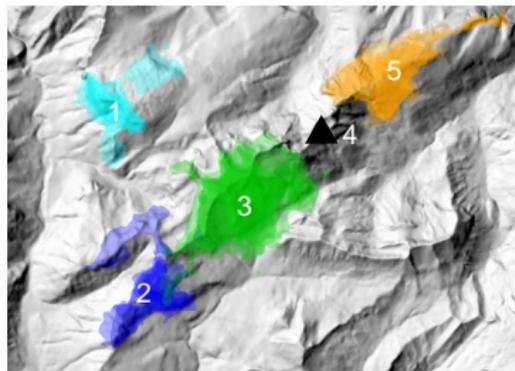


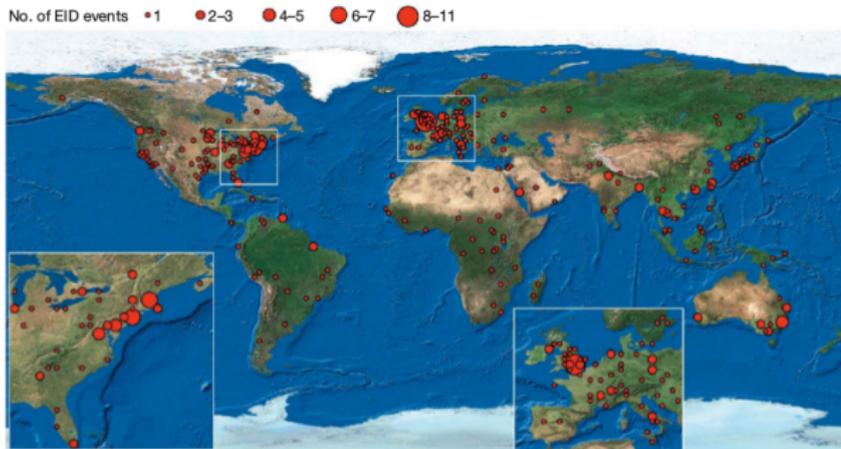
## Structure sociospatiale et séroprévalence à la brucellose dans la population de bouquetins du massif du Bargy (Haute-Savoie, France)

Pascal Marchand, Pauline Freycon, Jean-Philippe Herbaux, Yvette Game, Carole Toïgo, Emmanuelle Gilot-Fromont, Sophie Rossi et Jean Hars



Congrès du GEEFSM 2016 – 30 septembre 2016 – Laruns (64)

## (Ré-)Emergence de nombreuses maladies infectieuses... avec des réservoirs dans la faune sauvage

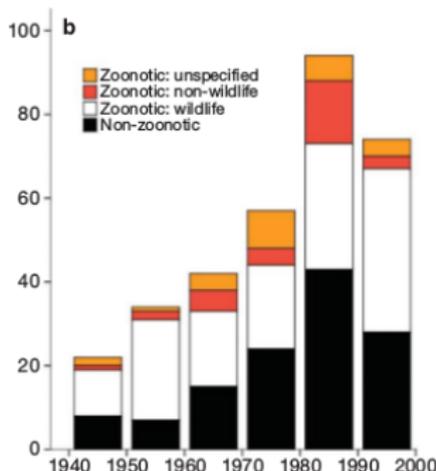


**Figure 2 | Global richness map of the geographic origins of EID events from 1940 to 2004.** The map is derived for EID events caused by all pathogen types. Circles represent one degree grid cells, and the area of the circle is proportional to the number of events in the cell.

“71.8% of these zoonotic EID events were caused by pathogens with a wildlife origin”

Jones et al. (2008) *Nature*, 451 : 990-994

## (Ré-)Emergence de nombreuses maladies infectieuses... avec des réservoirs dans la faune sauvage



**Figure 1 | Number of EID events per decade.** EID events (defined as the temporal origin of an EID, represented by the original case or cluster of cases that represents a disease emerging in the human population—see Methods) are plotted with respect to **a**, pathogen type, **b**, transmission type, **c**, drug resistance and **d**, transmission mode (see keys for details).

“71.8% of these zoonotic EID events were caused by pathogens with a wildlife origin”

Jones et al. (2008) *Nature*, 451 : 990-994

## dans ce contexte, les grands herbivores...

de nombreux points communs avec les herbivores domestiques

- besoins alimentaires donc habitat
- comportements
- pathogènes...



Jolles et al. (2015) *Journal of Mammalogy*, 96 : 4–15  
Fritz & Loison (2006) dans *Large herbivores across biomes*, 19-49  
Garcia-Martinez et al (2009) *Animal*, 3 : 152–165.

## dans ce contexte, les grands herbivores...

de nombreux points communs avec les herbivores domestiques

- besoins alimentaires donc habitat
- comportements
- pathogènes...

des populations en plein développement

- numérique
- spatial



Jolles et al. (2015) *Journal of Mammalogy*, 96 : 4–15  
Fritz & Loison (2006) dans *Large herbivores across biomes*, 19-49  
Garcia-Martinez et al (2009) *Animal*, 3 : 152–165.

## dans ce contexte, les grands herbivores...

### de nombreux points communs avec les herbivores domestiques

- besoins alimentaires donc habitat
- comportements
- pathogènes...

### des populations en plein développement

- numérique
- spatial

### des pratiques pastorales qui ont évoluées

- des troupeaux plus importants
- une présence humaine moins importante



Jolles et al. (2015) *Journal of Mammalogy*, 96 : 4–15  
Fritz & Loison (2006) dans *Large herbivores across biomes*, 19-49  
Garcia-Martinez et al (2009) *Animal*, 3 : 152–165.

## dans ce contexte, les grands herbivores...

### de nombreux points communs avec les herbivores domestiques

- besoins alimentaires donc habitat
- comportements
- pathogènes...

### des populations en plein développement

- numérique
- spatial

### des pratiques pastorales qui ont évoluées

- des troupeaux plus importants
- une présence humaine moins importante

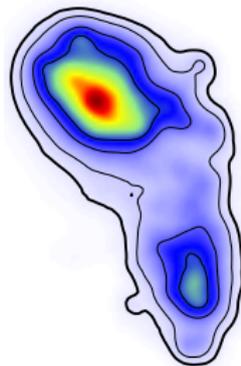
**CONTACTS  
SAUVAGES-SAUVAGES ET  
DOMESTIQUES-  
SAUVAGES**

Jolles et al. (2015) *Journal of Mammalogy*, 96 : 4–15  
Fritz & Loison (2006) dans *Large herbivores across biomes*, 19-49  
Garcia-Martinez et al (2009) *Animal*, 3 : 152–165.

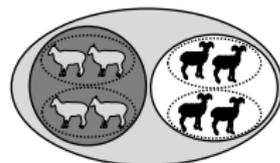
# Les grands herbivores, de l'écologie à l'épidémiologie

## Ecologie spatiale

- philopatrie, domaine vital
- variations saisonnières de la sélection de l'habitat
- migration (partielle)
- ségrégation liée à l'habitat



(B) Ségrégation liée à l'habitat



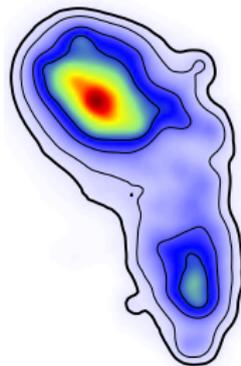
# Les grands herbivores, de l'écologie à l'épidémiologie

## Ecologie spatiale

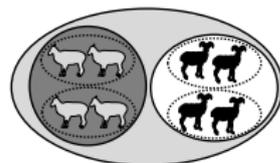
- philopatrie, domaine vital
- variations saisonnières de la sélection de l'habitat
- migration (partielle)
- ségrégation liée à l'habitat

## Comportement social

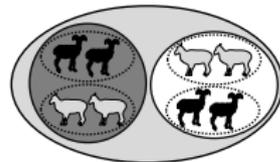
- grégarisme
- ségrégation sexuelle
- ségrégation sociale



(B) Ségrégation liée à l'habitat



(C) Ségrégation sociale



# Les grands herbivores, de l'écologie à l'épidémiologie

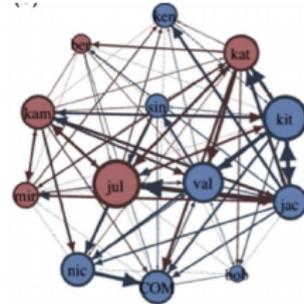
## Ecologie spatiale

- philopatrie, domaine vital
- variations saisonnières de la sélection de l'habitat
- migration (partielle)
- ségrégation liée à l'habitat

## Comportement social

- grégarisme
- ségrégation sexuelle
- ségrégation sociale

**Le challenge : comprendre comment le fonctionnement spatial et social peut influencer l'épidémiologie**



## Bouquetins et brucellose dans le massif du Bargy (Haute-Savoie, France)

2012-13

- quelques éléments sur la ségrégation sexuelle, sociale et liée à l'habitat (Villaret & Bon 1995, 1997)
- ? effectifs & dynamique de la population ?
- ? distribution / utilisation de l'espace par les bouquetins ?
- ? déplacements entre massifs (Aravis, Sous-Dine) ?
- ? risques de transmissions inter- (patûres) et intraspécifiques ?
- ? autres espèces ?
- ? épidémiologie ?

# Bouquetins et brucellose dans le massif du Bargy (Haute-Savoie, France)

2012-13

- quelques éléments sur la ségrégation sexuelle, sociale et liée à l'habitat (Villaret & Bon 1995, 1997)
- ? effectifs & dynamique de la population ?
- ? distribution / utilisation de l'espace par les bouquetins ?
- ? déplacements entre massifs (Aravis, Sous-Dine) ?
- ? risques de transmissions inter- (patûres) et intraspécifiques ?
- ? autres espèces ?
- ? épidémiologie ?

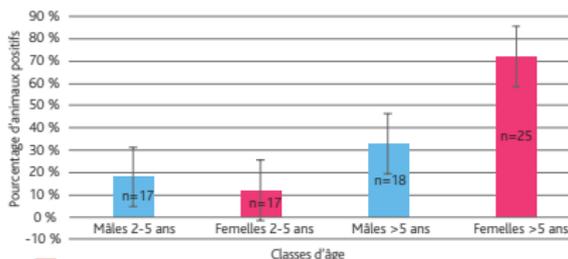
## Une batterie complète de suivis

- démographie : CMR + indices d'abondance + reproduction
- suivi sanitaire + biométrie
- spatial : VHF + GPS
- suivi spécifique de l'utilisation des patûres
- surveillance sanitaire : autres ongulés de montagne et herbivores domestiques

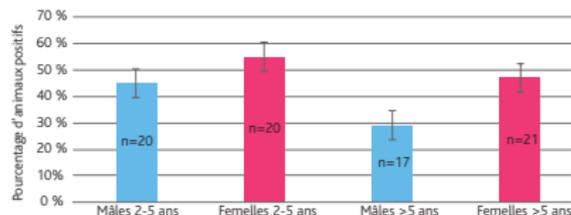
# Bouquetins et brucellose dans le massif du Bargy (Haute-Savoie, France)

depuis...

- estimations d'effectifs fiables
- rares déplacements entre Bargy et autres massifs (n=4, Bargy-Aravis)
- risque faible de contacts avec les troupeaux domestiques
- autres ongulés peu (1 chamois / 55) ou pas infectés (cerf, chevreuil)
- plusieurs éléments en faveur d'une transmission majoritairement sexuelle
  - ▶ état initial : "vieux" >> "jeunes"
  - ▶ augmentation de la séroprévalence des "jeunes" après abattages de nombreux "vieux"



2013 : séroprévalence : vieux > jeunes



2014 : séroprévalence : jeunes ≈ vieux

jeunes 2014 >> jeunes 2013

## Bouquetins et brucellose dans le massif du Bargy (Haute-Savoie, France)

### depuis...

- estimations d'effectifs fiables
- rares déplacements entre Bargy et autres massifs (n=4, Bargy-Aravis)
- risque faible de contacts avec les troupeaux domestiques
- autres ongulés peu (1 chamois / 55) ou pas infectés (cerf, chevreuil)
- plusieurs éléments en faveur d'une transmission majoritairement sexuelle
  - ▶ état initial : "vieux" >> "jeunes"
  - ▶ augmentation de la séroprévalence des "jeunes" après abattages de nombreux "vieux"

### et 1 hypothèse récurrente : une structuration spatiale de la brucellose ?

- SD74 : "des secteurs avec forte/faible séroprévalence"
- saisine ANSES : "Colombière / Reposoir >> Roc des Tours / Leschaux"
- origine de cette structuration ?

## Une structuration de la brucellose en lien avec l'écologie spatiale des bouquetins ?

1. Y a-t'il une structuration spatiale des individus suivis par colliers GPS ?
2. Si oui, permet-elle de mieux comprendre les résultats sanitaires ?



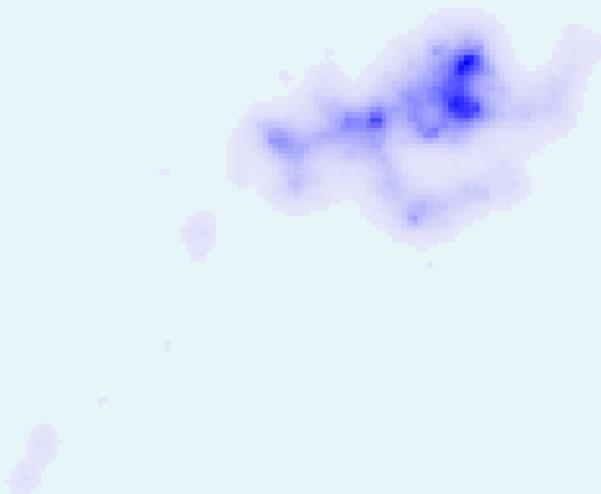
### Suivi par colliers GPS

- colliers Vectronic GPS Plus
- 1 localisation par heure en continu
- depuis 2013, 37 individus > 6 mois (16 mâles et 21 femelles)

## Matériel et Méthodes (2)

### Analyse du chevauchement spatial entre individus

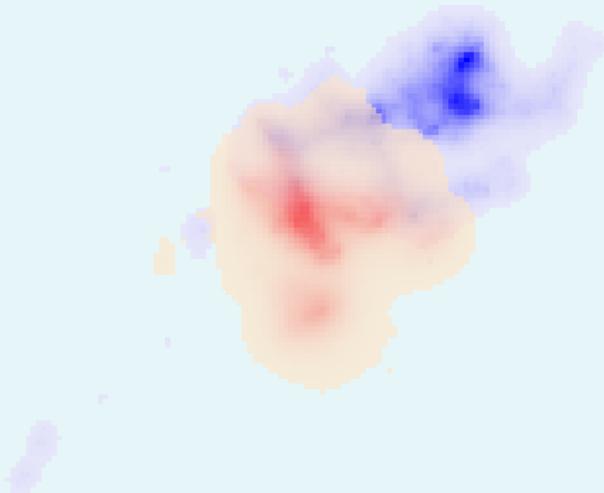
- distributions individuelles d'utilisation de l'espace (BRB)



## Matériel et Méthodes (2)

### Analyse du chevauchement spatial entre individus

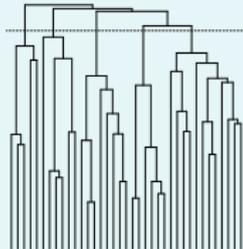
- distributions individuelles d'utilisation de l'espace (BRB)
- chevauchement en volume = distance entre les individus



## Matériel et Méthodes (2)

### Analyse du chevauchement spatial entre individus

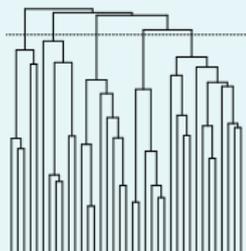
- distributions individuelles d'utilisation de l'espace (BRB)
- chevauchement en volume = distance entre les individus
- analyse en clusters hiérarchiques → groupes spatiaux



## Matériel et Méthodes (2)

### Analyse du chevauchement spatial entre individus

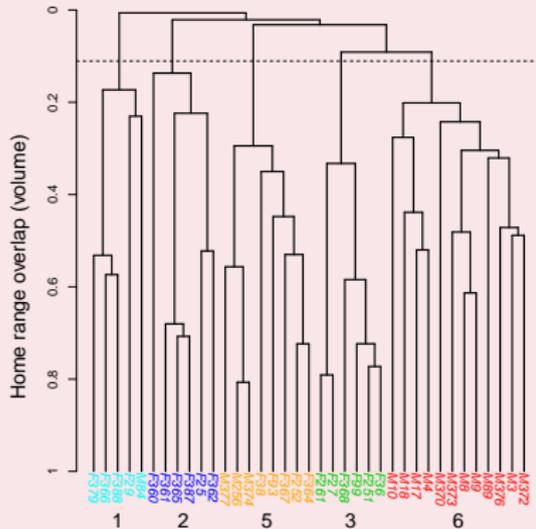
- distributions individuelles d'utilisation de l'espace (BRB)
- chevauchement en volume = distance entre les individus
- analyse en clusters hiérarchiques → groupes spatiaux



- ces groupes contribuent-ils aux variations de séroprévalence (données 2012-15) ?
  - ▶ chaque individu testé (n=246) affilié au groupe spatial le plus proche du lieu de capture
  - ▶ ordination de modèles de régression logistique et "model-averaging" (AIC)
  - ▶ effets testés : sexe, âge, avant/après abattage 2013 et groupes spatiaux

# Résultats

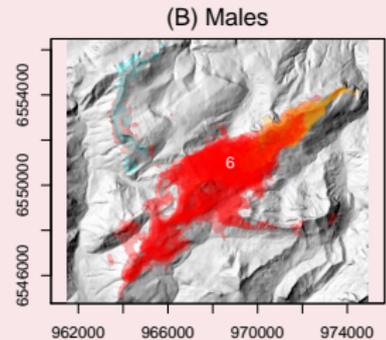
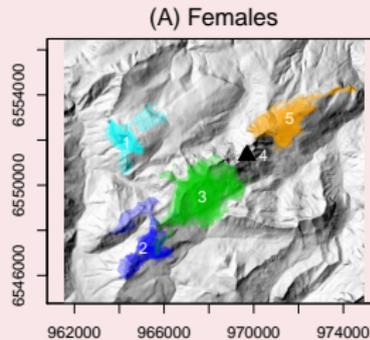
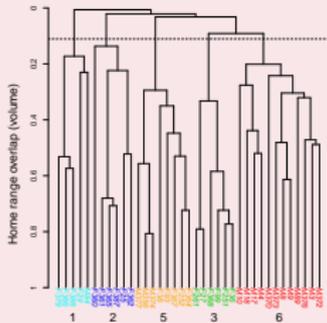
## 5 groupes identifiés (chevauchement < 10%)



- les femelles se répartissent dans 4 groupes différents (n°1, 2, 3, 5)
- 1 groupe exclusivement composé de mâles (n°6)

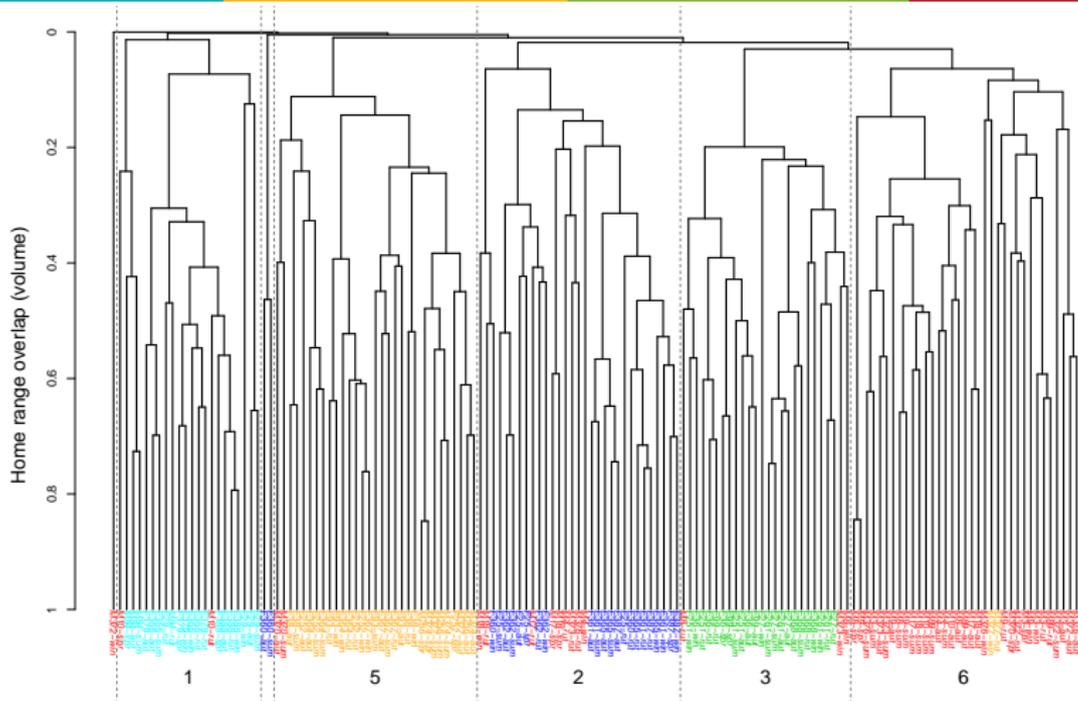
## Résultats (2)

### Une structuration forte des femelles, pas des mâles



- groupe de femelles → structure spatiale forte
- le groupe des mâles ( $n^{\circ}6$ ) chevauche tous les groupes de femelles

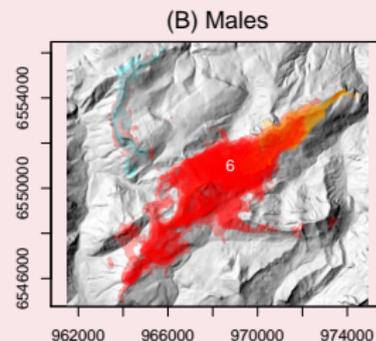
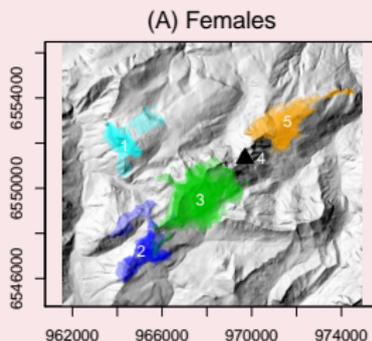
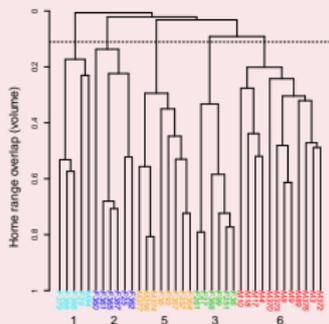
## Résultats (2)



classification hiérarchique avec domaines vitaux saisonniers

## Résultats (2)

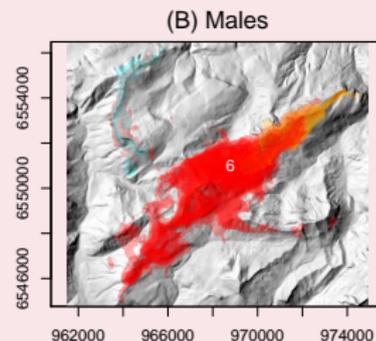
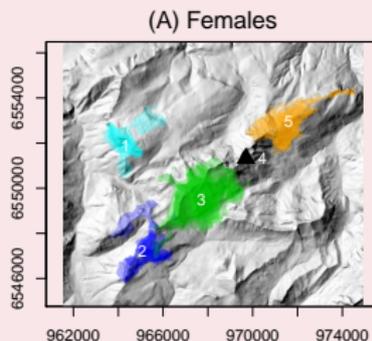
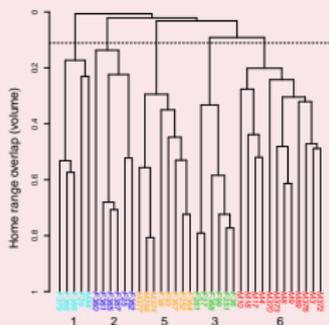
### Une structuration forte des femelles, pas des mâles



- groupe de femelles → structure spatiale forte
- le groupe des mâles ( $n^{\circ}6$ ) chevauche tous les groupes de femelles
- domaines vitaux saisonniers : 9/17 = mâles durant le rut (puis hiver-printemps suivants)

## Résultats (2)

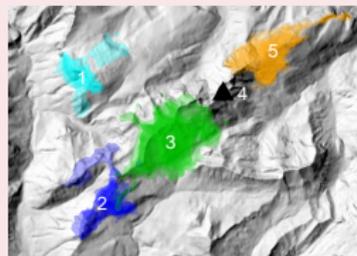
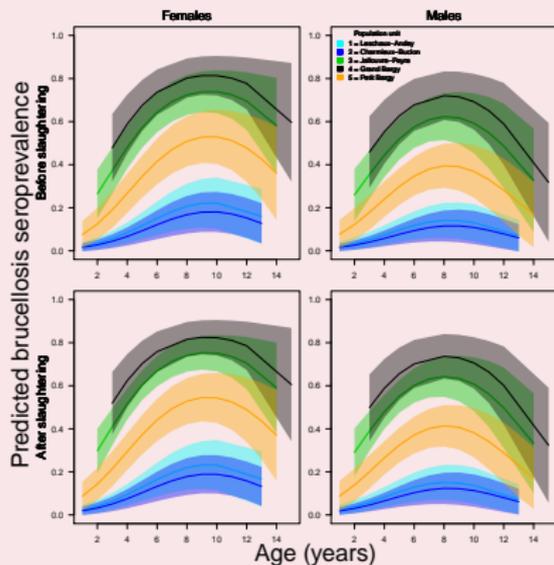
### Une structuration forte des femelles, pas des mâles



- groupe de femelles  $\rightarrow$  structure spatiale forte
- le groupe des mâles ( $n^{\circ}6$ ) chevauche tous les groupes de femelles
- domaines vitaux saisonniers : 9/17 = mâles durant le rut (puis hiver-printemps suivants)
- $\blacktriangle$  ( $n^{\circ}4$ ) : secteur sans femelle GPS  $\rightarrow$  groupe indéfini

## Résultats (3)

Avec l'âge, cette structuration spatiale est le facteur majeur de variation de la séroprévalence à la brucellose



- de très fortes variations entre groupes spatiaux
- augmentation de la séroprévalence jusqu'à 8-10 ans, puis chute (plus forte chez mâles)
- pas de différence avant/après abattage 2013

## Discussion → résultats avant/après abattage 2013 ?

### Nombre d'individus de 2 à 5 ans testés par secteur

Secteur	2012-13	2014
Leschaux-Andey	4	2
Charmieux-Buclon	7	0
<b>faible séroprévalence</b>	<b>11</b>	<b>2</b>
Jallouvre-Peyre	12	26
Grand Bargy	3	4
Petit Bargy	7	7
<b>forte seroprévalence</b>	<b>22</b>	<b>37</b>
<b>total</b>	<b>33</b>	<b>39</b>

→ un biais d'échantillonnage !

en 2012/13 : 33% (11/33) dans secteurs à faible séroprévalence

en 2014 : 5% (2/39) dans secteurs à faible séroprévalence

(conditions nivologiques très différentes entre 2013 et 2014)

## Discussion → résultats avant/après abattage 2013 ??

### Analyse des données “jeunes” des secteurs à forte séroprévalence

- secteurs = Jallouvre-Peyre, Grand Bargy et Petit Bargy
- que les individus de 2 à 5 ans (“anciennes” classes d’âge)
- effet avant/après abattage

## Discussion → résultats avant/après abattage 2013 ??

### Analyse des données “jeunes” des secteurs à forte séroprévalence

- secteurs = Jallouvre-Peyre, Grand Bargy et Petit Bargy
- que les individus de 2 à 5 ans (“anciennes” classes d’âge)
- effet avant/après abattage
  
- AVANT abattage : 4 séro+ / 19 soit **21.0%**
- APRES abattage : 30 séro+ / 76 soit **39.5%**
- *p-value* = **0.064**

## Discussion → résultats avant/après abattage 2013 ??

### Analyse des données “jeunes” des secteurs à forte séroprévalence

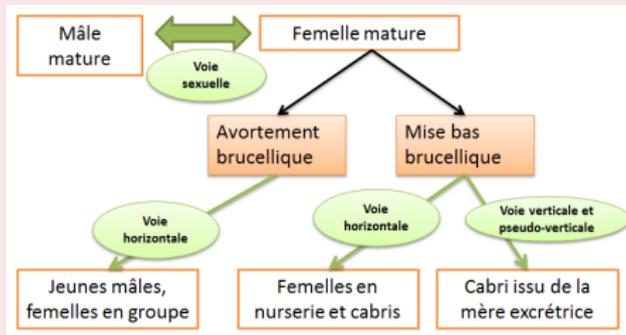
- secteurs = Jallouvre-Peyre, Grand Bargy et Petit Bargy
- que les individus de 2 à 5 ans (“anciennes” classes d’âge)
- effet avant/après abattage
  
- AVANT abattage : 4 séro+ / 19 soit **21.0%**
- APRES abattage : 30 séro+ / 76 soit **39.5%**
- *p-value* = **0.064**
  
- → quand même un effet “abattage” ?
  - ▶ réorganisation socio- et/ou spatiale ?
  - ▶ accès à la reproduction ?
  - ▶ autre ?

## Discussion → voies de transmission

### Une transmission intraspécifique majoritairement non sexuelle

- structuration spatiale de la brucellose malgré déplacements des mâles pendant le rut
- décroissance de la séroprévalence des “vieux” mâles malgré leur investissement accru dans le rut
- Villaret & Bon (1995) : ségrégation sexuelle augmente avec l'âge des mâles

→ transmission majoritairement non sexuelle  
qui n'exclut pas une transmission sexuelle minoritaire (inter-groupes)



## Discussion → Vers une meilleure compréhension ?



### Consolider ces connaissances

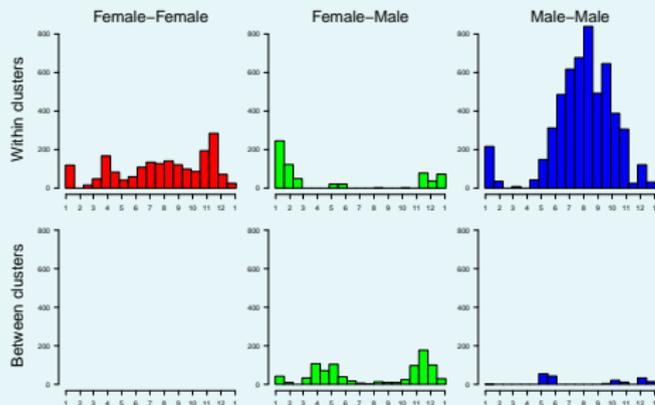
- valider/affiner cette structuration spatiale
- association lieu de capture/abattage et secteur ?

## Discussion → Vers une meilleure compréhension ?

### Consolider ces connaissances

- valider/affiner cette structuration spatiale
- association lieu de capture/abattage et secteur ?

### Patrons de contacts dans l'espace et dans le temps



- fin d'hiver/printemps
  - ▶ avortements
  - ▶ regroupements sur les patûres déneigées
  - ▶ période des captures d'où résultats

## Discussion → Vers une meilleure compréhension ?

### Consolider ces connaissances

- valider/affiner cette structuration spatiale
- association lieu de capture/abattage et secteur ?

### Patrons de contacts dans l'espace et dans le temps

### Un modèle épidémiologique spatialement explicite

- mesurer l'efficacité des différents modes de gestion possible en tenant compte de cette structuration spatiale
- ... y compris une gestion différenciée en fonction des secteurs

# Remerciements

- aux agents ONCFS du SD74



## Remerciements

- aux agents ONCFS du SD74
- à Jean HARS



## Remerciements



- aux agents ONCFS du SD74
- à Jean HARS
- à Amélie VANISCOTTE  
et Elodie PETIT

## Remerciements



- aux agents ONCFS du SD74
- à Jean HARS
- à Amélie VANISCOTTE  
et Elodie PETIT
- à tous ceux qui les aident pour les suivis (autres services, vétérinaires,...)

## Remerciements



- aux agents ONCFS du SD74
- à Jean HARS
- à Amélie VANISCOTTE  
et Elodie PETIT
- à tous ceux qui les aident pour les suivis (autres services, vétérinaires,...)
- à la FDC74 et ASTERS-Conservatoire d'Espaces Naturels 74

## Remerciements



- aux agents ONCFS du SD74
- à Jean HARS
- à Amélie VANISCOTTE  
et Elodie PETIT
- à tous ceux qui les aident pour les suivis (autres services, vétérinaires,...)
- à la FDC74 et ASTERS-Conservatoire d'Espaces Naturels 74
- à l'organisation du GEEFSM 2016

**Merci à vous !**

