootechnie.

M. Jordi CASAL - Universitat Autònoma de Barcelona (ES) – Compétences en zoonose, épidémiologie quantitative, maladies animales exotiques, analyse quantitative des risques.

M. Christophe CHARTIER – ONIRIS Nantes – Compétences en parasitologie, pathologie des petits ruminants, technique d'élevage, épidémiologie.

M. Eric COLLIN – Vétérinaire praticien – Compétences en pathologie des ruminants.

M. Frédéric DELBAC – CNRS – Compétences en abeilles, épidémiologie, parasitologie, microbiologie.

Mme Barbara DUFOUR – ENV Alfort – Compétences en épidémiologie, maladies infectieuses, pathologie des ruminants.

M. Guillaume FOURNIÉ - Royal Veterinary College (UK) – Compétences en évaluation des risques quantitative et qualitative, modélisation, épidémiologie.

M. Jean-Pierre GANIÈRE – ONIRIS Nantes – Compétences en maladies contagieuses, réglementation, zoonoses.

M. Dominique GAUTHIER - Laboratoire départemental 05 – Compétences en faune sauvage, lagomorphes, méthodes de diagnostic.

M. Etienne GIRAUD – INRA – Compétences en antibiorésistance, environnement, approche globale de la santé animale.

M. Jacques GODFROID - Université Arctique de Norvège (NO) – Compétences en évaluation des risques, zoonose, épidémiologie, tuberculose, bactériologie, faune sauvage marine.

M. Jean-Luc GUÉRIN – ENVT – Compétences en pathologie des volailles et lagomorphes, immunologie, virologie, zoonoses et santé publique.

M. Jean GUILLOTIN – Laboratoire départemental 59 –Compétences en méthodes de diagnostic, productions porcines, faune sauvage.

Mme Nadia HADDAD – Anses UMR BIPAR, ENV Alfort – Compétences en microbiologie, épidémiologie, maladies contagieuses.

M. Jean HARS – Office national de la chasse et de la faune sauvage – Compétences en pathologie de la faune sauvage libre, épidémiologie.

Mme Véronique JESTIN – Ex-directrice de recherche et ex-responsable d'unité et du Laboratoire National de Référence Influenza aviaire, Anses Laboratoire de Ploufragan-Plouzané (virologie, infectiologie, pathologie aviaire, vaccinologie, méthodes de diagnostic, analyse de risque)

Mme Elsa JOURDAIN – INRA – Compétences en zoonoses, épidémiologie quantitative, faune sauvage.

Mme Claire LAUGIER – Anses Dozulé – Compétences en pathologie équine, diagnostic de laboratoire.

Mme Monique L'HOSTIS – ONIRIS – Compétences en parasitologie, abeilles, faune sauvage.

Mme Coralie LUPO – IFREMER – Compétences en épidémiologie, pathologies aviaire et aquacole.

M. Gilles MEYER – ENV Toulouse – Compétences en pathologie des ruminants, virologie.

M. Pierre MORMÈDE – INRA Toulouse – Compétences en génétique du stress, endocrinologie, bien-être animal.

Mme Carine PARAUD – Anses – Compétences en statistiques, pathologie des petits ruminants, parasitologie de terrain.

Mme Claire PONSART – Anses – Compétences en épidémiologie, bactériologie, statistiques, virologie, pathologie de la reproduction.

Mme Nathalie RUVOEN – ONIRIS Nantes – Compétences en maladies contagieuses, zoonoses, réglementation

M. Claude SAEGERMAN – Faculté de médecine vétérinaire de Liège – Compétences en épidémiologie, maladies contagieuses, maladies émergentes, méthodologie d'évaluation des risques.

M. Stéphan ZIENTARA – Anses Laboratoire de santé animale de Maisons-Alfort – Compétences en virologie.

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Mme Charlotte DUNOYER - Chef d'unité UERSABA - Anses

Mme Florence ÉTORÉ - Adjointe Chef d'unité UERSABA – Anses

Mme Claire HAUTEFEUILLE – Coordinatrice scientifique UERSABA - Anses

Secrétariat administratif

M. Régis MOLINET - Anses

AUDITION DE PERSONNALITÉS EXTÉRIEURES

Chambre d'Agriculture Savoie-Mont-Blanc

M. Patrice JACQUIN, Président

Mme Marie-Louise DONZEL, Vice-Présidente

DDPP 74

Mme Valérie LE BOURG - Directrice

FDSEA des Savoies

M. Bernard MOGENET, Président

FRAPNA & LPO

M. Jean-Pierre CROUZAT - Administrateur

INRA

M. Erwan QUÉMÉRÉ – Chargé de recherche - Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage -

ONCFS

Mme Sophie ROSSI – Direction de la Recherche et de l'Expertise, Unité Sanitaire de la Faune.

M. Stéphane ANSELME-MARTIN – Chef de brigade du service départemental de Haute-Savoie

Union des Producteurs de Reblochon Fermier

Mme Marie-Louise DONZEL, Présidente

ANNEXE 2 : LETTRES DE SAISINE

2016 -SA- 0 2 2 4

2016 -SA- 0 2 2 9

Ministère de l'environnement,
de l'Energie et de la Mer,
en charge des Relations
internationales sur le climat



Ministère de l'Agriculture,
de l'Agroalimentaire et de la Forêt

COURRIER ARRIVE

1 0 OCT. 2016

DIRECTION GENERALE

Secrétariat d'Etat
chargé de la Biodiversité

Paris, le 26 septembre 2016

La Ministre de l'environnement,
de l'Energie et de la Mer

Le Ministre de l'Agriculture,
de l'Agroalimentaire et de la Forêt

La Secrétaire d'Etat
chargée de la Biodiversité

à

Monsieur le Président-directeur général de
l'Institut national de la recherche agronomique

Monsieur le Président du Muséum national
d'Histoire naturelle

Monsieur le Directeur général de l'Agence
nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,
de l'environnement et du travail

Monsieur le Directeur général de l'Office national
de la chasse et de la faune sauvage

Objet : Réalisation d'une évaluation expérimentale de l'innocuité du vaccin OBIREV®
et de la réponse immunitaire chez le bouquetin des Alpes

La présence de la brucellose dans la population de bouquetins des Alpes du massif du Bargy en Haute-Savoie a été confirmée en 2012. Depuis cette détection, l'Office national de la chasse et de la faune sauvage participe, grâce à la mobilisation de ses agents de terrain et de ses personnels de la direction de l'expertise et de la recherche, à la caractérisation et à la mise en œuvre des mesures de maîtrise du risque.

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail a évalué dix scénarios de gestion de la maladie. La vaccination des bouquetins était l'une des solutions recommandées dans l'avis du 22 juillet 2015. Dans le rapport du 27 juillet 2016, l'Agence et l'Office national de la chasse et de la faune sauvage ont précisé que la vaccination sur le terrain nécessite d'abord d'être testée pour en confirmer l'innocuité.

2016-SA-0229

Nous vous confions la réalisation de cette évaluation expérimentale en comparant des lots de bouquetins et de chèvres suivant les recommandations de l'avis 2016-SA-0146. Vous documenterez également la réponse immunitaire chez le bouquetin à l'occasion des prélèvements sérologiques au cours du suivi afin notamment d'orienter les stratégies de surveillance post-vaccination in natura.

Vous veillerez à conduire l'expérimentation et à établir les préconisations d'utilisation du vaccin in natura pour assurer la mise en œuvre de la vaccination sur le terrain au printemps 2017.

Vous nous ferez part sans délai de toute difficulté rencontrée pour atteindre cet objectif.

La ministre de l'Environnement,
de l'Energie et de la Mer,
en charge des Relations
internationales sur le climat



Ségolène ROYAL

Le ministre de l'Agriculture, de
l'Agroalimentaire et de la Forêt,
Porte-parole du Gouvernement



Stéphane LE FOLL

La secrétaire d'Etat
chargée de la Biodiversité



Barbara POMPILI



2016 -SA- 0 2 2 9

0409-D

COURRIER ARRIVE

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE L'AGROALIMENTAIRE ET DE LA FORÊT 02 MAI 2017
MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE L'ÉNERGIE ET DE LA MER DIRECTION GÉNÉRALE

Direction générale de l'alimentation
Service de l'action sanitaire en production primaire
Sous-direction de la santé et protection animales
Bureau de la santé animale

Suivi par : L. Cavalerie
Tél : 01 49 55 86 26
Réf. Interne : BSA/1703043

Direction de l'eau et de la biodiversité
Sous-direction de la protection et de la valorisation
des espèces et de leurs milieux
Bureau de la faune et de la flore sauvages

Suivi par : L. Giuliani
Tél : 01 40 81 35 62
Réf. Interne :

Le Directeur Général de l'Alimentation
Le Directeur de l'eau et de la biodiversité

à

Monsieur le Directeur Général de l'Agence
nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,
de l'environnement et du travail

Paris, le 26 AVR. 2017

Objet : Saisine sur l'évaluation approfondie et réactualisée de mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy

Conformément aux articles L. 1313-1 et 1313-3 du Code de la santé publique, nous avons l'honneur de solliciter l'avis de l'Anses sur un approfondissement de l'évaluation des mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy.

I. Contexte

Un avis de l'Anses du 22 juillet 2015 (2014-SA-0218) avait évalué le risque représenté par plusieurs scénarios de gestion à court, moyen et long terme de ce foyer alors qualifié « d'exceptionnel [...] en totale rupture avec les données jusqu'ici connues » et incitait à une réévaluation ultérieure des mesures mises en œuvre de façon séquentielle dans le temps, de façon à intégrer également les données de surveillance populationnelle et sanitaires ainsi que les connaissances sur les modalités de transmission découlant notamment de l'étude des contacts intra-spécifique.

Actuellement, plusieurs nouveaux paramètres sont à prendre en considération dont notamment les résultats de la surveillance sanitaire et du suivi de la dynamique populationnelle spatiale de mai 2016 (Marchand et al. 2016) qui ont mis en évidence une forte sectorisation des femelles bouquetins et une structuration spatiale de la séroprévalence de la brucellose: deux secteurs (Jallouvre-Peyre et Grand-Bargy) au sein du massif du Bargy où les femelles bouquetins présentent une séroprévalence nettement supérieure aux trois autres (voir Rapport ONCFS 2015 et carte en Annexe). L'expérience acquise ces dernières années lors de la mise en œuvre des mesures de gestion (captures, tirs indiscriminés) devrait aussi permettre de mieux maîtriser les aspects de faisabilité des scénarios analysés par l'Anses. Enfin, une étude expérimentale (menée par un consortium ONCFS-INRA-MNHN et financée par le MAAF et le MEEM) est en cours pour évaluer l'innocuité de la vaccination (vaccin rev 1 conjonctival) des bouquetins contre la brucellose chez le bouquetin comparativement à la chèvre domestique. Le rapport de cette étude est attendu pour mi-juillet 2017.

Afin de tenir compte des connaissances actuellement disponibles et de répondre aux différents enjeux du gestionnaire du risque, le scénario de gestion suivant est proposé pour les années 2017-2018-2019 :

- ▲ dans les secteurs dont le taux de prévalence de la maladie est le plus élevé « Grand Bargy » et « Jallouvre-Peyre » : abattage de façon in-discriminée des bouquetins présents à l'exception (1) des animaux déjà marqués (déjà capturés et testés négatifs au cours des dernières années qui pourraient être résistants à l'infection) et (2), dans la mesure du possible, des animaux dans leur 1ère et 2ème année (ces animaux, plus jeunes, sont effectivement plus faiblement exposés à la brucellose que les autres individus au vu des résultats historiques : Voir rapport ONCFS dont est extrait l'annexe). Un dépistage sur le plus grand nombre possible d'animaux abattus sera réalisé. Les animaux non tirés feront l'objet d'une capture et d'un test sérologique, en cas de résultat positif ils seront euthanasiés.
- ▲ dans les secteurs « Petit Bargy », « Leschaux-Andey » et « Charmieux-Buclon » : capture des animaux présents avec euthanasie des animaux séropositifs, quel que soit leur âge ou leurs marques.
- ▲ dans tous ces secteurs, les animaux capturés et testés séronégatifs seraient vaccinés si les conclusions de l'étude expérimentale se révèlent favorables et dès que les autorisations de vacciner seraient données. Ces animaux seraient marqués et ne seraient a priori pas recapturés pendant cette période de trois ans.

Les opérations se dérouleraient sur au moins trois ans : 2017, 2018 et 2019. Le séquençage des opérations de captures et de tirs (opérations de tirs qui ne seront jamais massives) suivra autant que possible les recommandations techniques (cf avis ONCFS du 2 mars 2017) mais il sera forcément adapté par les équipes de terrain qui prendront notamment en compte l'accessibilité et le comportement des animaux ainsi que les conditions climatiques et nivologiques.

Une réévaluation de la situation et de la stratégie pourra être conduite au cours et au terme de ces trois années, notamment concernant la stabilité spatiale des groupes de bouquetins, l'évolution de la prévalence par secteur et le devenir des animaux qui n'auraient pas pu être capturés dans les différents secteurs.

II. Évaluation demandée

Les informations disponibles depuis l'avis du 22 juillet 2015 sont-elles de nature à modifier l'évaluation des risques ?

Si oui, pouvez-vous évaluer d'ici le 12 mai prochain si la conduite d'une campagne d'abattage non sélectif (visant les animaux de plus de deux ans et les animaux non marqués) durant le mois de juin 2017 serait de nature à compromettre l'efficacité de la stratégie présentée précédemment ?

Par ailleurs, pouvez-vous évaluer une stratégie médico-sanitaire, s'appuyant sur un principe de vaccination et le scénario 2.2 sélectif (seuls les animaux séropositifs ou manifestation atteints de brucellose sont abattus) pour les secteurs de faible à moyenne prévalence (« Leschaux-Andey », « Charmieux-Buclon » et « Petit Bargy ») et le scénario 3.2. non sélectif pour les secteurs de forte prévalence (« Jallouvre-Peyre » et « Grand Bargy ») ?

Ce scénario a été présenté par le préfet de Haute-Savoie au Comité permanent du Conseil national de la protection de la nature (CNPN) le 9 mars 2017 qui considère notamment qu'il « constitue un nouveau dispositif pouvant permettre un assainissement relativement rapide du foyer de brucellose et permettant de contribuer à un consensus global sur l'ensemble des enjeux sanitaires et de biodiversité ». Ce consensus est indispensable pour mettre en œuvre de façon efficace les mesures proposées.

En tenant compte de l'état actuel des données disponibles sur le foyer de brucellose des bouquetins du massif du Bargy et notamment des données recueillies sur la sectorisation du massif chez les femelles bouquetins, je vous invite à évaluer le scénario proposé par le préfet comparativement aux travaux déjà conduits dans la saisine (2014-SA-0218) dans le but d'assainir ce foyer sauvage de brucellose. Cette évaluation se basera sur l'hypothèse que l'étude expérimentale sur la vaccination soit favorable à son utilisation sur le terrain et devra notamment tenir compte de la faisabilité des mesures proposées et de leur déploiement de la façon la plus réaliste possible ainsi que du risque de réorganisation spatiale et sociale des animaux, éventuellement selon la chronologie des mesures mises en place.

L'évaluation devra également proposer des recommandations sur le déploiement de la vaccination, en prenant en compte les possibilités concrètes de capture (capture en montagne, période la plus favorable aux captures de bouquetins entre fin avril et début juin, voir avis ONCFS du 2 mars 2017), et le fait qu'à ce jour, aucun test de gestation rapide n'est applicable dans les conditions du terrain.

Sur la base des données disponibles, l'agence peut-elle préciser le pourcentage ou nombre optimal de bouquetins qu'il conviendrait de vacciner au cours de ces trois années, ou au-delà, pour assainir ce foyer sauvage ?

La présente saisine devra émettre des recommandations en matière de surveillance (indicateurs de suivi, durée, etc.) du foyer de brucellose du Bargy pour apprécier la situation épidémiologique et son évolution pendant le déploiement du scénario de gestion (2017-2019) mais aussi à plus longue échéance, en tenant compte du déploiement vaccinal et de son interférence avec le dépistage. La pertinence et le cas échéant les modalités (surveillance ante ou postmortem ?, indicateurs ?), d'un suivi spécifique de l'innocuité du déploiement de la vaccination dans la population sauvage de bouquetin du massif du Bargy devront également être évaluées. A priori, de façon pragmatique, la surveillance prévue pendant ces trois années sera conditionnée aux opérations de gestion détaillées plus haut (dépistage des animaux tirés dans la mesure du possible et des animaux capturés de façon systématique), un système de marquage visuel sera utilisé permettant une identification individuelle et d'assigner un individu à un secteur d'échantillonnage et devant permettre d'identifier à distance les animaux vaccinés par année de capture/vaccination, si la vaccination est effectivement mise en œuvre.

Enfin, si suite aux résultats de l'expérimentation vaccinale, le déploiement terrain de la vaccination ne pouvait être mis en œuvre, la présente saisine devra évaluer si ce scénario de gestion spatialisé sans outil vaccinal permettrait d'assainir le foyer de brucellose.

Nous vous remercions de bien vouloir accuser réception de la présente demande. Une réponse est attendue mi-juillet 2017.

Le Directeur Général de l'Alimentation,
Patrick DECHAUMONT

Le Directeur de l'eau et de la biodiversité


François MITTEAULT

Pièces jointes :

- rapport de l'ONCFS de mai 2016 (Marchand et al. 2016)
- avis de l'ONCFS du 02/03/2017
- dossier déposé par la préfecture 74 pour le CNPN du 09/03/2017
- avis du CNPN du 09/03/2017

ANNEXE : Extraits du Rapport ONCFS (Marchand et al. 2016) mettant en évidence une sectorisation des bouquetins femelles par opposition aux mâles (figure 2), l'effet de ce secteur et de l'âge sur la prévalence sérologique des bouquetins des deux sexes

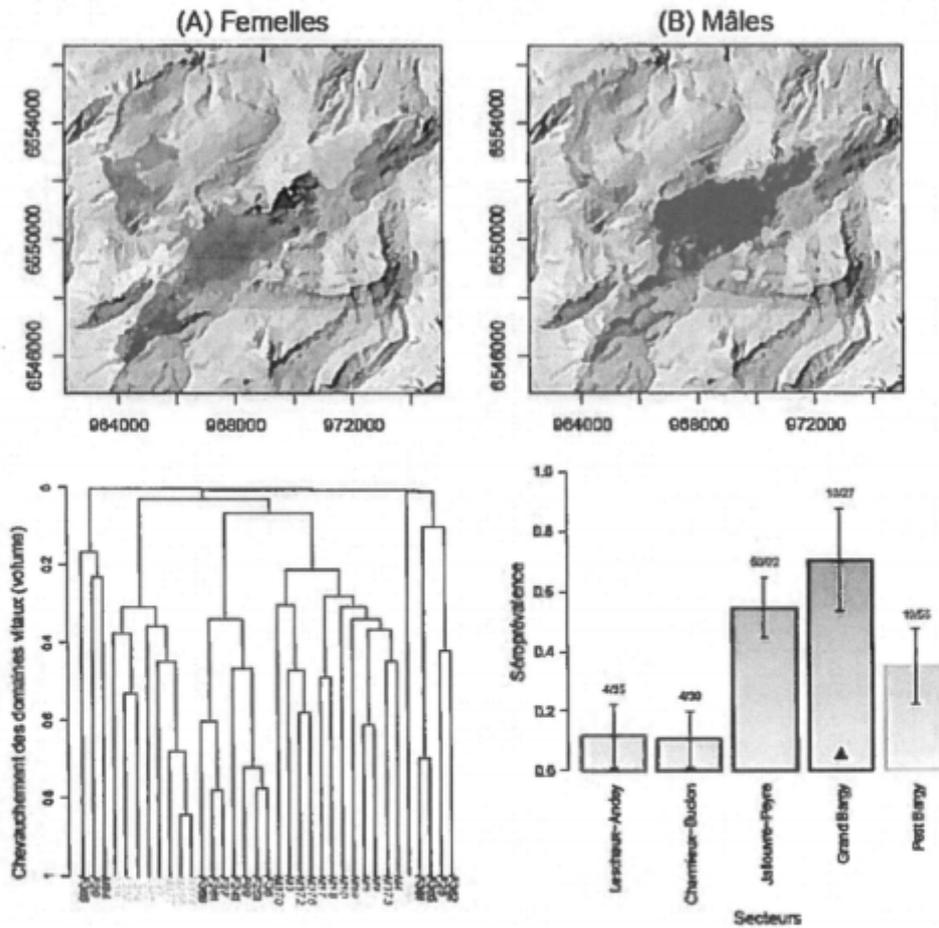


FIGURE 2 – Structuration spatiale des bouquetins suivis par collier GPS dans le massif du Bargy et conséquences sur la séroprévalence de la brucellose.

haut : représentation cartographique des domaines vitaux des femelles (gauche) et des mâles (droite) de chaque unité de population mise en évidence par l'analyse de leur chevauchement. Le triangle noir sur la carte de gauche symbolise le secteur du Grand Bargy, dans lequel les premières localisations récoltées suggèrent l'existence d'une unité indépendante de femelles.

en bas à gauche : arbre représentant les liens entre les individus suivis par colliers GPS (M=mâles; F=femelles) mesurés grâce au chevauchement de leurs domaines vitaux.

en bas à droite : séroprévalence (IC 95%) de la brucellose dans les différentes unités de population.

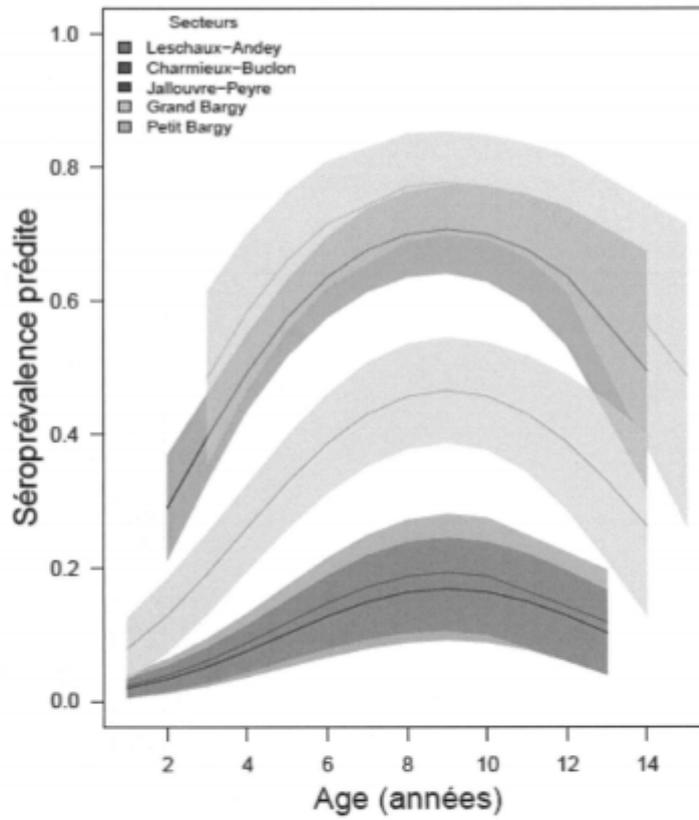


FIGURE 3 – Evolution de la séroprévalence de la brucellose des bouquetins dans les différents secteurs du massif du Bargy en fonction de l'âge, telle que prédite par le modèle de régression logistique binômiale retenu pour en expliquer les variations.

ANNEXE 3 : NOTE DE RÉPONSE INTERMÉDIAIRE



Le Directeur général

Monsieur Patrick DEHAUMONT
Directeur général de l'Alimentation
251, rue de Vaugirard
75732 PARIS CEDEX 15

Monsieur François MITTEAULT
Directeur de l'eau et de la biodiversité
92055 Paris-La Défense Cedex

Maisons-Alfort, le 17 MAI 2017

Objet : Note de réponse à la saisine sur l'évaluation approfondie et réactualisée de mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy (complément à la saisine 2016-SA-0229)

L'Agence nationale chargée de la sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail a reçu par voie télématique le 18 avril 2017 une demande d'avis sur l'évaluation approfondie et réactualisée de mesures de maîtrise du foyer de brucellose chez les bouquetins du Bargy, qui constitue un complément à la saisine 2016-SA-0229 portant sur une « demande d'avis relatif à des préconisations d'utilisation du vaccin OVIREV *in natura* chez les bouquetins du Bargy, pour assurer la mise en œuvre de la vaccination ».

Cette saisine a été motivée par la proposition d'un scénario de gestion de la brucellose chez les bouquetins du Bargy par le préfet de Haute-Savoie, qui a été présenté lors de la réunion des parties prenantes à Annecy le 13 février 2017. Une mise en œuvre était envisagée dès le printemps 2017.

Les deux premières questions de cette saisine attendent une réponse pour le 12 mai 2017 et sont les suivantes :

« Les informations disponibles depuis l'avis du 22 juillet 2015 sont-elles de nature à modifier l'évaluation des risques ?

Si oui, pouvez-vous évaluer d'ici le 12 mai prochain si la conduite d'une campagne d'abattage non sélectif (visant les animaux de plus de deux ans et les animaux non marqués) durant le mois de juin 2017 serait de nature à compromettre l'efficacité de la stratégie présentée précédemment ? »

Pour répondre à ces questions, les experts du Groupe de Travail *ad hoc* ont pris connaissance, au cours de leur première réunion, le 20 avril 2017, des nouvelles informations scientifiques disponibles depuis l'avis de l'Anses de juillet 2015 relatif aux « mesures de maîtrise de la brucellose chez les bouquetins du Bargy ».

De ces nouvelles informations, le Groupe de Travail retire les éléments d'intérêt suivants :

- la différence d'utilisation de l'espace des animaux sur le massif du Bargy, en fonction du sexe : les informations issues du suivi populationnel montrent que les groupes de femelles ont tendance à rester dans des secteurs spécifiques du massif tout au long de l'année, tandis que les mâles peuvent être amenés à se déplacer sur l'ensemble du massif, en particulier en période de rut ;

- la corrélation entre la spatialisation des groupes d'animaux et la séroprévalence de la brucellose dans la population : la comparaison entre les données de spatialisation et les données sérologiques obtenues au cours des campagnes de surveillance menées depuis 2013 indique que les séroprévalences des groupes de bouquetins présents dans les secteurs « Grand Bargy », « Jallouvre-Peyre » et « Petit-Bargy » sont plus élevées que celles estimées dans les secteurs « Leschaux-Andey » et « Charmieux-Buclon », et ceci quel que soit le sexe ;

- le rôle probablement plus faible joué par les mâles dans la transmission de l'infection : la répartition spatiale de l'infection est en faveur d'une contamination intra-secteur entretenue essentiellement par les femelles qui sont sectorisées, la transmission vénérienne n'intervenant que de façon secondaire entre ces secteurs. Ce mode de transmission majoritaire par les femelles se trouve ainsi confirmé par rapport aux hypothèses envisagées dans le rapport de juillet 2015 ;

- en conséquence, la période à risque d'infection pourrait correspondre essentiellement à celle des avortements brucelliques qui ont lieu pendant le dernier tiers de la gestation, soit la période de transition entre l'hiver et le printemps. A cette période, les groupes de bouquetins se rapprochent, en utilisant les premières pâtures déneigées, ce qui augmente aussi la probabilité de contact entre groupes et donc de transmission de la brucellose chez les bouquetins.

- le suivi GPS des individus équipés de collier : les données semblent indiquer que seul un faible nombre d'individus se déplace entre le massif du Bargy et celui des Aravis. Ce phénomène ne concernerait que les mâles ;

- le fond génétique des populations de bouquetins : les analyses semblent cependant confirmer qu'il existe des migrations et des événements de reproduction entre les bouquetins du Bargy et ceux des Aravis ;

- l'impact d'opérations d'abattage massif sur la structure de la population : les différentes observations depuis 2013 suggèrent que les groupes de femelles se réappariaient suite à une diminution massive du nombre d'individus ;

- les modifications récentes de la composition de la population liées aux opérations de capture-recapture avec euthanasie des animaux séropositifs et marquage des animaux négatifs : la taille de la population a été réestimée, de même que la proportion d'animaux marqués qui a fortement augmenté (123 animaux marqués sur une population estimée de 290 individus).

Les experts considèrent que l'ensemble de ces données est en effet susceptible de modifier l'évaluation du risque réalisée dans le rapport de l'Anses de juillet 2015.

Le scénario proposé par le Préfet de Haute-Savoie lors de la réunion du 13 février 2017 et repris dans cette saisine ne fait pas partie des scénarios qui avaient été évalués dans l'avis et le rapport de l'Anses de juillet 2015. Les experts du GT considèrent en conséquence qu'il est nécessaire d'évaluer ce nouveau scénario, avant de pouvoir estimer si la conduite d'une campagne d'abattage non sélectif (visant les animaux de plus de deux ans non marqués) durant le mois de juin 2017 est susceptible de compromettre l'efficacité dudit scénario. Ce travail conséquent ne peut être rendu pour le 12 mai 2017.

De plus, les experts attirent l'attention sur les incertitudes qui pourraient entourer une telle initiative : ils estiment que les opérations d'abattage au printemps représentent un risque de diffusion de la brucellose, car elles interviennent pendant la période des avortements brucelliques (fin de gestation) et des mises-bas, au cours de laquelle le risque de transmission semble être le plus élevé. Les opérations d'abattage non sélectif peuvent en effet conduire à des mouvements d'animaux et des réorganisations sociales des groupes qui augmentent les contacts intra-spécifiques et avec des sources d'infection. De surcroît, les conditions de terrain rendent souvent difficiles l'enlèvement de tous les cadavres des animaux abattus (environ un tiers n'ont pas été récupérés lors des abattages d'octobre 2015). Or les cadavres de bouquetins abattus pendant leur période d'excrétion et fortement infectés représentent une source importante de contamination brucellique pour leurs congénères et d'autres animaux présents sur place.

Par ailleurs, les experts estiment que l'urgence d'évaluation du scénario de gestion proposé n'est pas avérée comme déjà explicité lors des précédents avis, dans la mesure où, depuis l'unique foyer de 2012, aucun nouveau foyer de brucellose n'a été détecté dans les cheptels domestiques, le risque pour les animaux domestiques et pour l'Homme restant inchangé.

Les experts insistent cependant sur l'importance de maintenir la surveillance de la prévalence brucellique dans la population de bouquetins du massif du Barge avec capture, dépistage et euthanasie des animaux séropositifs au cours de l'année 2017.

Telles sont les réponses qui ont pu être apportées au cours de cette consultation en urgence.



Dr Roger GENET

Copie : Madame Nathalie HOMOBONO - Directrice générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes
Monsieur Marc MORTUREUX - Directeur général de la prévention des risques
Monsieur Yves STRUILLOU - Directeur général du travail
Monsieur Benoit VALLET - Directeur général de la santé

ANNEXE 4 : MODALITÉS DE SURVEILLANCE DES CHEPTELS DOMESTIQUES DANS LE MASSIF DU BARGY



PREFET DE LA HAUTE-SAVOIE

**Direction départementale
de la protection des populations**

Service Santé Protection Animales et Environnement

Dossier suivi par :

Secrétariat : 04.50.10.90.85

Fax : 04.50.10.90.80

Courriel : ddpp@haute-savoie.gouv.fr

Réf. départ :

Objet : brucellose BARGY / rappel protocole 2017

Seynod, le

PJ : Résumé des mesures prophylactiques 2017

Réf. Réglementaires :

- Arrêté du 22 avril 2008 modifié fixant les mesures techniques et administratives relatives à la prophylaxie collective et à la police sanitaire de la brucellose des bovins

- Arrêté du 10 octobre 2013 fixant les mesures techniques et administratives relatives à la prophylaxie collective et à la police sanitaire de la brucellose ovine et caprine

- Arrêté préfectoral N° DDPP/SPAE/2015-0099 relatif à la surveillance à mener jusqu'en décembre 2017 dans certains élevages de ruminants suite à la présence de la brucellose dans la population de bouquetins du massif du Bargy

- Arrêté préfectoral N° DDPP 2017-02103 modifiant l'arrêté préfectoral N° 2013092-002 du 02 avril 2013 relatif à la transhumance et à la mise en pâture des bovins, ovins, caprins dans le département de la Haute-Savoie

Nota bene : les mesures surlignées en jaune sont prises en charge par l'Etat.

Depuis la mise en évidence d'un foyer bovin de brucellose au Grand-Bornand, en avril 2012, suivie par la découverte d'un réservoir de cette maladie chez les bouquetins du Bargy, d'importantes mesures de surveillance renforcée ont été mises en œuvre dans les cheptels bovins, ovins et caprins qui estivent dans cette zone.

Je vous rappelle ci-après, en fonction des espèces concernées, les mesures que vous devez appliquer en 2017.

Rappel pour tous les types de troupeau :

- maintien de la vigilance vis-à-vis des avortements : je vous rappelle encore une fois l'importance de déclarer tous les avortements à votre vétérinaire sanitaire. Cette surveillance clinique est primordiale pour le dépistage et la maîtrise de la maladie.
- mesures de biosécurité : afin d'éviter les contacts entre les ruminants domestiques et les bouquetins, les mesures suivantes doivent être mises en œuvre et maintenues :
 1. retirer des alpages utilisés par le troupeau tout ce qui peut attirer les bouquetins : pierres à lécher, compléments alimentaires fournis en continu ;

2. faire preuve d'une vigilance particulière sur les zones de pâturage précoce au printemps, période où le risque est le moins faible car elle coïncide avec les mises-bas des étagnes ainsi qu'avec d'éventuels avortements tardifs de ces femelles ;
3. adapter les pratiques de conduite de troupeau : le gardiennage et/ou la présence de chien de protection permet de limiter les risques, notamment pour les cheptels ovins.

Déclaration des mouvements de transhumance :

- Transhumance individuelle des bovins : les détenteurs de bovins qui pratiquent la transhumance individuelle sont tenus de déclarer les mouvements des animaux auprès du Groupement de défense sanitaire (GDS) du département d'origine, dans les 15 jours qui précèdent le déplacement. Cette déclaration est simplifiée : elle mentionne le lieu de destination des animaux, les dates prévisionnelles de départ et de retour, le nombre d'animaux déplacés.

Une fois validée et enregistrée par le GDS de Haute-Savoie, cette déclaration sera valable pour les années suivantes à moins qu'une ou plusieurs modification(s) dans les mentions de la déclaration n'intervienne(nt). Dans ce cas, la déclaration de transhumance individuelle devra être refaite et envoyée au GDS du département d'origine dans les mêmes conditions que la précédente déclaration.

Transhumance collective des bovins : les éleveurs déclarés sur la fiche de déclaration de transhumance collective reçoivent un document de notification de transhumance qui doit être complété pour notifier les mouvements de leurs animaux auprès du gestionnaire de l'IPG du département d'origine de leur cheptel et ce dans les 7 jours qui suivent le déplacement des animaux. Cette notification comprend entre autre, le lieu de destination des animaux, la date de départ, la date prévisionnelle de retour, les numéros des animaux.

Si des modifications interviennent au cours de la saison, les mouvements sont également notifiés par l'éleveur au gestionnaire de l'IPG de son département d'origine, dans les 7 jours qui suivent l'événement, notamment en ce qui concerne les montées ou les descentes partielles, si la date prévisionnelle de descente d'alpage n'est pas respectée, en cas de vente, de mort ou de naissance.

- Transhumance des ovins et caprins : les détenteurs d'ovins ou de caprins qui pratiquent la transhumance vers un alpage du département de la Haute-Savoie sont tenus de déclarer les mouvements de leurs animaux auprès de l'EDE des Savoie, au plus tard 7 jours après le déplacement et au mieux dans les 15 jours qui précèdent le déplacement, à l'aide du document de circulation utilisé pour la notification des mouvements d'ovins et caprins par lot et conformément à l'article D.212-30-1 du CRPM. Cette déclaration mentionne le lieu de destination des animaux en précisant le nom de l'alpage, sa commune et son immatriculation EDE, les dates prévisionnelles du déplacement, l'espèce et le nombre des animaux déplacés.

Pour cette année encore, je vous confirme que le dispositif retour d'estive 2017 est pris en charge par l'Etat dans le cadre de la police sanitaire.

Etant donné l'enjeu sanitaire et économique des mesures présentées, je compte sur votre coopération et sur votre participation.

Restant à votre disposition pour des renseignements complémentaires, je vous prie d'agréer, l'expression de ma considération distinguée.

La directrice départementale
de la protection des populations,

Valérie LE BOURG

Brucellose dans le massif du Bargy
Troupeaux détenant au moins un animal qui estive dans le périmètre à risque
Résumé des mesures prophylactiques pour 2017

1°) Cheptels bovins avec vaches laitières :

- **En permanence** : déclaration obligatoire en cas d'avortement (**visite du vétérinaire sanitaire et prélèvements**) et contrôle individuel obligatoire de tout bovin vendu pour l'élevage, dans les 30 jours précédant le départ de l'exploitation ;
- **Déclaration des mouvements de transhumance**
- **Dépistage mensuel sur lait de tank ou de cuve** ;
- **Pendant l'estive 2017** : mesures de biosécurité ;
- **Dans les 15 jours suivant le retour d'estive 2017 (impérativement avant le 15/11/2017)** : dépistage facultatif possible des génisses à leur retour d'estive, sur base volontaire et aux frais du détenteur.

2°) Troupeaux de caprins laitiers :

- **En permanence** : déclaration obligatoire en cas d'avortement (**visite du vétérinaire sanitaire et prélèvements**) ;
- **Déclaration des mouvements de transhumance**
- **Entre le 1^{er} avril et le 15 mai 2017 et impérativement avant la montée en estive 2017** : prophylaxie sur une fraction du troupeau (25 % des caprins âgés de plus de 6 mois avec un minimum de 50 animaux), en privilégiant les animaux en alpage sur le Bargy en 2016 et notamment les femelles gestantes ou ayant mis bas depuis cette période ;
- **Début juillet et début août 2017** : **dépistage sur lait de tank ou de cuve** ;
- **Pendant l'estive 2017** : mesures de biosécurité ;
- **Dans les 15 jours suivant le retour d'estive 2017 (impérativement avant le 15/11/2017)** : **dépistage « de type prophylaxie » sur les animaux âgés de plus de 6 mois** ;

3°) Cheptels bovins allaitants :

- **En permanence** : déclaration obligatoire en cas d'avortement (**visite du vétérinaire sanitaire et prélèvements**) et contrôle individuel obligatoire de tout bovin vendu pour l'élevage, dans les 30 jours précédant le départ de l'exploitation ;
- **Déclaration des mouvements de transhumance**
- **Entre le 1^{er} avril et le 15 mai 2017 et impérativement avant la montée en estive 2017** : prophylaxie sur une fraction du troupeau (20 % des bovins âgés de plus de 24 mois avec un minimum de 10

animaux), en privilégiant les animaux en alpage sur le Bargy en 2016 et notamment les femelles gestantes ou ayant mis bas depuis cette période ;

- *Pendant l'estive 2017* : mesures de biosécurité ;
- *Dans les 15 jours suivant le retour d'estive 2017 (impérativement avant le 15/11/2017)* : dépistage « de type prophylaxie » sur une fraction du troupeau (idem précédemment) en ciblant préférentiellement les animaux qui viennent de descendre d'alpage ;

4°) Troupeaux d'ovins ou de caprins allaitants :

- *En permanence* : déclaration obligatoire en cas d'avortement (visite du vétérinaire sanitaire et prélèvements) ;
- *Déclaration des mouvements de transhumance*
- *Entre le 1^{er} avril et le 15 mai 2017 et impérativement avant la montée en estive 2017* : prophylaxie sur une fraction du troupeau (25 % des petits ruminants âgés de plus de 6 mois avec un minimum de 50 animaux), en privilégiant les animaux en alpage sur le Bargy en 2016 et notamment les femelles gestantes ou ayant mis bas depuis cette période ;
- *Pendant l'estive 2017* : mesures de biosécurité ;
- *Dans les 15 jours suivant le retour d'estive 2017 (impérativement avant le 15/11/2017)* : dépistage « de type prophylaxie » sur une fraction du troupeau (idem précédemment) en ciblant préférentiellement les animaux qui viennent de descendre d'alpage ;

ANNEXE 5 : SIMULATION DE TAUX DE CAPTURE ANNUELS LORS D'ÉLIMINATION SÉLECTIVE

Cette simulation repose sur le calcul de l'évolution de la prévalence dans le cas d'une gestion par capture - test au chevet de l'animal – euthanasie des positifs et marquage-relâcher des négatifs, en fonction du nombre de captures (figure 5).

A la fin d'une année N (après application des mesures de gestion), la prévalence est égale au nombre de positifs restant sur le terrain / effectifs population restante :

$$\text{Prév}_{\text{finale}} = \text{POS 2} + [\text{POS 3} + \text{POS 4} + \text{POS 5}] / [\text{EffectifPop} - N_{\text{euthanasié}}]$$

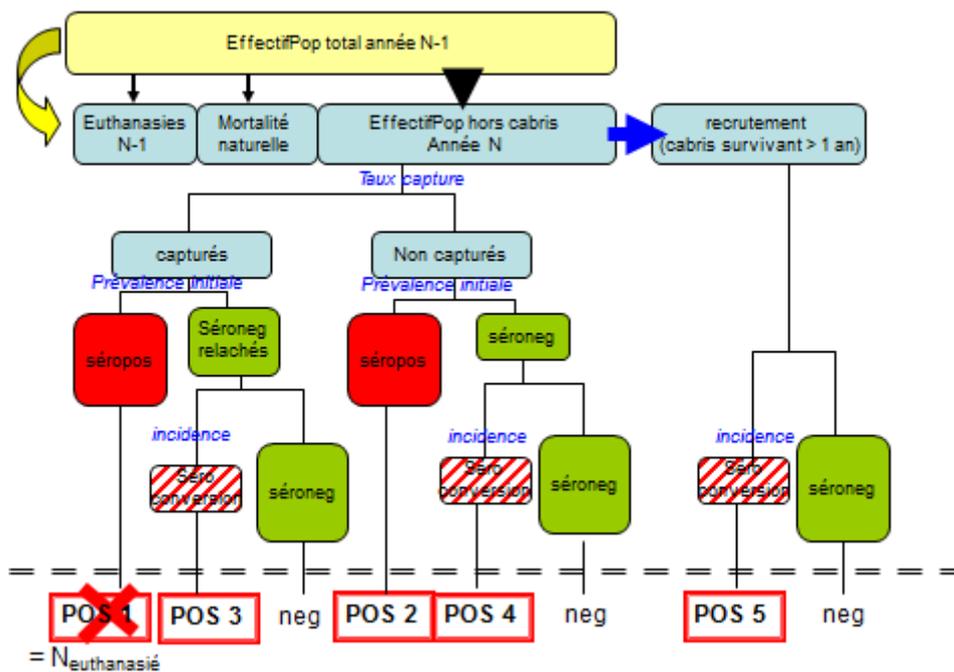


Figure 5 : calcul de l'évolution de la prévalence dans le cadre d'une élimination sélective, en fonction du taux de capture

avec :

- **POS 2** nbre de séropositifs parmi les bouquetins non capturés :

$$\text{POS 2} = N_{\text{non capturés}} \times \text{prév} = \text{EffectifPop}_{\text{hors cabris}} \times [1 - \text{taux de capture}] \times \text{prév}$$
 prév = prévalence initiale de l'année N (correspond à la prévalence obtenue à la fin de l'année N-1 après l'application des mesures de gestion)
- **POS 3 + POS 4 + POS 5** = nbre de bouquetins initialement séronégatifs qui ont séroconverti durant l'année N, parmi (3) les individus capturés, testés négatifs, marqués et relâchés ; (4) les individus non capturés séronégatifs et (5) les individus naïfs ajoutés par le renouvellement démographique

$$N_{\text{pos séroconversion}} = \text{incidence} \times [N_{\text{neg capturés-relâchés}} + N_{\text{neg non capturés}} + \text{recrut}]$$

$$= \text{incidence} \times [\text{EffectifPop}_{\text{hors cabris}} \times (1 - \text{prév}) + \text{recrut}]$$
- **EffectifPop_N** = taille du noyau de population de l'année N ; elle est estimée comme suit :
 l'évolution d'une année sur l'autre est égale à l'effectif de l'année N-1 diminué de la mortalité (naturelle et par abattage), auquel on ajoute le recrutement,
 soit $\text{EffectifPop}_N = \text{EffectifPop}_{\text{hors cabris}} + \text{recrut}$

$$[\text{EffectifPop}_{N-1} - N_{\text{eutha}N-1} - N_{\text{Mortalité}}]$$

où :

- EffectifPop_{N-1} = effectif initial année N-1
- N_{eutha}N-1 = nombre d'individus euthanasiés suite capture et test positif, lors de l'année N-1
- N_{Mortalité} = taux mortalité (i) x [EffectifPop_{N-1} - N_{eutha}N-1]
 - (i) le taux de mortalité est ramené à un taux moyen fixe affectant toutes les classes d'âge hors cabris (pour simplifier, on ne prend pas en compte la variation de la survie en fonction des classes d'âge et de la densité-dépendance). Il est fixé à 0,08
- recrut (recrutement) = cabris qui survivront à leur première année de vie = EffectifPop_N x 0,2 (ii)
 - (ii) Le taux de recrutement est fixé à 0,2, correspondant à la situation d'une population ancienne ; ce chiffre est compatible avec les ratios cabris / femelle relevés sur le terrain en 2014-2015-2016.

NB : La combinaison des deux taux donne un lambda (taux de multiplication = EffectifPop_{N+1} / EffectifPop_N sans prendre en compte les euthanasies) égal à 1,1 ce qui est compatible avec les données de terrain.

- **N_{euthanasié}** le nombre d'animaux euthanasiés :
c'est le nombre d'animaux capturés et s'avérant séropositifs

$$N_{\text{eutha}} = N_{\text{capturés}} \times \text{prév}$$

avec :

$$N_{\text{capturés}} = \text{EffectifPop}_{\text{hors cabris}} \times [\text{taux de capture}]$$

Pour estimer l'évolution de la prévalence, on part d'une situation donnée (par exemple : 70 %, 50 %, 35 %, 10 % correspondant aux valeurs obtenues sur le terrain pour chaque secteur) et on applique le calcul de façon itérative sur quelques années.

Avertissement : ces calculs restent très sommaires, ils ne prennent pas en compte l'évolution de l'incidence dans le temps ni la variabilité chez le bouquetin de la survie, de l'exposition avec l'âge, etc... Leur intérêt est néanmoins d'illustrer l'influence de facteurs tels que la prévalence initiale ou l'incidence, vis-à-vis de l'effort de capture à déployer pour obtenir un abaissement. Des travaux de modélisation prenant mieux en compte la complexité du fonctionnement épidémiologique sont en cours pour préciser ces valeurs.

Les experts ont pris pour hypothèses de calcul :

- effectif initial zone cœur = 150 (soit environ la moitié de la taille de la population de bouquetin du Bargy estimée fin 2016)
- mortalité adulte : ramenée à un chiffre uniforme de 8% (donnée moyenne en dynamique de population des bouquetins)
- lambda (accroissement de la population sans tenir compte des actions de gestion) : 1,10,

Ils ont fait varier : (1) le taux d'incidence (taux de séroconversion annuel des animaux séronégatifs) de 6 à 12 séroconversions par 100 individus.années (ce taux est appliqué aux individus capturés révélés séronégatifs, ainsi qu'au « recrutement » = supplément annuel d'individus issus des naissances) et (2) la prévalence initiale du secteur : de 70 % (pour Jallouvre-Peyre) à 10 % (Charmieux-Buclon ou Leschaux-Andey). Les résultats sont présentés au tableau 2.

incidence (taux séroconversion des séroneg)	prév initiale	taux de capture annuel (avec euthanasie des positifs) pour diminuer la prévalence de moitié à 5 ans
0,06	70 %	13%
0,06	50 %	18%
0,06	35 %	27%
0,06	10 %	99%
0,08	70 %	18%
0,08	50 %	25%
0,08	35 %	37%
0,08	10 %	prév ne bouge pratiquement pas
0,1	70 %	20%
0,1	50 %	33%
0,1	35 %	49%
0,1	10 %	prév ne bouge pratiquement pas
0,12	70 %	28%
0,12	50 %	40%
0,12	35 %	62%
0,12	10 %	prév ne bouge pratiquement pas

Tableau 2 : simulation du taux de capture annuel (proportion de la population à capturer chaque année) à appliquer pour diminuer la prévalence de moitié en 5 ans, en fonction de l'incidence et de la prévalence initiale