



**HAL**  
open science

## **Anaplasma phagocytophilum chez les ongulés de montagne : prévalence et facteurs de risque dans plusieurs massifs français**

Louison Blin, Ariane Payne, Suzanne Bastian, Carole Toïgo, Philippe Gibert,  
Hélène Thibert, Pascal Marchand, Jean-Michel Jullien, Thibaut Amblard, Mathieu  
Beurier, et al.

### ► To cite this version:

Louison Blin, Ariane Payne, Suzanne Bastian, Carole Toïgo, Philippe Gibert, et al.. Anaplasma phagocytophilum chez les ongulés de montagne : prévalence et facteurs de risque dans plusieurs massifs français. 42ème rencontres du GEEFSM, Oct 2025, Ordino, Andorre. <hal-05324507>

**HAL Id: hal-05324507**

**<https://hal.science/hal-05324507v1>**

Submitted on 21 Oct 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

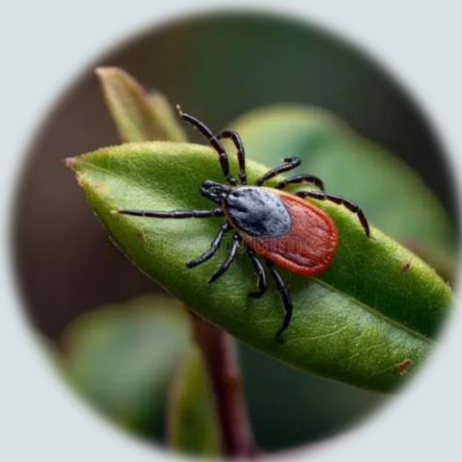
L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons CC0 1.0 - Universal - International License

# *ANAPLASMA PHAGOCYTOPHILUM* CHEZ LES ONGULÉS DE MONTAGNE : PRÉVALENCE ET FACTEURS DE RISQUE DANS PLUSIEURS MASSIFS FRANÇAIS

BLIN L., PAYNE A., BASTIAN S., TOÏGO C., GIBERT P., THIBERT H., MARCHAND P., JULLIEN J-M., AMBLARD T.,  
BEURIER M., ITTY C., LARUE M., ROZEC X., MENAUT P., BUFFARD E., DUHAYER J., GAREL M.



### Enjeux liés à *A. phagocytophilum*



économiques  
pour l'élevage



de santé  
publique

## Réchauffement climatique : aggravation du risque

Augmentation du temps d'affût/activité

Expansion des habitats favorables

Réduction des durées des cycles de vie

Meilleure survie



## Ecosystèmes de montagne particulièrement intéressants dans ce contexte

Plus exposés aux changements climatiques que d'autres écosystèmes



Contrastes environnementaux exacerbés



## Ongulés : excellents modèles d'étude

Hôtes principaux des stades adultes de nombreuses espèces de tiques

Grande diversité d'espèces

Populations abondantes

Biologie bien décrite



## Nombreuses espèces d'ongulés infectées

Peu ou pas de connaissance du niveau de prévalence sauf chez le chevreuil...



...niveau de prévalence moyen (18%) à très élevé (99%)

## Epidémiologie peu comprise

Vecteur principal en France : *Ixodes ricinus*

Diversité d'hôtes

Diversité d'écotypes

Principalement écotypes I et II



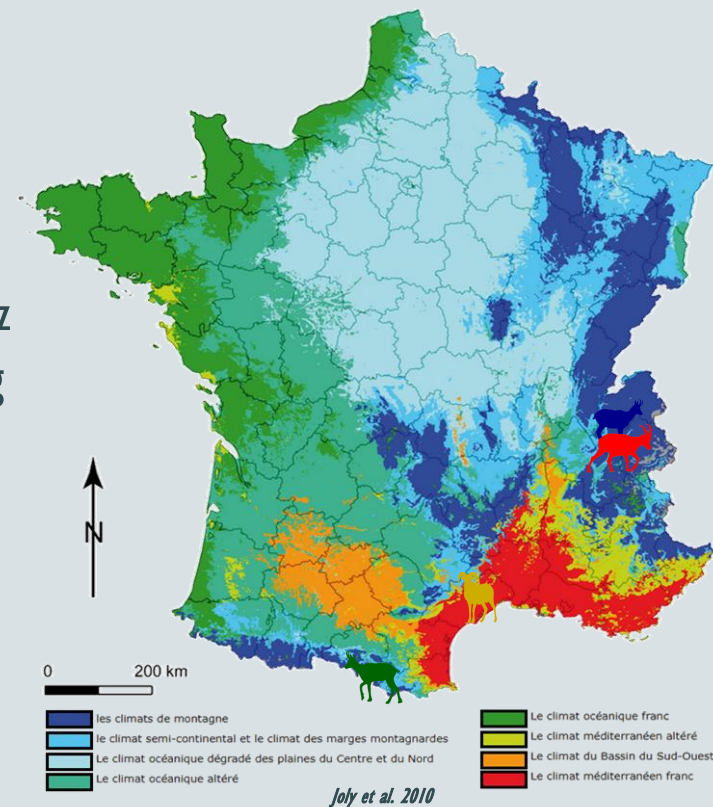
**Quels sont les niveaux de prévalence d'*A. phagocytophilum* chez les ongulés de montagne, et quels facteurs écologiques et individuels en conditionnent la présence ?**



# ORIGINE DES DONNEES

Suivis dans 4 espaces de montagne adossés à des suivis biométriques et GPS de quelques individus

De 2010 à 2023, suivi annuel d'*A. phagocytophilum* dans 4 espèces chez 4 espèces par PCR sur sang

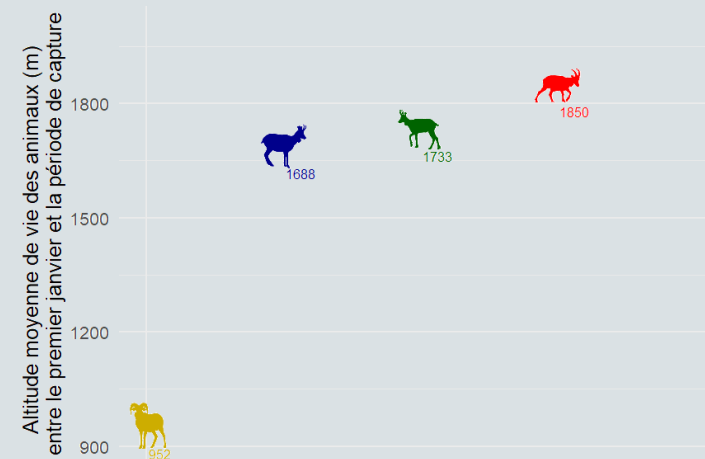
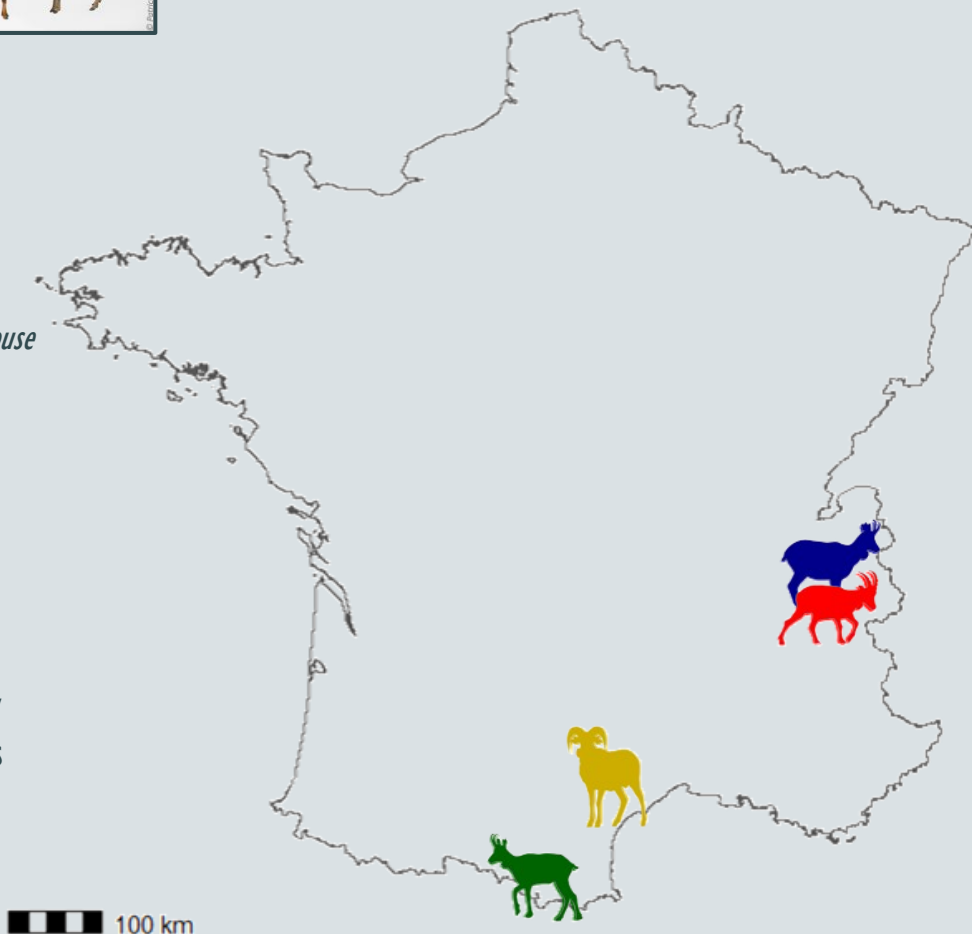


**Mouflon**  
RNCFS de Caroux-Espinouse  
208 individus

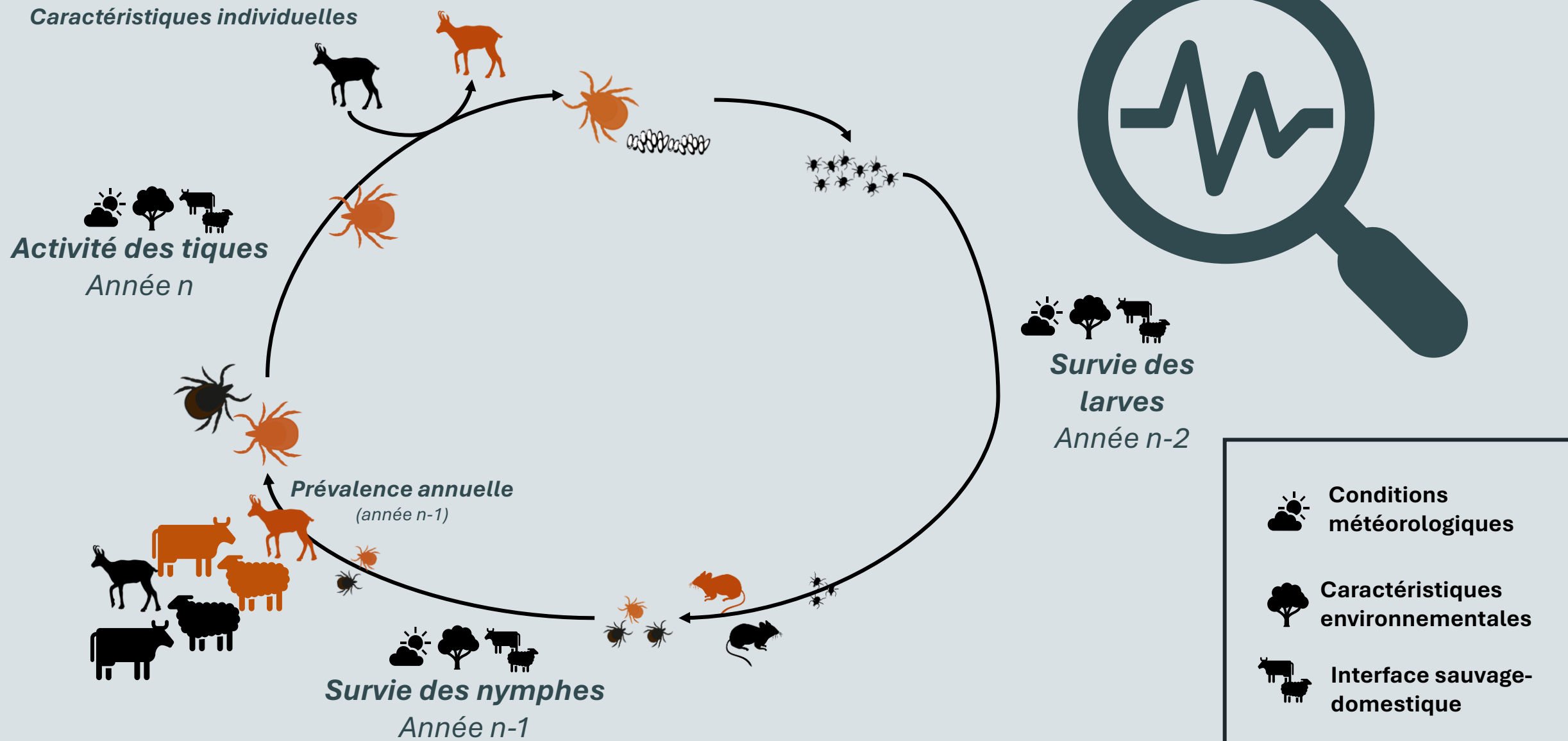
**Isard**  
RNCFS d'Orlu  
86 individus

**Chamois**  
RNCFS des Bauges  
177 individus

**Bouquetin**  
RNCFS de Belledonne  
155 individus



# SCHEMA CONCEPTUEL



# CONSTRUCTION DES VARIABLES

## DÉFINITION DES SOUS-POPULATIONS INTRA-SITE



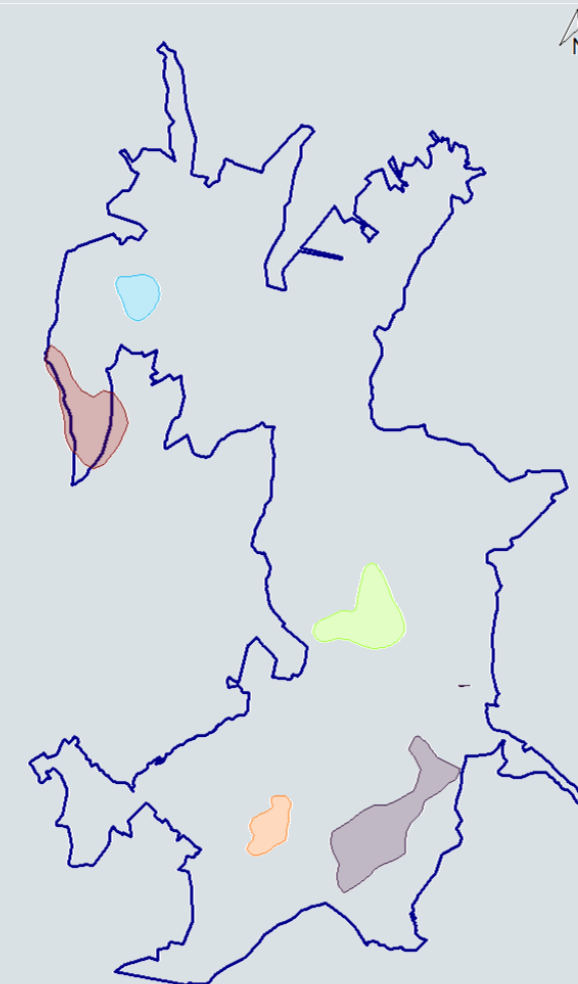
En fonction de son **site de capture**,  
chaque individu est rattaché à une  
**sous-population**



Nous utilisons les données fournies par les  
colliers GPS de quelques individus équipés pour  
tracer le **domaine vital** de chaque sous-  
population (50% des lieux les plus occupés)

800 m

● Armenaz ● Charbonnet ● Coutarse ● Pecloz ● Pleuven



800 m

■ Armenaz ■ Charbonnet ■ Coutarse ■ Pecloz ■ Pleuven

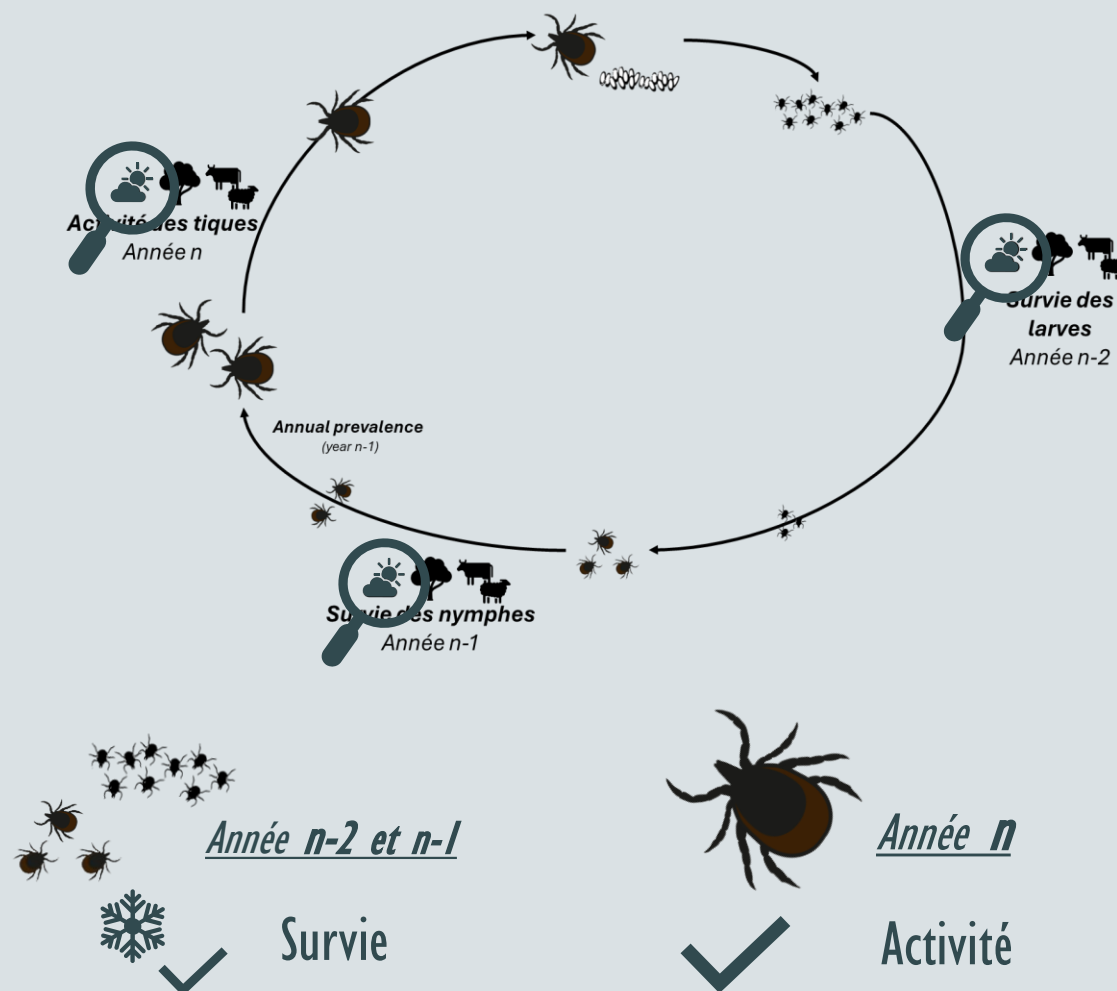
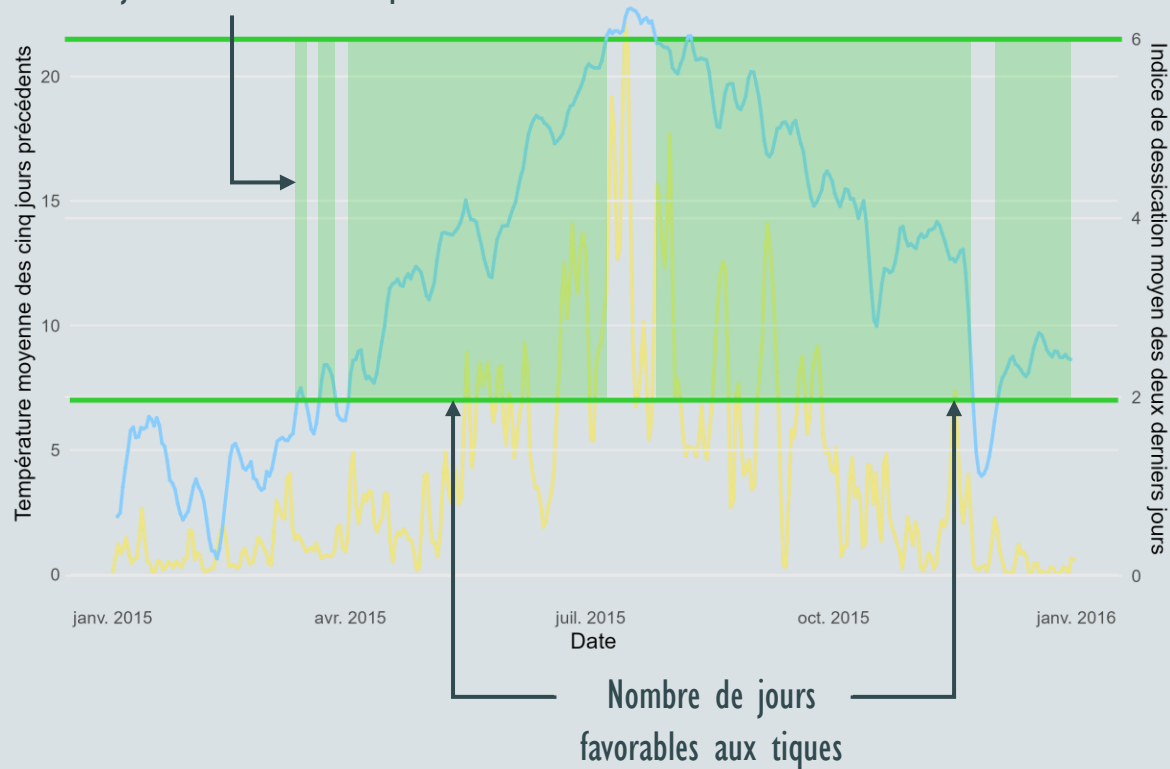
## RÉSUMÉ DES VARIABLES

### Conditions météorologiques

☃ Moyenne des minimales journalières en hiver

✓ Nombre de jours favorables aux tiques

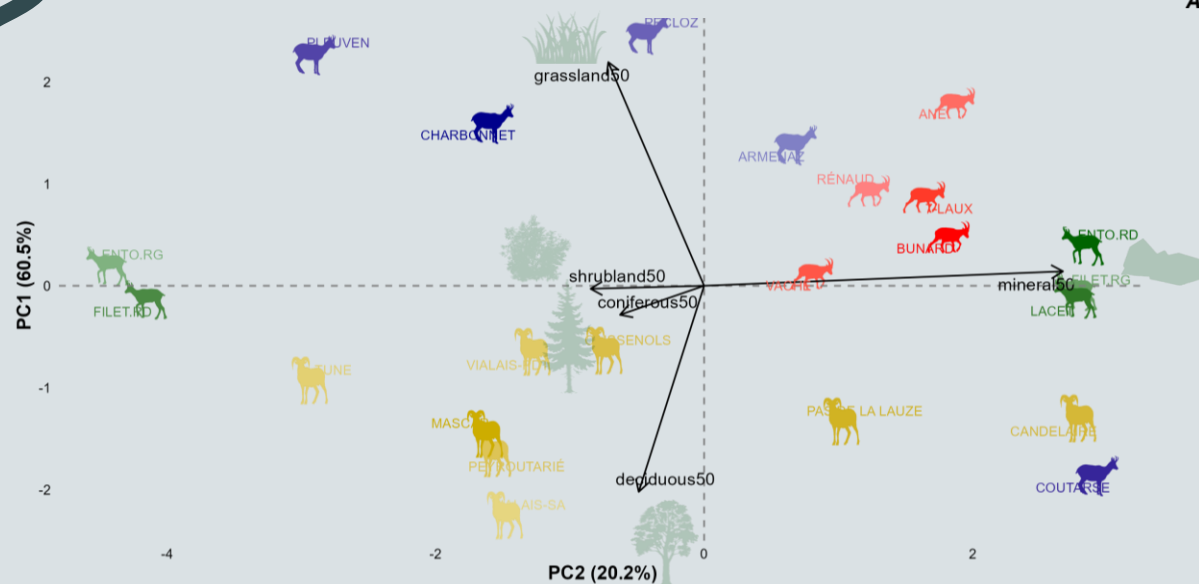
Premier jour favorable aux tiques



# RÉSUMÉ DES VARIABLES

## Conditions environnementales

Résumé des variables habitat avec une ACP :



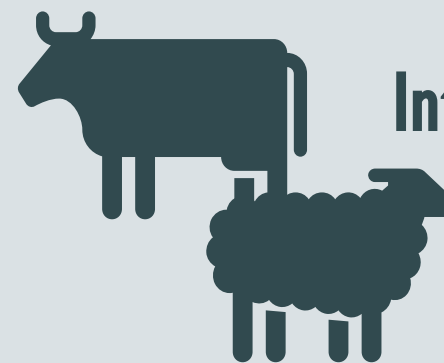
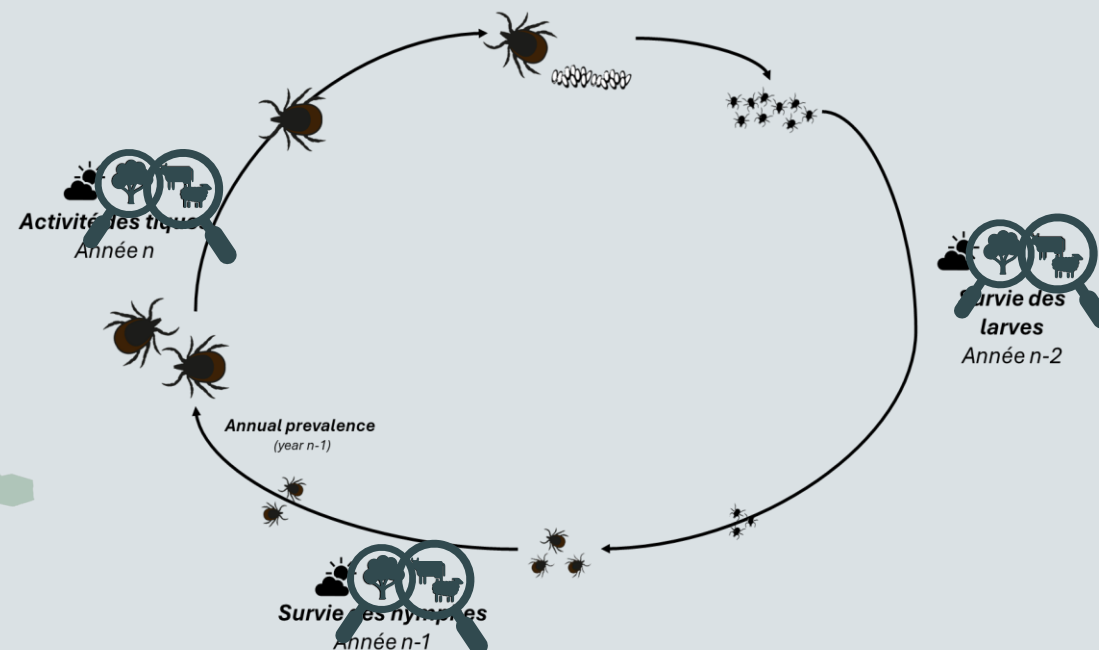
ARD ● VACHE ● CHARBONNET ● PECLOZ ● CAISSEOLS ● MASCAR ● PEYROUTARIÉ ● VIALAIS-PDT ● ENTOR  
 AUD ● ARMENAZ ● COUTARSE ● PLEUVEN ● CANDELAIRE ● PAS DE LA LAUZE ● TUNE ● VIALAIS-SA ● ENTOR

### 3 axes :

PC1 : Minéral versus végétation (60,5%)

PC2 : Prairies herbacées versus bois feuillus (20,2%)

PC3 : Bois de conifères (14,5%)



## Interface sauvage-domestique

Proportion d'interface avec les troupeaux domestiques (estives)

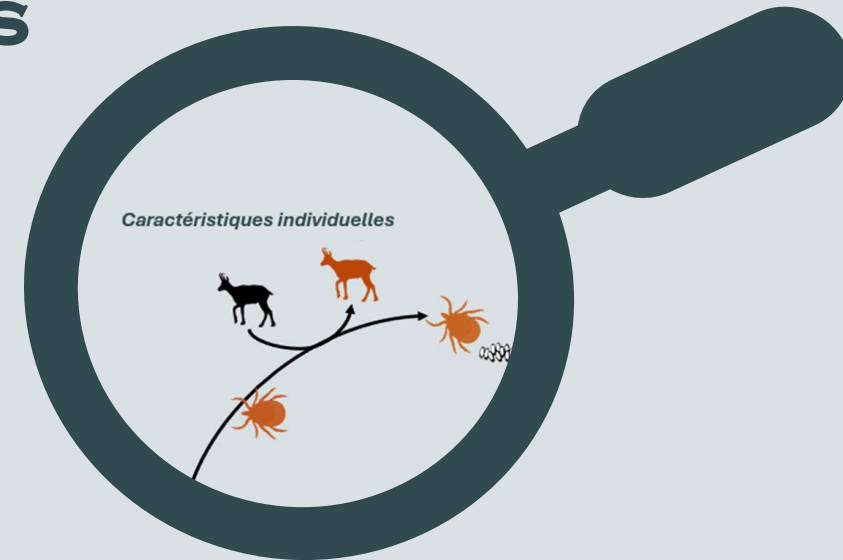
# RÉSUMÉ DES VARIABLES

## Caractéristiques individuelles

- Age
- Sexe
- Conditions d'échantillonnages



Nombre de jours entre le début du printemps (estimé par NDVI) et date de capture


















Modélisation binomiale de type succès (positif) / échec (négatif) – Modèle GAM

Choix de réaliser un modèle par site d'étude puis un modèle global

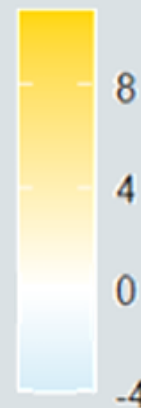


## SORTIES DES MODÈLES



		<i>Belledonne</i>	<i>Orlu</i>	<i>Caroux</i>	<i>Bauges</i>
					
<i>Moyennes des minimales journalières en hiver</i>					
<i>Age de l'individu</i>					
<i>Interface avec les troupeaux domestiques</i>					
<i>Gradient minéral (PC1)</i>					
<i>Degré d'ouverture du milieu (PC2)</i>					
<i>Gradient conifères (PC3)</i>					
<i>Sexe de l'individu</i>					
<i>Nombre de jours favorables depuis le 01/01/n</i>					
<i>Nombre de jours favorables depuis le 01/01/n-2</i>					
<i>Mouvement des tiques dans la végétation depuis le 01/01/n-2</i>					

Estimate



### Rang du jour de capture



*Belledonne*



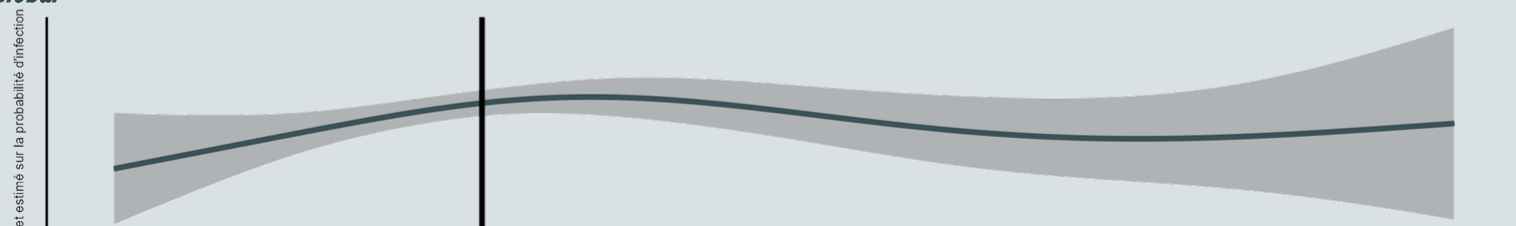
*Caroux*



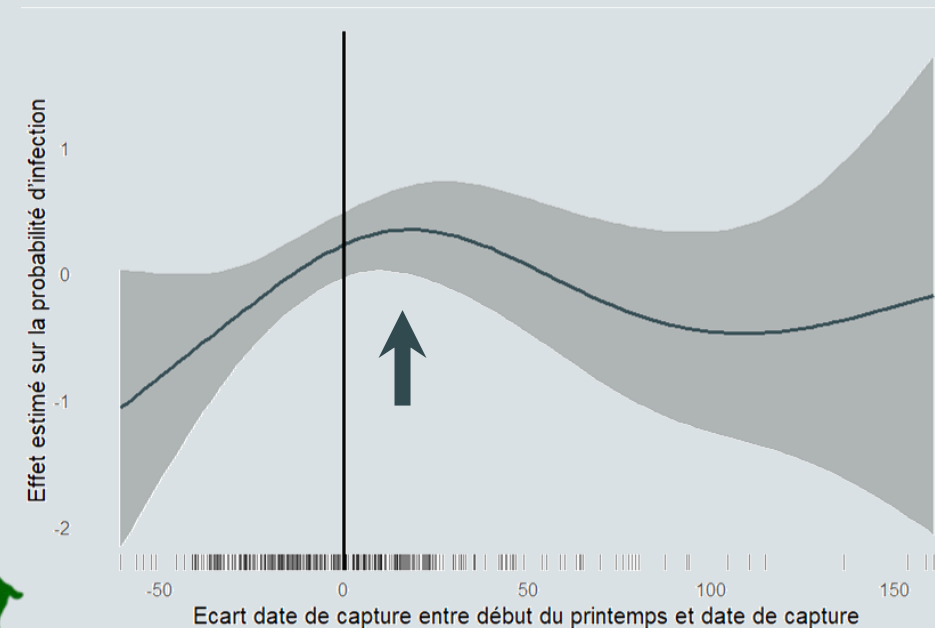
*Orlu*



*Global*



*\*données des Bauges non incluses*

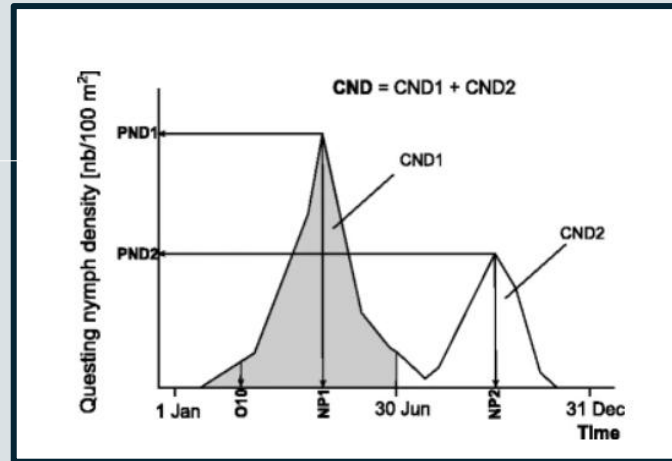
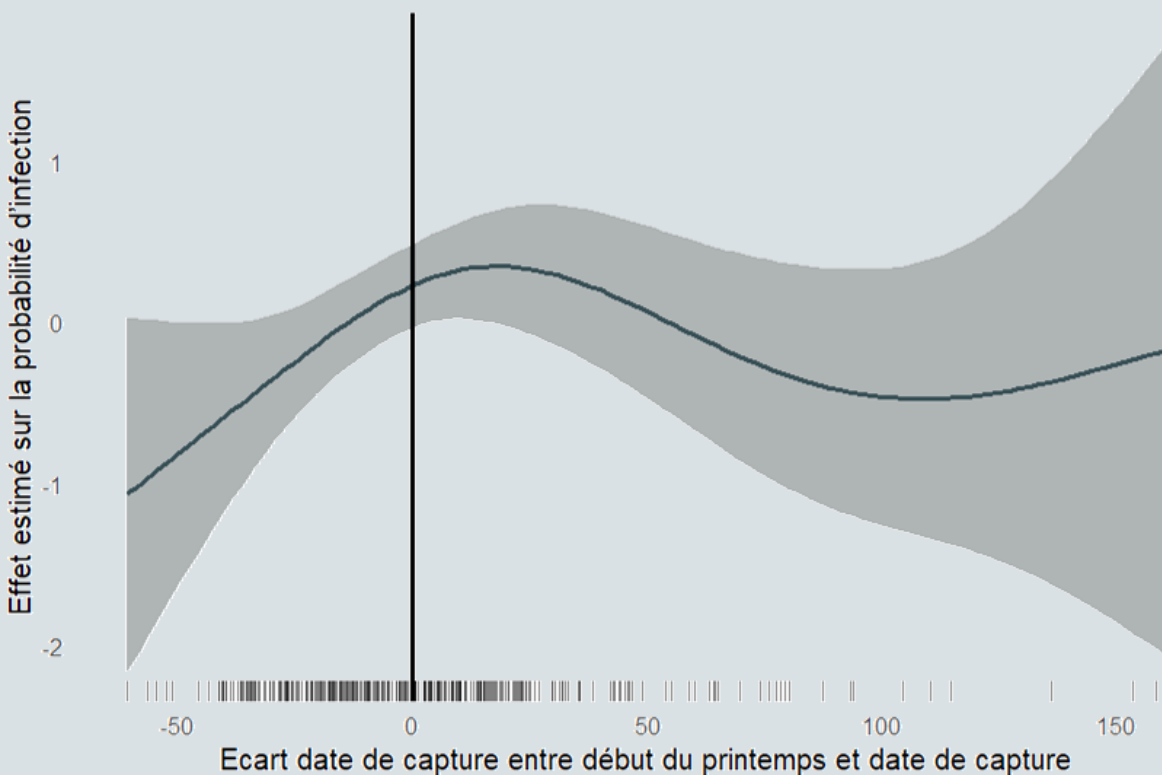


Pic une dizaine de jours après le début du printemps

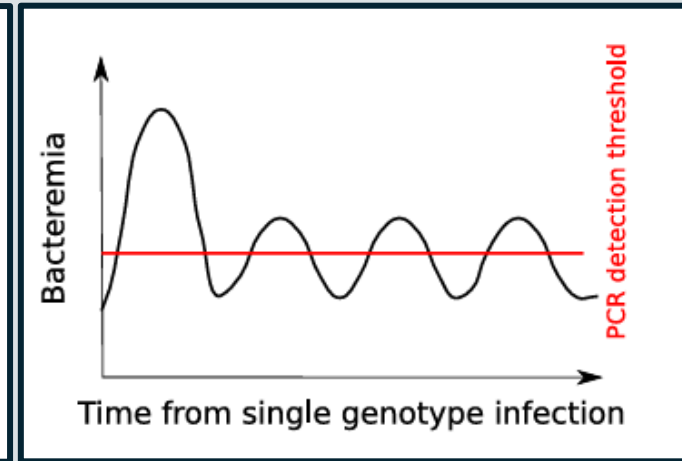
Ecart date de capture entre début du printemps et date de capture



## Rang du jour de capture



*Dynamique des nymphes (tiques) cyclique dans l'environnement (Hauser et al. 2018)*



*Bactériémie cyclique (Chastagner et al. 2017)*

Durée de la bactériémie : 15 jours en moyenne (Thomas et al. 2012)



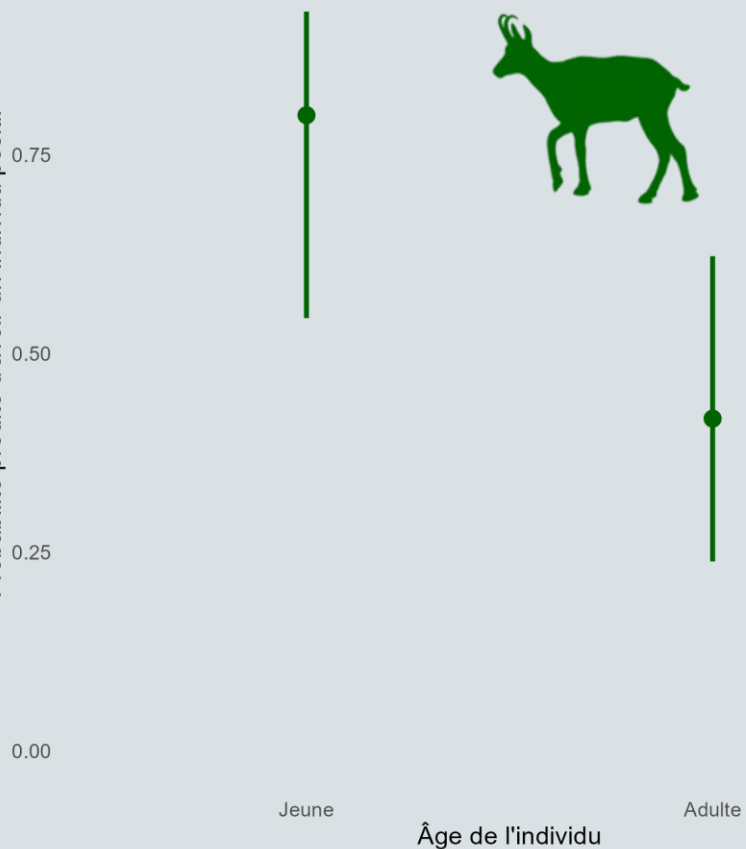
Majorité des piqûres dès le début du Printemps

Pic de bactériémie ~ 10 jours après

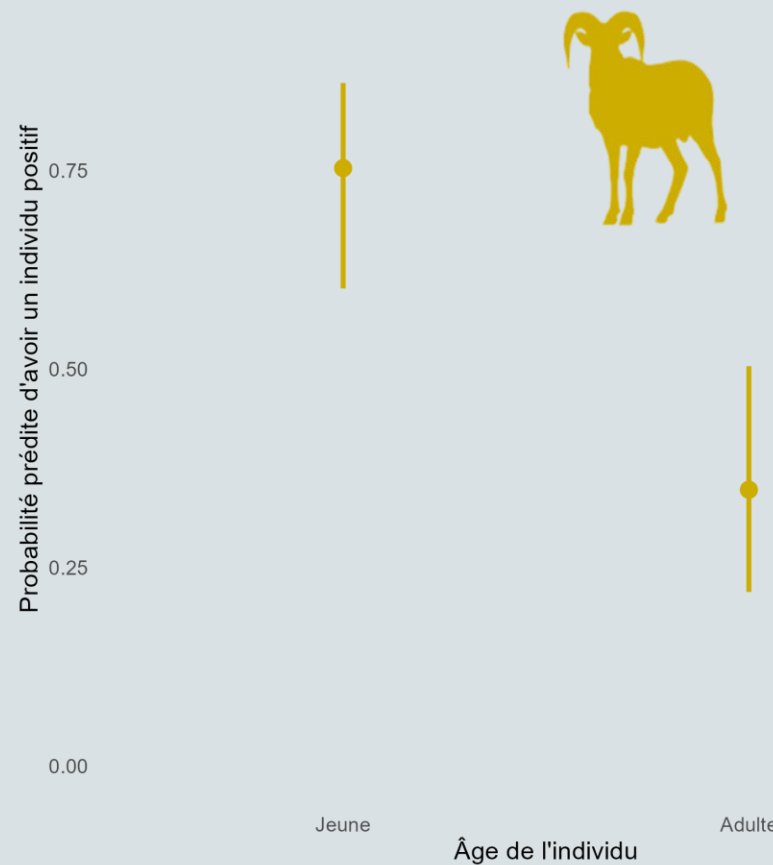
## Age de l'individu



*Orlu*



*Caroux*



*Belledonne*

Pas d'effet : quasi absence de jeunes

### Discussion

- Jeunes passent plus de temps au sol que les adultes
- Jeunes plus à hauteur des tiques dans la végétation : tiques à <1 m de hauteur
- Jeunes plus sensible que les adultes : absence d'anticorps protecteurs

Chez les individus jeunes, la probabilité prédite d'être positif est presque **deux fois plus élevée** que chez les adultes

## Caractéristiques du milieu

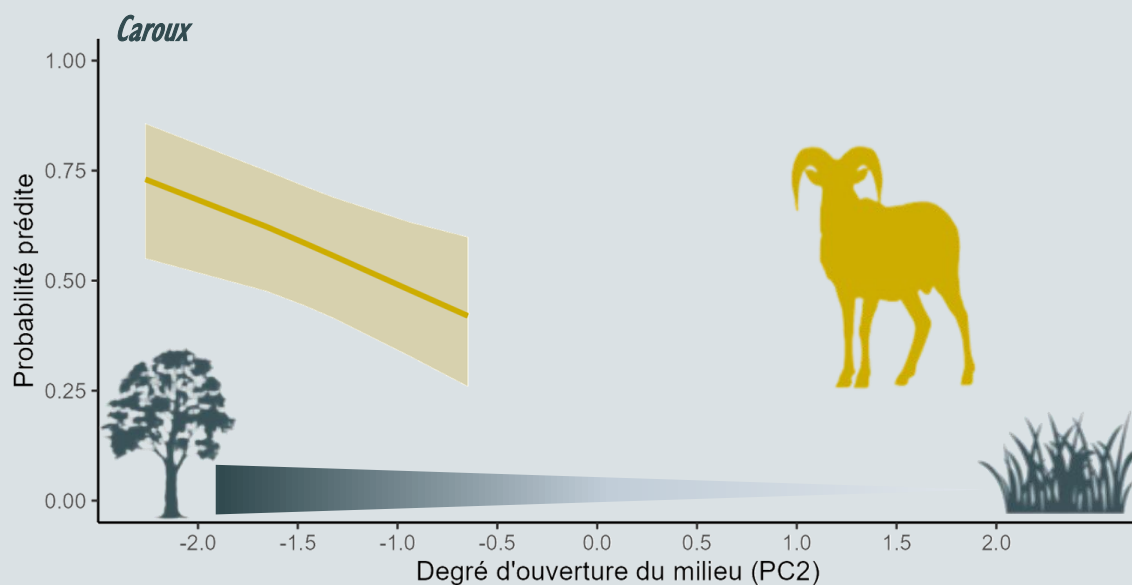
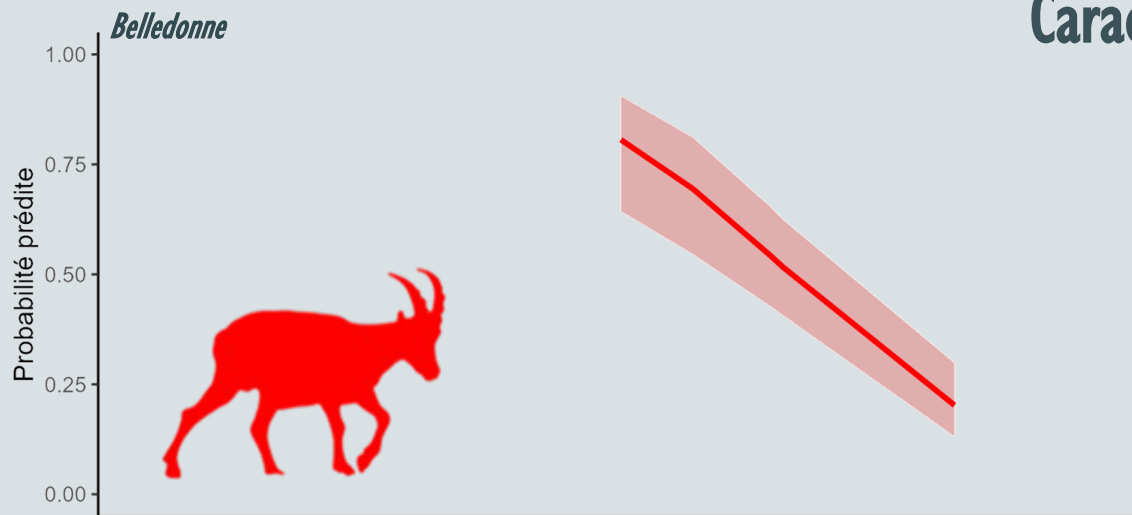


### Discussion

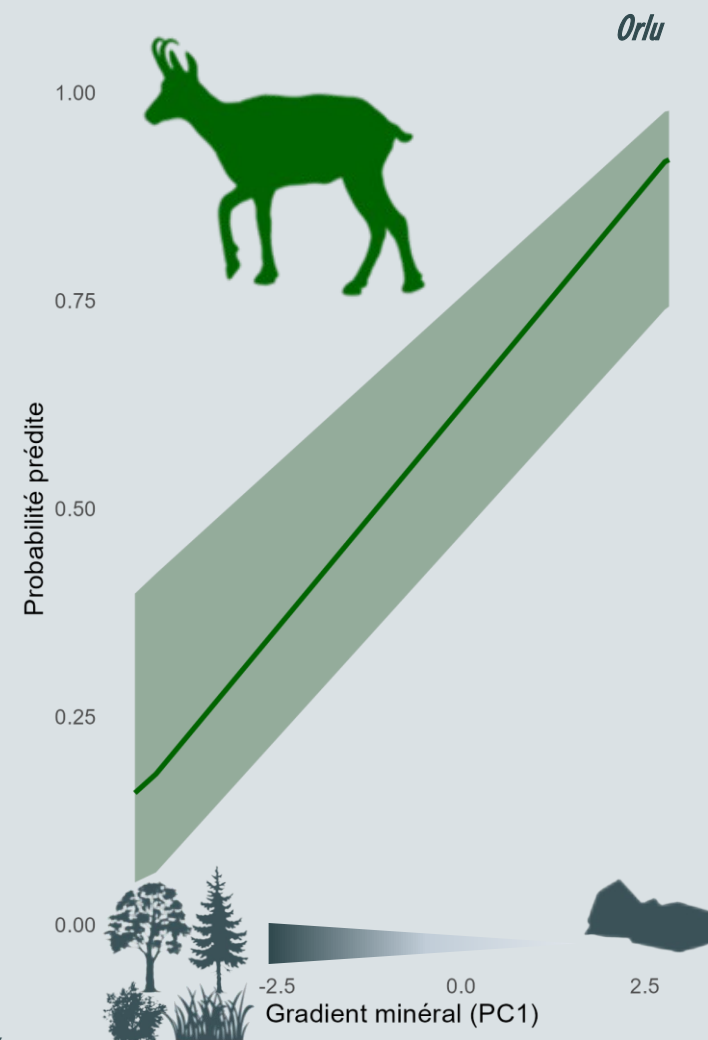
- Plus de tiques en milieu fermé qu'en milieu ouvert : cohérent avec biologie de la tique
- Très corrélé à l'altitude
- Milieu ouvert versus fermé : communautés d'hôtes différentes

### Discussion

- Résultat incohérent
- Mauvaise description de l'ACP
- Inconnues liées aux communautés d'hôtes / à l'écologie des tiques et de la maladie

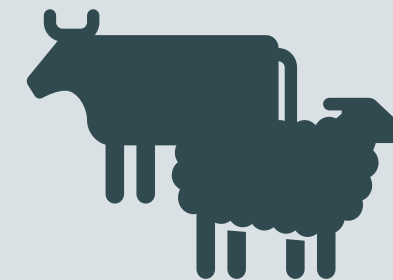


Plus l'individu vit dans un milieu ouvert, moins la probabilité d'être positif est importante



Plus l'individu vit dans un milieu minéral, plus la probabilité d'être positif est importante

## Interface avec les troupeaux domestiques

*Discussion*

- Apport et entretien des population de tiques
- Apport de nouveaux génotypes : superinfections (Chastagner et al. 2017)
- Contexte infectieux particulier des Pyrénées — *Belar joa*

*Caroux*

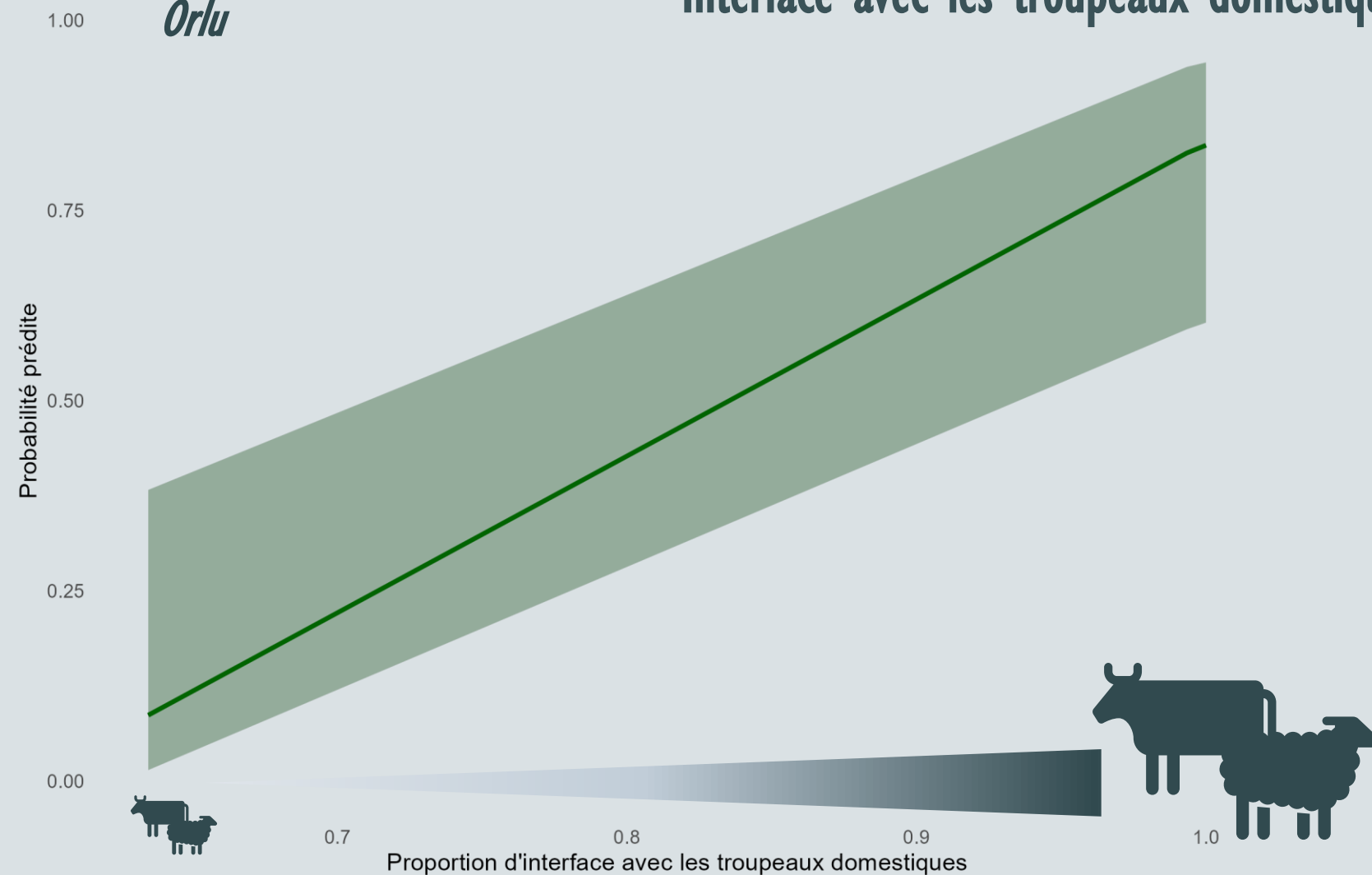
Quasi absence de pastoralisme



Pratiques pastorales différentes ?

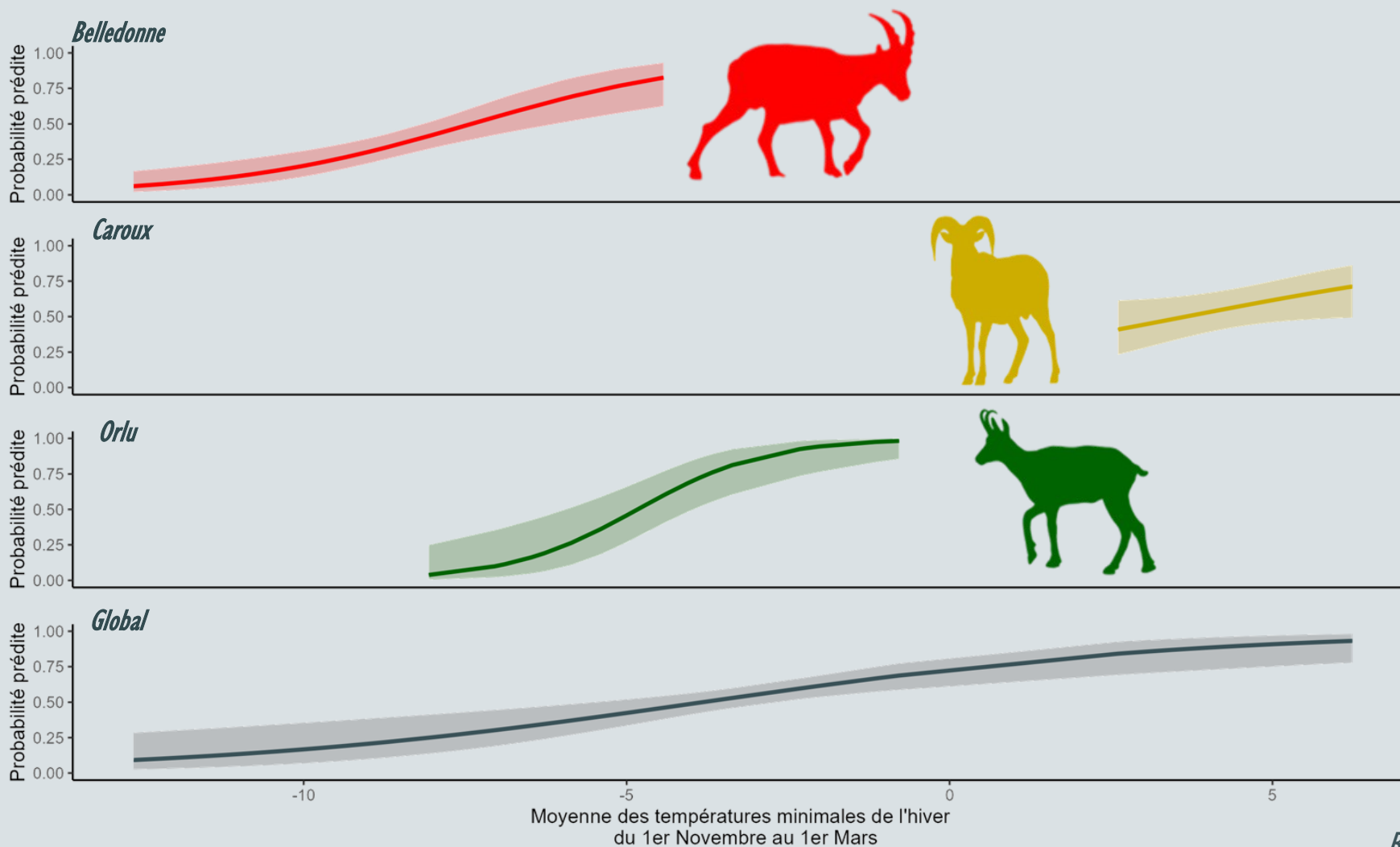
*Belledonne*

Contexte infectieux différent ?



La probabilité qu'un individu soit positif augmente avec la proportion d'interface qu'il partage avec les troupeaux domestiques

## Moyenne des minimales journalière en hiver



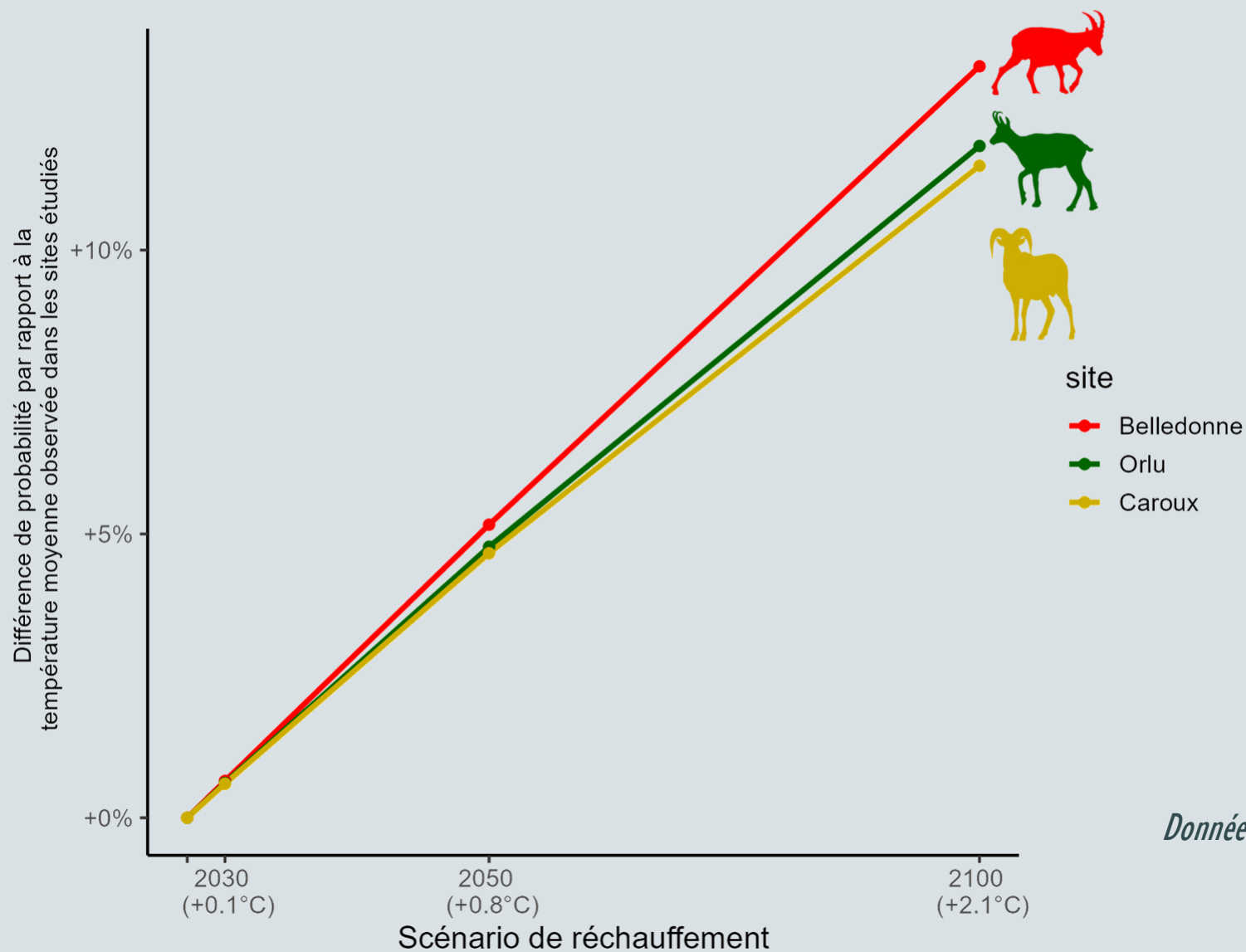
## Discussion

➤ Meilleure survie des tiques pour les hivers moins rigoureux



\*données des Bauges non incluses

## Moyenne des minimales journalière en hiver

*Projection**GLEC (France) :**Par rapport à 2025*

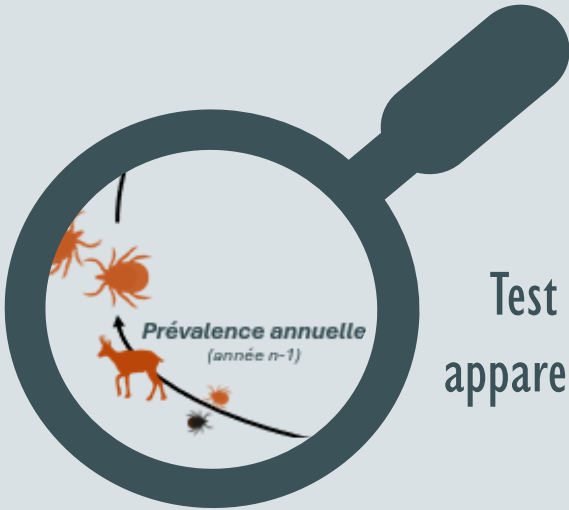
2030 : +0,1°C

2050 : +0,8°C

2100 : +2,1°C

*Données prédites en utilisant le modèle global, site par site, 15 jours après le début du printemps*

## Corrélation entre prévalence à l'année n-1 et l'année n



Test de corrélation entre prévalences apparentes à l'année n-1 et prévalence à l'année n  
*test de Spearman*

$$r = 0,74$$

➔ Corrélation **positive forte** entre la prévalence d'une année et celle de l'année précédente **très significative** ( $p < 0,001$ )



### Ongulés de montagne : hôte de maintenance ?

- Prévalence apparente (très) élevée
- Chevreuil reconnu comme hôte de maintenance de certains écotypes/ génotypes (Jahfari et al. 2014 ; Chastagner et al. 2017)
- Nombreux variants hébergés chez les ongulés sauvages à haut niveau de circulation (Silaghi et al. 2011)
- Présence variant(s) spécifique(s) comme pour l'isard (Laloy et al. 2009)
- Peu de cas cliniques décrits

### Enjeux agricoles et de santé publique

- Génotypes zoonotiques isolés en Italie chez isard des Apennins (Didomenico et al. 2016), mouflon et chamois (Grassi et al. 2021)
- Circulation d'écotypes différents à l'interface sauvage – domestique (Dugat et al. 2016)



Modéliser le taux d'infestation en dehors du taux d'infection



Écologie des tiques



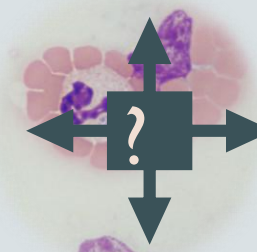
Compétence de l'hôte



Lien état corporel et infection à *A. phagocytophilum*



Comprendre l'influence de la communauté d'hôtes sur la circulation des agents pathogènes vectorisés par les tiques



Génotyper les écotypes circulants pour renseigner la compétence des espèces et les liens épidémiologiques entre les différents d'hôtes





Effet combiné du changement climatique sur l'environnement, les hôtes et les vecteurs ce qui favorisera très probablement la propagation des maladies à tiques



Modifications des communautés animales et végétales



Stress thermique, malnutrition et altération de l'immunité des hôtes



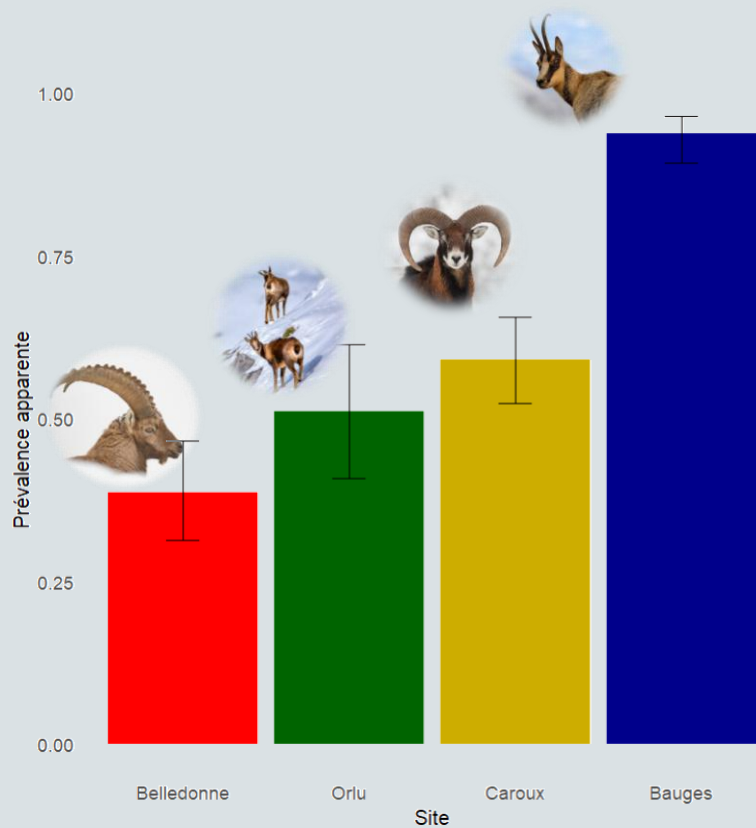
Conditions météorologiques plus favorables pour la survie et l'activité des tiques

MERCI DE VOTRE



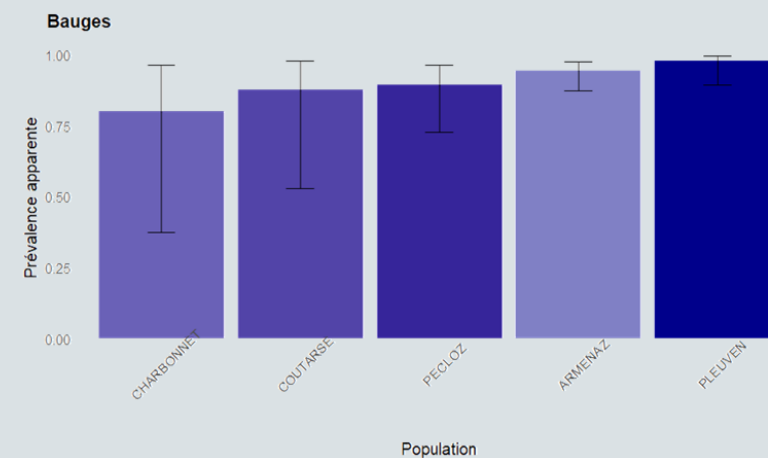
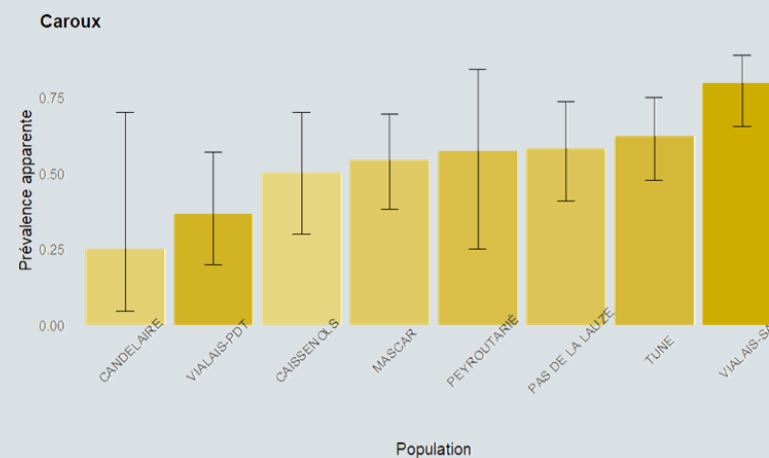
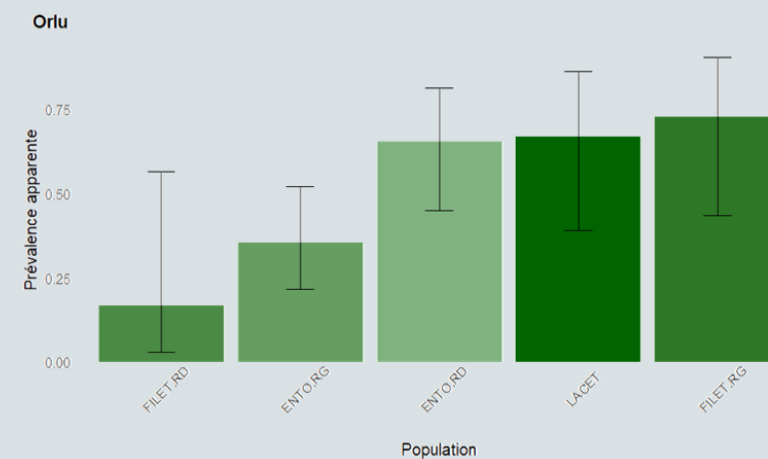
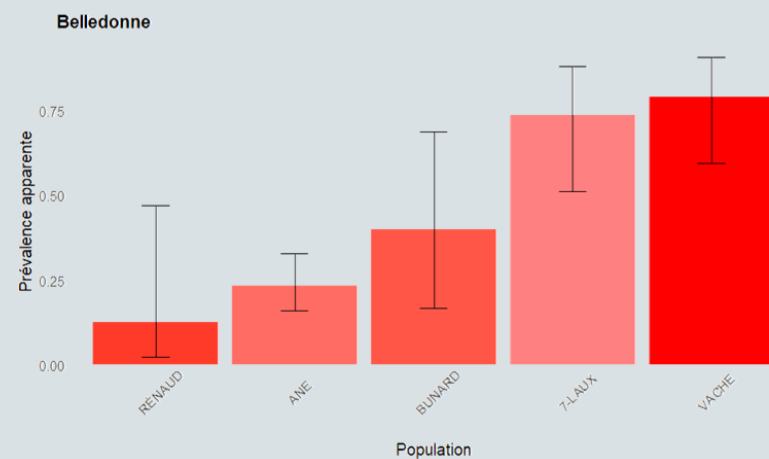
ATTENTION

## PRÉVALENCE



Différent niveaux de prévalence entre les sites

Bauges niveau de prévalence trop élevé pour observer de la variance : modélisation impossible...



Niveau de prévalence différents entre les sous-populations des différents sites

Justifie l'inclusion de variables qui capturent les changements spatiaux

Choix de réaliser un modèle par site d'étude

# CONSTRUCTION DES VARIABLES

## CALCUL DES VARIABLES À L'ÉCHELLE DE POPULATION

### Caractéristiques environnementales

Proportion de chaque type d'habitat



Forêt de conifères



Forêt de feuillus



Rochers

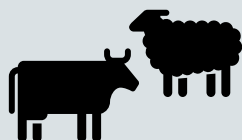


Broussailles



Prairies herbeuses

Proportion d'interface avec les troupeaux domestiques



### Prédiction de la température et de l'humidité

*Température et humidité relatives au barycentre du domaine vital de chaque population*

Calcul d'un indice de favorabilité journalier du climat pour les tiques – Indice de dessiccation (REF)

$$SD = \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \times 4,9463 \times e^{0.0621T}$$

### Jour favorable (REF):

- Température moyenne des cinq derniers favorables supérieur à 7°C
- SD moyen des deux derniers jours inférieurs à 2 mmHg

Sélection de variables par exploration exhaustive des modèles et sélection des meilleurs modèles sur la base de l'AIC

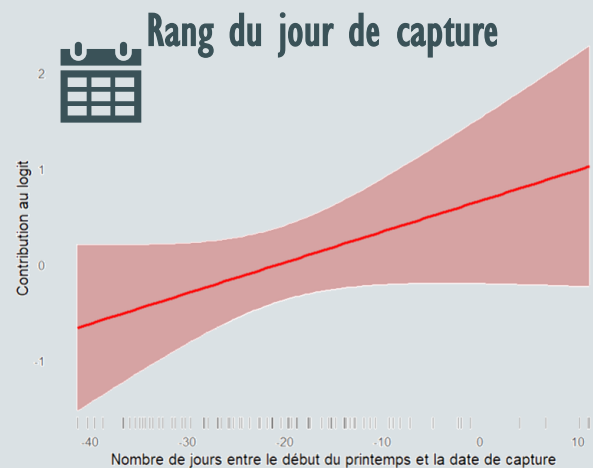
### Variables retenues

- Température de l'hiver
- Degré d'ouverture du milieu (PC2)
- Spline sur le délai de capture depuis le début du printemps

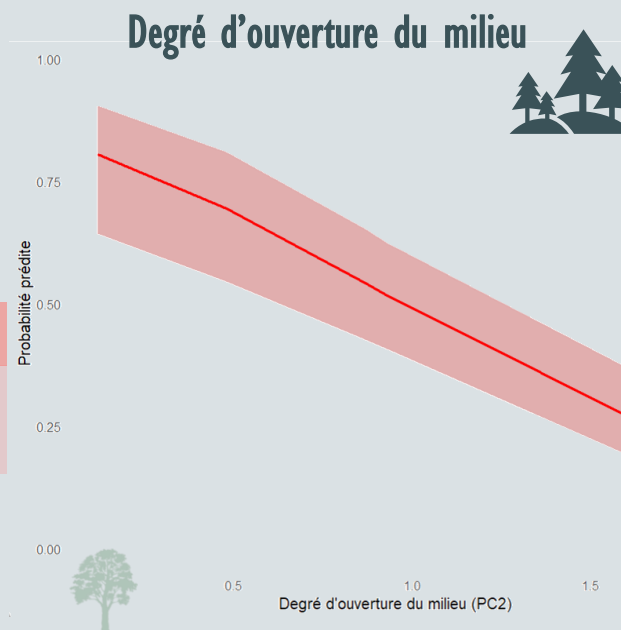
Coefficient	Estimate ± Std. Error	p-value	Interprétation	
(Intercept)	6.03 ± 1.26	1.76e-06 ***		
Degré d'ouverture du milieu	-1.67 ± 0.33	3.09e-07 ***	Effet négatif significatif	
Moyenne des températures minimales de l'hiver	0.52 ± 0.13	2.97e-05 ***	Effet positif significatif	
Paramètre de lissage	edf	Chi-sq	p-value	Interprétation
s(delta_pheno_sos)	1	2.80	0.0942 .	Lisse — non significatif

$R^2 = 0,281$  : le modèle explique 28% de la variation de probabilité d'avoir un individu positif - Pas de colinéarité

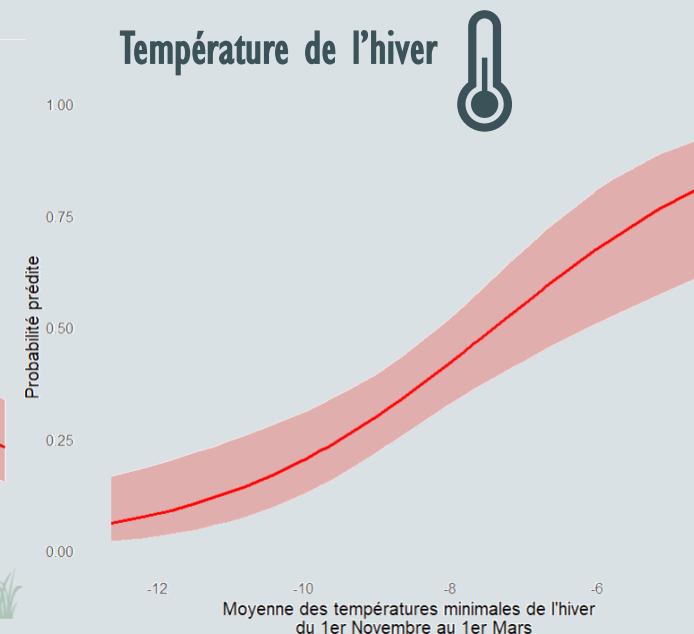
## Sortie du modèle - Belledonne



➔ Beaucoup de captures ont lieu avant le début du printemps...



Température de l'hiver



## Sortie du modèle - Orlu

Coefficient	Estimate ± Std. Error	p-value	Interprétation
(Intercept)	-4.02 ± 2.34	0.086	
Gradient minéral	0.57 ± 0.14	9.35e-05 ***	Effet positif significatif
Interface avec les troupeaux domestiques	-1.72 ± 0.65	0.008 **	Effet négatif significatif
Age — Adulte	10.91 ± 3.62	0.003 **	Effet positif significatif
Moyenne des températures minimales de l'hiver	1.00 ± 0.28	0.00041 ***	Effet positif significatif

Paramètre de lissage	edf	Chi-sq	p-value	Interprétation
s(delta_pheno_sos)	3.332	9.989	0.0262*	Lissage non lisse — significatif



Sélection de variables par exploration exhaustive des modèles et sélection des meilleurs modèles sur la base de l'AIC

#### Variables retenues

- Température de l'hiver
- Age de l'individu
- Nombre de jours favorables depuis le 1<sup>er</sup> Janvier — corrélé au spline - éliminée
- Gradient minéral
- Importance de l'interface avec les troupeaux domestiques
- Spline sur le délai de capture depuis le début du printemps

$R^2 = 0.327$  : le modèle explique 32,7 % de la variation de probabilité d'avoir un individu positif - Pas de colinéarité (Vif fort sur spline du à un artefact mathématique)



Sélection de variables par exploration exhaustive des modèles et sélection des meilleurs modèles sur la base de l'AIC

#### Variables retenues

- Température de l'hiver
- Age de l'individu
- Nombre de jours favorables depuis le 1<sup>er</sup> Janvier — corrélé au spline - éliminée
- Gradient minéral (PC1)
- Degré d'ouverture du milieu (PC2)
- Spline sur le délai de capture depuis le début du printemps

$R^2 = 0.205$  : le modèle explique 20,5 % de la variation de probabilité d'avoir un individu positif - Pas de colinéarité (Vif fort sur spline du à un artefact mathématique)

### Sortie du modèle - Caroux

Coefficient	Estimate ± Std. Error	p-value	Interprétation
(Intercept)	-4.02 ± 2.34	0.086	
Degré d'ouverture du milieu	-0.816 ± 0.314	0.009 **	Effet négatif significatif
Gradient minéral	-0.195 ± 0.121	0.105	Effet négatif non significatif
Age — Adulte	-1.744 ± 0.363	1.58e-06 ***	Effet positif significatif
Moyenne des températures minimales de l'hiver	0.351 ± 0.188	0.063	Effet positif limite significatif

Paramètre de lissage	edf	Chi-sq	p-value	Interprétation
s(delta_pheno_sos)	5.319	15.33	0.0218*	Lissage non lisse — significatif

## Sortie du modèle — Caroux avec les données tiques



Sélection de variables par exploration exhaustive des modèles et sélection des meilleurs modèles sur la base de l'AIC

Variables retenues

- Température de l'hiver
- Age de l'individu
- Nombre de tiques sur l'individu (log (n+1))
- Nombre de jours favorables depuis le 1<sup>er</sup> Janvier — corrélé au spline - éliminée
- Gradient minéral (PC1)
- Degré d'ouverture du milieu (PC2)
- Spline sur le délai de capture depuis le début du printemps

$R^2 = 0.22$  : le modèle explique 22 % de la variation de probabilité d'avoir un individu positif - Pas de colinéarité (Vif fort sur spline du à un artefact mathématique)

Coefficient	Estimate ± Std. Error	p-value	Interprétation
(Intercept)	-2.495 ± 1.131	0.027 *	
Degré d'ouverture du milieu	-0.819 ± 0.323	0.011 *	Effet négatif significatif
Gradient minéral	-0.196 ± 0.122	0.110	Effet négatif non significatif
Age — Adulte	-1.998 ± 0.391	3.16e-07 ***	Effet positif significatif
Moyenne des températures minimales de l'hiver	0.336 ± 0.193	0.081 .	Effet positif non significatif
Nombre de tiques sur l'individu	0.578 ± 0.211	0.006 **	Effet positif significatif

Paramètre de lissage	edf	Chi-sq	p-value	Interprétation
s(delta_pheno_sos)	5.319	15.33	0.0218*	Lissage non lisse — significatif

## Sortie du modèle

Autres variables spécifiques au modèle

Caroux avec données tiques



## Nombre de tiques sur l'individu



Même tendance pour les  
autres variables

Plus le nombre de tiques sur l'individu est important, plus la probabilité que l'individu soit positif est importante

## Qualité des métadonnées



Hypothèse forte : tous les animaux capturés sur un site de capture appartiennent à la même sous-population et partagent le même milieu de vie — Ok au Caroux (REF)



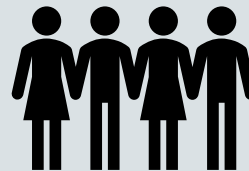
NDVI et début de la période d'activité des tiques : test de deux variables : une basée sur SD et l'autre sur NDVI. Dans notre jeu de données NDVI meilleur. Intérêt du NDVI discuté (REF) mais nous l'avons utilisé différemment par rapport aux autres études (détail @Mathieu) — Migrations ? Bouquetins/isards



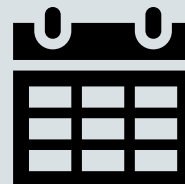
Données météo récupérées a posteriori : très fiables et très corrélées aux températures mesurées sur le terrain



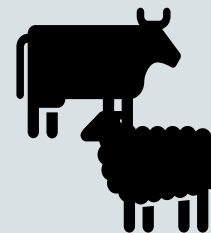
Variables d'habitat un peu grossières : pourraient être affinées avec LIDAR par exemple notamment pour la hauteur de la végétation en sous-bois. Végétation en sous-bois importantes dans les Bauges et dans Belledonne, sous-bous nu au Caroux.



Taille et représentativité de l'échantillon : au minimum 15 sérums par site avec différentes populations. Sexe ratio et pyramide des âges respectés sauf pour Belledonne (pas de jeunes) mais suivis longitudinaux sur plusieurs années !



Saisonnalité des captures : peu pas de captures à l'automne et en hiver donc pas d'informations sur l'évolution de la maladie en période défavorable.



Interface avec les troupeaux domestiques : données du RPG mais validées avec les brebis équipées de colliers GPS. Pas ou très peu de pastoralisme au Caroux et dans les Bauges.

### Perspectives de recherche

Varié les périodes de capture

Mesure de l'état sanitaire global des individus (stress, etc.)

*Caractéristiques individuelles*

Mesurer réponse immunitaire

Nombre de tiques adultes dans l'environnement

  
**Activité des tiques**  
Année *n*

Tester les sérums en sérothèque pour dater l'apparition du pathogène

  
**Survie des larves**  
Année *n-2*

Nombre de nymphes et de larves dans l'environnement

**Prévalence annuelle**  
(année *n-1*)

Prévalence chez domestique

  
**Survie des nymphes**  
Année *n-1*

Prévalence chez d'autres hôtes notamment rongeurs



