

COLLEGE SCIENCES & TECHNOLOGIES POUR L'ENERGIE ET L'ENVIRONNEMENT DE LA
COTE BASQUE

Université de Pau et des Pays de l'Adour

Licence Professionnelle Métiers de la Protection et de la gestion de l'Environnement

Option Biologie Appliquée aux Ecosystèmes Exploités

Année 2017 - 2018

Phénologie des naissances chez le mouflon (*Ovis gmelini* *musimon* x *Ovis* sp.) de la Réserve Nationale de Chasse et de Faune Sauvage du Caroux – Espinouse



COSTA Justine

Stage effectué du 05/03/2018 au 13/07/2018 à l'ONCFS

sous la direction scientifique de **M Itty Christian**



"Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil"

Résumé

La phénologie des naissances est un élément important pour la survie des grands herbivores puisqu'elle conditionne la survie de la descendance, donc la dynamique des populations. La date moyenne des naissances de 2001 à 2016, calculée pour le mouflon méditerranéen (*Ovis gmelini musimon x Ovis sp.*) sur la Réserve de Chasse et de Faune Sauvage du Caroux-Espinouse, montre une variation de la date des naissances d'année en année. Ainsi, différentes variables environnementales ont été testées afin de comprendre quels sont les mécanismes qui régissent les dates de parturition chez le mouflon. La sécheresse de l'été précédent les naissances, influe de façon significative sur la condition physique des femelles donc sur les dates de mise bas au printemps suivant. Cependant, les dates de début d'automne l'année précédent les naissances, et de début du printemps l'année des naissances, n'auraient pas d'impact sur les mises bas. Ces résultats permettront de prédire l'arrivée des naissances en fonction des facteurs environnementaux, et ainsi développer des mesures de gestion adaptées.

Mots clés : Mouflon méditerranéen ; Caroux-Espinouse ; Phénologie des naissances ; Variables environnementales.

Abstract

Birth phenology is important for the survival of large herbivores because the survival of the offspring depends on it, so population dynamics too. The average date of births from 2001 to 2016, calculated for the mediterranean mouflon (*Ovis gmelini musimon x Ovis sp.*) on the Caroux-Espinouse RNCFS, shows a variation in the date of births. That's why different environmental variables have been tested to understand what mechanisms govern parturition dates in mouflon populations. The drought of the summer before births has a significative influence on female physical condition, so on the dates of whelping next spring. However, the onset of autumn the year before births and the onset of spring the year of birth, would have no impact on births. These results will allow to predict births arrival depending on environmental factors, and then develop appropriate management measures.

Key words : *Ovis gmelini musimon x Ovis sp.* ; Caroux-Espinouse ; Birth phenology ; Environmental variables.

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier mon maître de stage Monsieur **Christian Itty** pour m'avoir beaucoup appris sur les mouflons avec toujours une pointe d'humour. Merci de m'avoir fait découvrir et vivre tant de choses que je n'avais jamais pensé faire un jour (une capture d'aigle royal c'est pas tous les jours que ça arrive !).

Merci aussi à **Mathieu Garel** pour sa grande aide en statistiques, domaine dans lequel j'ai l'impression d'avoir beaucoup progressé. Une pensée aussi à **Pascal Marchand** pour son aide sur le terrain lors de sessions de captures où rien ne fonctionne comme il faut...

J'adresse mes remerciements à tous les agents du Service Départemental de la brigade Ouest de Bédarieux, **Bruno Milhau, Eric Sebe, Pascal Arnaud, Laurent Benoist, Kévin Séjourné, Catherine Vuiton**, qui nous ont accompagnés sur le terrain en période de capture toujours dans la bonne humeur, même lorsque les mouflons ne sont pas décidés à rentrer dans les trappes.

Enfin, un grand merci à tous les stagiaires, bénévoles, CDD, apprentis présents avec moi le long de ces 4 mois ½ de stage : **Alexandre Paulino, Léo Idczak**, mes collègues d'Anglet **Anne Michaud** et **Xabi Darthayette, Vincent Derval, Johan Barret, Morgane Ain, Lucie Daubord, Baptiste Serre, Romain Tovar**. Et bien sur je n'oublie pas **Mélanie Larue** pour m'avoir beaucoup appris sur le terrain (je sais maintenant reconnaître le chant du pinson des arbres) mais aussi en statistiques, quand je butais sur des choses tellement simples sur R ! Enfin, merci à **Luc Rouzet** pour ces sessions de captures hautes en rebondissement. On se souviendra des nombreux échecs au filet mais surtout des moments d'euphorie à la réception de photos de mouflons dans les filets, puis à la course aux mouflons qui ne se laissent pas attraper si facilement.

Sommaire

1.	Contexte de l'étude	3
1.1.	Le massif et la RNCFS du Caroux-Espinouse	3
1.2.	Le mouflon méditerranéen	4
2.	Matériels et méthodes	5
2.1.	Suivi sur le terrain	5
2.2.	Estimation du pic des naissances.....	8
2.3.	Données météo	9
2.4.	Traitements statistiques des données.....	11
3.	Résultats.....	11
4.	Discussions	14

Introduction

Chez les grands herbivores, la phénologie des naissances est un élément déterminant pour la survie des jeunes de l'année et influence donc en cascade la dynamique de la population (Klein et al., 2014). Chez le mouflon méditerranéen (*Ovis gmelini*), une récente étude a été réalisée sur la Réserve Nationale de Chasse et de Faune Sauvage (RNCFS) du Caroux-Espinouse afin d'étudier le pic des naissances des agneaux jusqu'en 2013 (Petit, 2013). Il est donc intéressant d'évaluer l'évolution de la distribution des naissances jusqu'à nos jours, étant donné les variations et les perturbations dues au changement climatiques globaux.

La date de naissance des agneaux est un facteur déterminant pour leur survie car elle doit être synchronisée avec la phénologie de la végétation qui doit être optimale tant en qualité qu'en quantité. La compréhension de ces mécanismes de distribution des naissances permettrait de prévoir l'évolution de la population et de prédire le pic des naissances en fonction des facteurs environnementaux observés, et ainsi mettre en place des mesures de gestion adaptées.

De plus, cette étude a aussi un intérêt pour la population de mouflons corses dont sont issus la plupart des populations Européennes. En effet, il est difficile d'obtenir des informations complètes sur la population corse donc sur la phénologie des naissances, mais aussi car le suivi sur la RNCFS du Caroux-Espinouse établi depuis plus de 40 ans, représente une des populations d'ongulés les mieux suivies au monde.

La distribution des naissances est influencée par des facteurs environnementaux, qui peuvent impacter la condition physique des animaux donc leur reproduction. Le but de cette étude est donc d'estimer la date précise du pic de naissances pour chaque année depuis 2001 grâce à une méthode populationnelle (Caughley et al., 1974).

Par la suite, le but est de tester les variables environnementales qui pourraient et qui ont un effet sur la distribution des naissances de mouflons. En effet, il est connu que la sécheresse de l'été précédent les naissances (évaluée à partir des températures moyennes et du cumul des précipitations) a un impact sur cette phénologie (Petit, 2013). Cependant nous voulons aussi évaluer l'impact que pourrait avoir le décalage du début de l'automne précédent les naissances, ainsi que le début du printemps l'année des naissances. En effet, une arrivée tardive de l'automne retarderait la période de reproduction qui se déroule durant les mois d'octobre et de novembre, et une arrivée tardive du printemps impacterait la phénologie de la végétation, donc

celle des mouflons puisque les femelles ont besoins d'un fourrage optimal pour le bon développement des agneaux.

Enfin, dans le but d'expliquer la variation du pic des naissances d'une année sur l'autre depuis 2000, le poids des agneaux l'année précédent les naissances sera pris en compte. En effet, la condition des agneaux est un bon indicateur du rapport densité / ressources disponibles de l'année. L'abondance de ces ressources serait susceptible d'impacter la condition des femelles, donc la reproduction puis la période de mise bas l'année suivante.

Afin d'obtenir les informations nécessaires à la réalisation de cette étude, un suivi de la population par Capture Marquage Recapture est effectué.

1. Contexte de l'étude

Cette étude sur la phénologie des naissances du mouflon méditerranéen, à été réalisée sur la Réserve Nationale de Chasse et de Faune Sauvage (RNCFS) du Caroux-Espinouse.

1.1. Le massif et la RNCFS du Caroux-Espinouse

Le massif du Caroux-Espinouse ($43^{\circ} 38' N$ et $2^{\circ}58' E$, 150 à 1124 mètres d'altitude), est situé dans le nord-est du département de l'Hérault (34), sur la limite de partage des eaux entre l'océan Atlantique et la mer Méditerranée. Avec une surface d'environ 20 000 m², il est caractérisé par la présence de nombreux plateaux, entaillés par des vallées telle que la vallée du Vialais qui représente la majeure partie de la réserve (cf Figure 1)

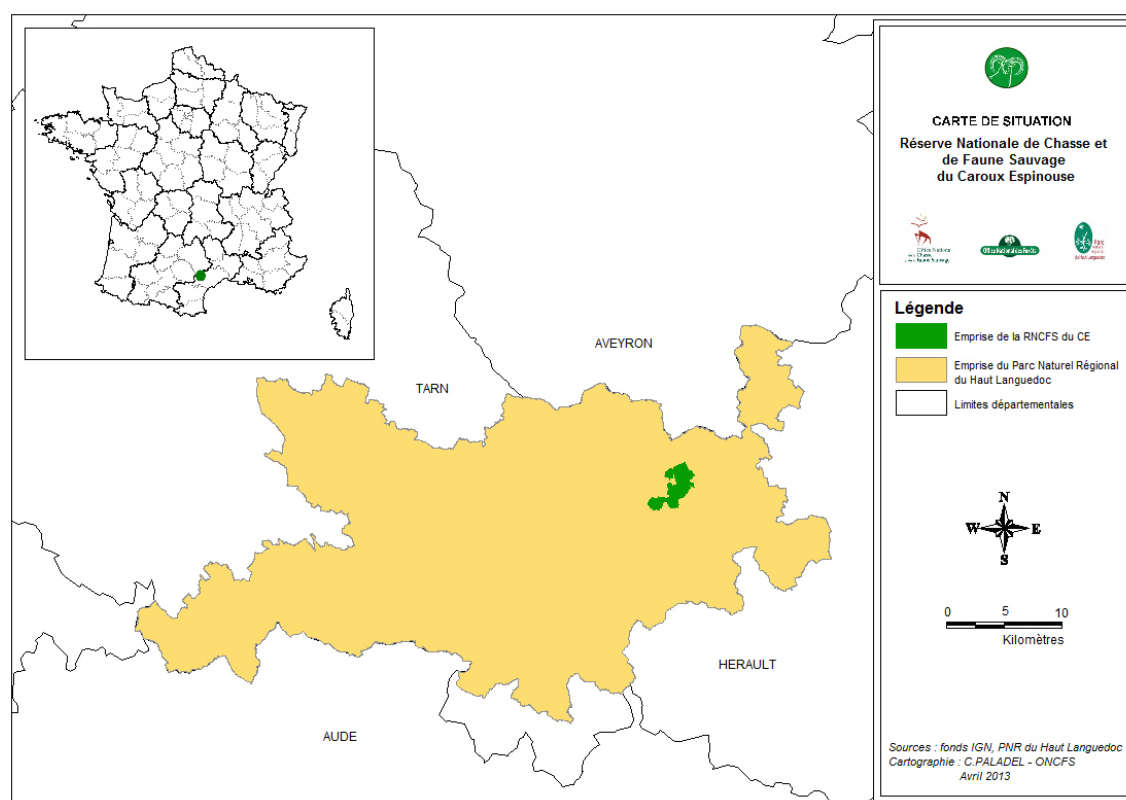


Figure 1 : Localisation de la RNCFS du Caroux – Espinouse.

Le massif du Caroux-Espinouse est influencé par deux principaux régimes climatiques, du fait de sa position géographique. En effet, sur la partie Nord et Ouest du massif, les influences océaniques et montagnardes prédominent et amènent de fortes précipitations, notamment en

automne-hiver (cumul annuel moyen = 1279 ± 175 mm) (Baudière, 1962). D'autre part, sur la partie Sud du massif, l'influence méditerranéenne prédomine, avec des étés souvent chauds et secs.

Par ailleurs, le massif abrite de nombreux milieux tels que des zones humides, des plateaux, des zones rocheuses, des landes à bruyères et des forêts mixtes (pin sylvestre, pin noir, hêtre, chêne vert et chêne sessile) gérées par l'Office National des Forêts (ONF). Cependant, ces paysages ont été modifiés par l'homme suite au pastoralisme, aujourd'hui pratiqué sur quelques parcelles de la réserve, ainsi que par la pratique régulière d'écobuage sur le massif.

La RNCFS, anciennement Réserve Domaniale de Chasse du Caroux-Espinouse, créée en 1956 dans le but de préserver le milieu, couvre aujourd'hui une surface de 1658 hectares de landes (callune, genêt à balais, bruyère cendrée). Le mouflon, introduit à des fins cynégétiques dans un premier temps, a aussi permis la préservation de la population du mouflon Corse en déclin à l'époque. Les deux milieux étant similaires, les mouflons du Caroux-Espinouse constituaient un réservoir de population, pour limiter le déclin des autres populations Européennes.

1.2. Le mouflon méditerranéen

L'introduction du mouflon (*Ovis gmelini musimon* x *Ovis sp.*), aujourd'hui mouflon méditerranéen, sur le massif du Caroux-Espinouse, a été réalisée entre les années 1956 et 1960. Neuf mâles et dix femelles en provenance de l'enclos ONF de Cadarache, de Tchécoslovaquie ainsi que de la Réserve Nationale de Chasse de Chambord, ont été introduits sur la réserve. Cette introduction fut une réussite, puisque aujourd'hui la population est estimée à plus de 3000 individus répartis sur environ 20000 Ha (Massol, 1991).

Chez le mouflon méditerranéen, il existe un dimorphisme sexuel prononcé. En effet, comme montré en Figure 2, les mâles une fois et demi plus gros que les femelles, portent des cornes spiralées dont la longueur augmente chaque année. En revanche, chez les femelles les cornes souvent de petite taille et à base circulaire ne sont pas systématiquement présentes (environ 10% des femelles du Caroux-Espinouse sont cornues).



Figure 2 : Femelle cornue et son agneau (à gauche) et mâle de plus de 7 ans (à droite).

Le mouflon affectionne les milieux accidentés peu enneigés en hiver, ainsi que les grands espaces ouverts pourvus d'une végétation herbacée ou arbustive, nécessaire pour son alimentation. Il utilise aussi les zones boisées pour se protéger de la chaleur et des intempéries. C'est une espèce grégaire à forte ségrégation sociale, formant d'une part des groupes de mâles adultes et d'autre part des groupes matriarcaux, généralement composés de femelles adultes, de leurs agneaux de l'année ainsi que des jeunes de l'année précédente. Néanmoins, cette organisation est modifiée lors de la période de rut qui a lieu une fois par an pendant deux mois, en octobre et en novembre. Ainsi, la gestation dure environ 5 mois jusqu'à mi-mars, fin avril où les femelles donnent naissance à un ou deux agneaux (Massol, 2005). Seules les femelles de plus de 1,5 ans se reproduisent dans le massif du Caroux-Espinouse (Bon et al., 1991).

2. Matériels et méthodes

2.1. Suivi sur le terrain

Les mouflons du Caroux – Espinouse sont suivis par l'ONCFS et les gestionnaires locaux, selon une méthode de Capture-Marquage-Recapture depuis 1974. Cette méthode permet de réaliser un suivi individuel des animaux et ainsi répondre à de nombreux sujets de recherche. La période de captures s'étend de fin avril à début juin, durant laquelle les animaux sont piégés selon deux différentes méthodes :

- Les filets tombants

La capture aux filets tombants est une capture à déclenchement manuel. Elle consiste à attirer les mouflons au milieu d'un filet tendu (montré en Figure 3) à l'aide d'une pierre à sel,

nécessaire pour la croissance des jeunes mais aussi pour la lactation des femelles (rétention d'eau). Une fois les animaux positionnés au milieu du filet, le déclenchement se fait par la personne placée dans l'affut qui actionne la tombée du filet.



Figure 3 : Filet tombant non déclenché.

- Les trappes

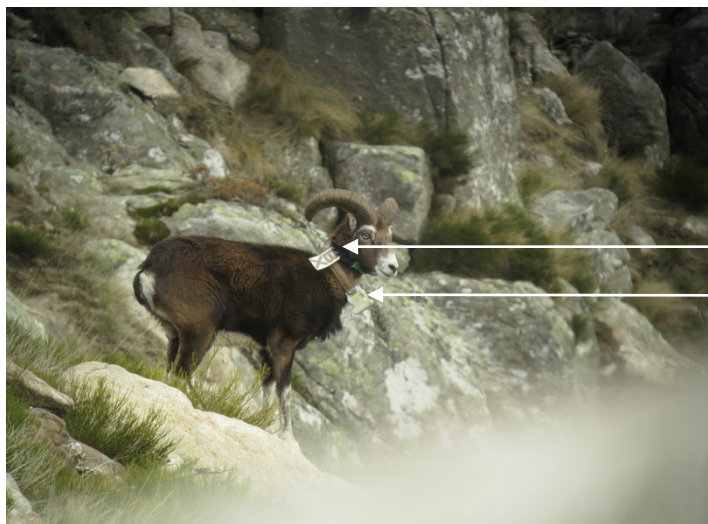
Il existe deux sortes de trappes sur la réserve du Caroux – Espinouse : les trappes collectives (cf Figure 4 image de gauche), qui permettent d'attraper plusieurs animaux en même temps, ainsi que les trappes individuelles (cf Figure 4 image de droite), plus étroites, qui ne capturent en général qu'un seul animal à la fois. De même que pour les filets tombants, ils sont attirés par une pierre à sel, positionnée au fond de la cage, et lorsque le mouflon rentre dans la trappe, sa fermeture est automatique. Une tournée des 27 trappes réparties sur toute la réserve est réalisée tous les matins en période de capture.



Figure 4 : Trappe collective (à gauche) et individuelle (à droite).

Une fois les animaux capturés, des poses de marquages ainsi que des prélèvements (poils, sang, fèces) et mesures biométriques (cornes, métatarse, tour du cou, poids, estimation de l'âge) sont réalisés. Chaque individu est triplement maqué, à la fois avec un collier portant une plaque avec un code qui lui est propre, une boucle auriculaire numérotée et de couleur, positionnée aléatoirement sur une des deux oreilles, ainsi qu'un transpondeur sous-cutané (cf **Erreur ! Nous n'avons pas trouvé la source du renvoi. 5**) . Cela permet de faciliter l'identification de l'animal en cas de perte de marquage.

Par ailleurs, afin de quantifier le taux de survie des agneaux la première année, une trentaine d'entre eux sont chaque année équipés d'émetteur VHF HOLOHIL AI-2M (28g), d'une durée de vie de 36 mois. Ils émettent un signal spécifique lorsque l'agneau est vivant ou mort, et permettent sa localisation en cas de recherche mortalité. De plus, comme montré en Figure 5, des GPS de type Lotek 3300S – Révision 2 (Lotek 28 Engineering Inc., Newmarket, Ontario, Canada) sont également posés sur les animaux de plus de 23Kg, ce qui permet, de même que les VHF, d'obtenir le statut vivant ou mort de l'individu, mais qui enregistre aussi sa position avec un pas de temps de 20 minutes. Les données de localisation sont obtenues une fois le collier récupéré.



Bandes
blanches (BX)
GPS + accéléromètre

Figure 5 : Mâle de 2-3 ans équipé d'un collier GPS, marqué avec des plaques blanches (BX).

Les animaux sont ensuite relâchés puis réobservés lors de sorties sur le terrain, où sept itinéraires sont régulièrement parcourus sur la réserve. Lors de ces sorties, les animaux observés (marqués comme non marqués), sont recensés par groupes sur une fiche terrain (cf ANNEXE 2). Le nombre d'individus dans le groupe, leur sexe ainsi que leur âge est estimé (grâce à

l'enroulement des cornes pour les mâles, et grâce à la stature des femelles). Le statut reproducteur des femelles (suitée ou non), ainsi que la présence de cornes, doivent aussi être précisés sur la fiche terrain. Enfin, pour les animaux marqués, le code inscrit sur les bandes du collier est également annoté sur la fiche. Ces fiches sont ensuite saisies dans une base de données propre à l'ONCFS qui permet d'obtenir un suivi de chaque individu marqué.

Grâce à ces observations sur le terrain, le statut reproducteur des femelles est connu et le pic des naissances des mouflons du Caroux-Espinouse est estimé.

2.2. Estimation du pic des naissances

Afin d'estimer la date moyenne des naissances de mouflons sur le massif du Caroux-Espinouse depuis 2000, la méthode de Caughley et Caughley (Caughley et al., 1974) est utilisée. Celle-ci avait été mise en place en 1974 afin d'estimer le pic des naissances chez l'impala (*Aepyceros melampus*) en Zambie. Cette méthode se base sur le nombre de femelles et d'agneaux observés lors de la période de mise bas, c'est à dire de fin mars à fin mai. La période est volontairement raccourcie afin de ne pas prendre en compte la mortalité juvénile. Ainsi, le nombre de femelles et d'agneaux comptés sur ces deux mois sont regroupés afin d'obtenir au moins 50 données par période, dans le but de compenser les semaines où les observations sont moins nombreuses. On estime qu'à la fin de la période de mise-bas, tous les agneaux sont nés, et qu'il y a autant d'agneaux que de femelles reproductrices puisque toutes les femelles adultes (de plus de 1,5 an) se reproduisent sur le Caroux.

Dans un second temps, les femelles qui ne participent pas à la reproduction, c'est à dire les femelles les plus jeunes, sont retirées du jeu de données. Le pourcentage de femelles ayant mis bas est ensuite calculé pour chaque semaine de la période des naissances. La distribution des fréquences de mise bas en fonction de chaque date est tracée, puis transformée en modèle « probit », ce qui permet de changer les fréquences cumulées, en ligne droite d'équation $y=ax+b$. y correspond à la probabilité qu'une certaine proportion de naissances ait lieu à la date x . Une régression linéaire puis un calcul de la date moyenne des naissances et de l'écart type est donc possible : $m = \frac{5-a}{b}$ et $sd = \frac{1}{b}$.

2.3. Données météo

Afin d'évaluer l'impact des conditions météorologiques sur la date de mise bas des femelles, les données météo sont récupérées depuis l'année 2000 sur quatre stations. Celles-ci sont réparties aux alentours de la réserve : Fraisse - Agout (43° 36' N et 2°48' E, 760 mètres d'altitude), Salvergues (43°38' N et 2°54' E, 1030 mètres d'altitude), Cambon et Salvergues (43°37' N et 2°51' E, 900 mètres d'altitude) et Fraisse – Murat (43°38' N et 2°49' E, 1041 mètres d'altitude), depuis juin 2002. Ces stations récoltent quatre données par jour, à savoir la température maximale et minimale de la journée, le cumul des précipitations en mm, ainsi que la hauteur de neige. Nous nous intéressons à la sécheresse de l'été précédent les naissances, c'est pourquoi les données regroupant les mois de juin, juillet et d'août sont utilisées. Afin d'évaluer l'aridité de chaque été, l'indice de Gaussen dit xérothermique est utilisé et réalise un rapport entre le cumul des précipitations et la température moyenne sur la période observée (Gaussen et al., 1954). Cet indice est adapté aux zones désertiques et à la limite de la région méditerranéenne.

Il est calculé de cette manière :

$$IS = \text{Cumul des précipitations} - (2 \times \text{Température moyenne}).$$

Cette estimation de la sécheresse de l'été précédent les naissances est d'une grande importance pour le développement de la végétation, donc pour la condition physique des herbivores et indirectement la période de mise bas l'année suivante.

De même que la sécheresse, les données de début du printemps ainsi que de début d'automne sont récoltées afin d'estimer leurs effets potentiels sur la condition physique des adultes, donc sur la phénologie des naissances de mouflons.

Ainsi, les dates de début du printemps et d'automne sont estimées grâce au NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Cet indice permet de quantifier la quantité de biomasse végétale au sol grâce à des mesures satellites. En effet, lors de l'arrivée du printemps les végétaux de plus en plus développés réfléchissent un rayonnement de longueur d'onde du proche infrarouge plus important lorsque la végétation est dense. Le NDVI est compris entre -1 et 1, avec -1 correspondant à une absence de végétation, et 1 qui indique une densité maximale de végétation. Le calcul est le suivant : $NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS}$ (NIR correspond au rayonnement proche infrarouge, et VIS désigne le rayonnement visible). La résolution spatiale

ou la taille d'un pixel, est de 8km x 8km avec une résolution temporelle de 15 jours, ce qui permet de prendre en compte la couverture nuageuse dans la prise de données. Seules les données du pixel 5 correspondant au cœur de la RNCFS sont prises en compte.

Ces données, récoltées par les satellites National Oceanic and Atmospheric Administration sont récupérées sur MODIS. Ainsi, afin de déterminer la date de début du printemps, une courbe retraçant le NDVI en fonction du temps est tracée (cf Figure 6):

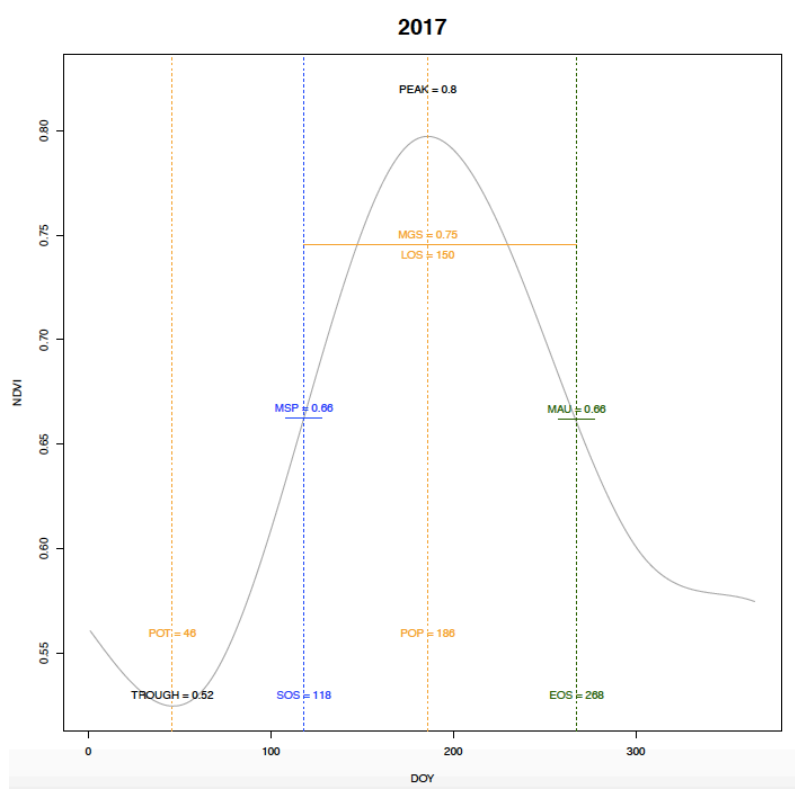


Figure 6 : Evolution du NDVI en fonction du temps pour 2017 sur la RNCFS du Caroux Espinouse (SOS = Start of Season ; EOS = End of Season).

Ici, le début de la saison du printemps correspond au 118ème jour de l'année, soit le 30 avril. Cette date est obtenue en reportant les coordonnées du premier point d'inflexion de la courbe pour chaque année (Hamel et al., 2009 ; Kourkgy et al., 2015). Le début de l'automne correspond au deuxième point d'inflexion de la courbe, soit le 268^{ème} jour c'est à dire le 28 septembre.

2.4. Traitements statistiques des données

Tous les traitements statistiques sont réalisés avec le logiciel RStudio version 1.0.153 – © 2009-2017 RStudio, Inc.

- **Evolution du pic des naissances**

L'évolution de la date moyenne de naissance d'année en année est évaluée à l'aide d'une ANOVA à 1 facteur. Nous utilisons pour cela l'estimation des dates moyennes de naissance converties en jours juliens (le premier jour de l'année est compté comme le jour 1) pour chaque année depuis 2000.

- **Effet des variables environnementales et de la condition des agneaux à T-1 sur la phénologie des naissances**

Dans cette partie, l'influence du facteur météorologique ainsi que de la condition des agneaux l'année précédente est évaluée. Pour cela, nous nous intéressons à différents paramètres qui seraient susceptibles d'avoir un impact sur la phénologie, à savoir la sécheresse (à partir des températures et du cumul des précipitations des mois de juin, juillet et d'août) ainsi que les dates approximatives de début du printemps l'année des naissances et d'automne l'année précédent les naissances. La corrélation entre ces différents facteurs météorologiques et la date moyenne des naissances est jugée à l'aide d'un test de Pearson. Celui-ci permettra de mettre en évidence une corrélation linéaire entre deux variables, à savoir le pic des naissances l'année T, et la sécheresse de l'été l'année T-1 par exemple. Les résidus des droites de régression sont vérifiés par un test de Shapiro-Wilk.

3. Résultats

- **Evolution du pic des naissances**

Après calcul de la date moyenne de naissance pour chaque année depuis 2001, la courbe montrant l'évolution est tracée en Figure 7:

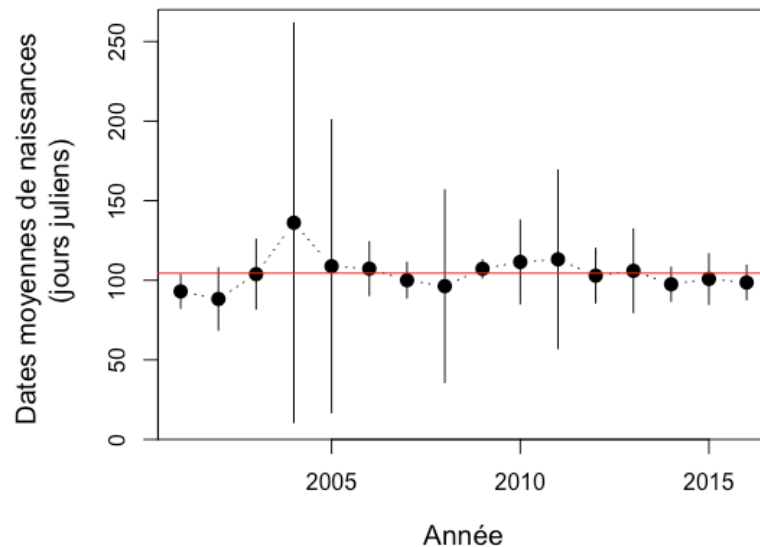


Figure 7 : Evolution des dates moyennes de naissance chez le mouflon du Caroux-Espinouse de 2001 à 2016.

La moyenne de parturition pour chaque année est calculée en pondérant chacune des estimations par leur variance. Ainsi, la moyenne (représentée par la droite horizontale) de 2001 à 2016 est de 104, c'est pourquoi sur cette période les femelles ont en moyenne mis bas le 14 avril. Les dates de naissances de chaque année varient autour de la moyenne mais aucune tendance linéaire n'est observée puisque la p-valeur de l'ANOVA à 1 facteur est de 0,88.

- **Effet des variables environnementales et de la condition des agneaux à T-1 sur la phénologie des naissances**

Tableau 1 : Effet des variables environnementales et de la condition des agneaux sur la phénologie des naissances de mouflons du Caroux-Espinouse.

Variable	P-valeur	Degrés de liberté	Poids des variables (% d'explication)
Sécheresse de l'été précédent	0.04544	16	25%
Date de début du printemps	0.04804	16	25%
Date de début de l'automne précédent	0.5218	16	
Poids des agneaux l'année précédente	0.4201	16	

D'après le Tableau 1, deux variables environnementales ont un effet sur la phénologie des naissances de mouflons du Caroux-Espinouse. En effet, l'hypothèse nulle est rejetée (p-

valeur ≤ 0.05) pour la sécheresse ainsi que les dates de début du printemps précédent les naissances.

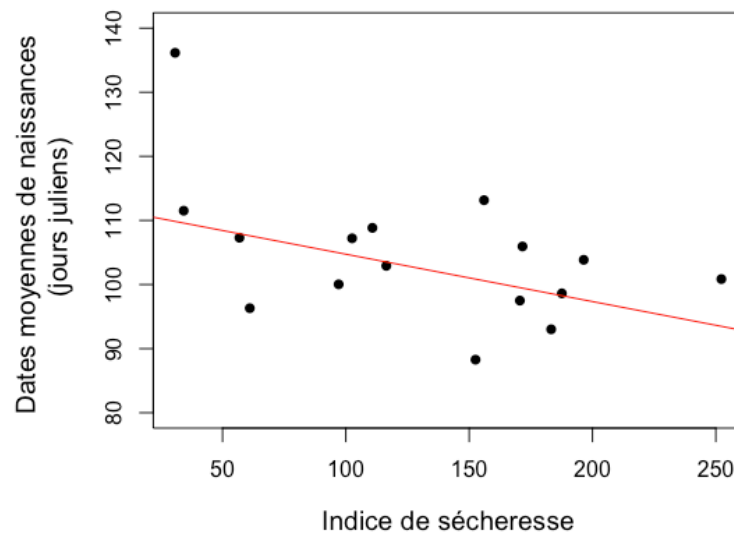


Figure 8 : Effet de la sécheresse de l'été précédent sur les dates moyennes de naissances de mouflons du Caroux-Espinouse pondéré avec 2004.

Ainsi, d'après la Figure 8, plus l'été est sec (faible indice de sécheresse), c'est à dire avec des températures moyennes élevées et un cumul de précipitations faible, plus les femelles mettent bas tard. De même, la Figure 9 informe que plus le début du printemps de l'année précédent est tardif, plus les naissances l'année suivante sont précoces. La corrélation entre le début du printemps et la sécheresse de l'été l'année précédente est testée afin de vérifier que les deux variables ne soient pas confondues. Ainsi, il n'existe pas de corrélation entre ces deux variables ($p\text{-valeur} = 0,7002$) : la sécheresse de l'été l'année précédente n'influe pas sur la date de début du printemps l'année suivante.

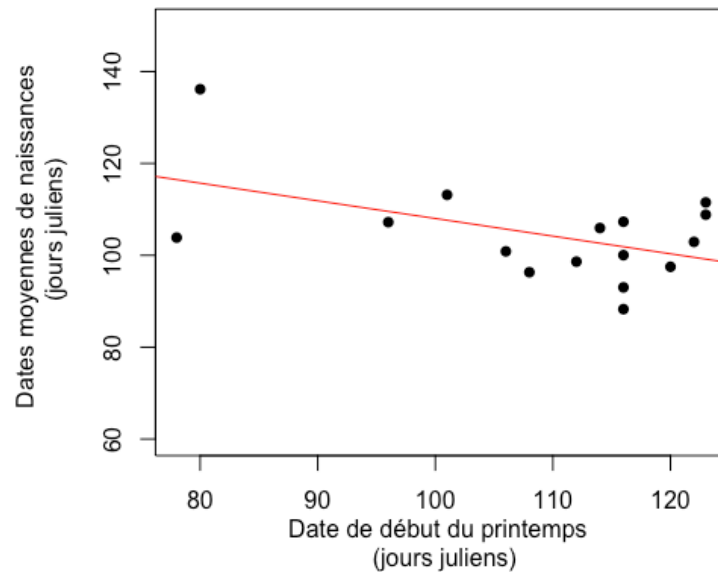


Figure 9 : Effet du début du printemps sur les naissances la même année, pondéré avec 2004.

4. Discussions

- **Evolution du pic des naissances**

D'après les résultats obtenus en **Erreur ! Nous n'avons pas trouvé la source du renvoi.**, aucune tendance nette n'est observée entre les années 2001 et 2016 étant donné que la p-valeur de l'ANOVA à 1 facteur est de 0,88. Cependant, une différence significative des dates de parturition est observée autour de la moyenne, c'est pourquoi il est attendu que les variables environnementales aient un impact sur les dates de naissance des agneaux. En effet, d'après le Tableau 1, deux variables météorologiques influent sur la phénologie des naissances de mouflons.

- **Effet des variables environnementales et de la condition des agneaux à T-1 sur la phénologie des naissances**

D'après la précédente étude menée en 2013 (Petit, 2013), il est attendu que la sécheresse de l'été précédent les naissances ait un impact sur celles-ci. En effet, nous obtenons le même résultat de 2001 à 2016 : l'hypothèse nulle d'absence de corrélation entre ces deux variables est rejetée (p-valeur = 0,045). Ainsi, d'après la Figure 8, plus la sécheresse de l'été précédent est élevée, c'est à dire avec des températures moyennes élevées et un cumul de précipitations faible, plus les femelles mettent bas tard. Un décalage de plus de 20 jours est possible entre deux

années dont la sécheresse est opposée. En période estivale, la condition physique des femelles est affectée car la chaleur limite l'activité des mouflons dont le système de thermorégulation est peu performant (Bourgoin et al, 2011, 2008). En effet, le manque de précipitations en période estivale affecte la qualité du fourrage et limite en conséquence la ressource d'énergie et d'eau disponible. Les animaux sont donc en moins bonne condition physique.

De ce fait, la période de reproduction en automne est retardée et cela entraîne un retard de la mise bas au printemps suivant.

Les conséquences que pourraient entraîner une augmentation et une intensification des sécheresses suite aux changements climatiques globaux, seraient que les femelles qui ne sont pas en bonne condition physique pour la période de reproduction ne puissent pas s'accoupler, ce qui diminuerait le nombre de femelles reproductrices de la population. De plus, le retard des naissances qu'entraîne une sécheresse trop élevée l'été précédent peut induire un décalage entre la phénologie des naissances et celle de la végétation, laquelle doit être optimale au moment de la mise bas. La survie des agneaux peut donc être impactée, car non seulement les femelles ont besoins de cette végétation pour la lactation, mais aussi car les agneaux commencent à varier leur alimentation avec quelques végétaux peu après leurs premiers jours de vie (Briedermann, 1986).

Ces résultats montrent une certaine plasticité des mouflons qui sont capables d'ajuster leur période de reproduction et en moindre mesure, leur temps de gestation en fonction des facteurs environnementaux pour optimiser la survie des agneaux (Berger, 1992 ; Mysterud, 2009 ; Clements, 2010).

Dans un second temps, la relation entre la masse corporelle des agneaux de l'année T-1 et la phénologie des naissances l'année T a été testée avec le test de corrélation de Pearson. Cependant, aucune corrélation n'a été démontrée entre ces deux variables (p -valeur = 0,42) et aucune tendance n'est observée. Nous émettons l'hypothèse que les agneaux sont de bons indicateurs du rapport densité de population / ressources disponibles de l'année, et que ce rapport serait susceptible d'impacter la condition physique des femelles, donc les dates de mise bas l'année suivante. Cependant, le poids des agneaux ainsi que celui des adultes ne se développent pas de la même manière. En effet, chez les adultes, le gain de masse se fait de façon asymptotique alors que les agneaux gagnent en masse de façon linéaire (Guillemette, 2016). On observe donc une réponse à la qualité fourragère différentes entre les classes d'âges.

Deux autres variables environnementales ont été testées afin de mettre en évidence une éventuelle corrélation entre la date de l'automne précédent les naissances ainsi que le début du printemps l'année des naissances. Le test de Pearson n'a démontré aucune corrélation entre la phénologie des naissances et le début de l'automne l'année précédent les naissances (p -valeur = 0,52). Cela semble cohérent avec les résultats trouvés jusqu'en 2013 puisque aucun lien n'avait été trouvé entre ces deux mêmes variables. Cependant, ces résultats sont plutôt éloignés de ceux obtenus chez l'isard puisqu'un début tardif de l'automne a tendance à retarder la période de reproduction donc de mise bas des femelles chez cette espèce (Kourkgi et al., 2015). Cela pourrait être dû au fait que les deux espèces n'ont pas la même sensibilité à l'arrivée de l'automne qui agit comme un signal pour induire la conception.

En revanche, le début du printemps semble avoir un effet sur la phénologie des naissances puisque la p -valeur est de 0,04804. Cela signifierait que plus le début du printemps est tardif, plus les naissances de la même année sont avancées. Ces résultats semblent incohérents par rapport aux récentes recherches menées sur le mouflon et l'isard qui avaient démontrées qu'une arrivée précoce du printemps avait tendance à avancer la date moyenne de naissances la même année, et non la retarder (Kourkgi et al., 2015 ; Petit, 2013). Cependant, dans les données d'estimation des dates moyennes de naissances, pour l'année 2004 (l'année dont la date moyenne des naissances est la plus tardive), le pic était estimé au jour 136 (jour julien), avec un écart-type de 64 jours. Cette valeur semble aberrante et serait susceptible d'influencer les résultats. C'est pourquoi elle est momentanément retirée du jeu de données afin d'observer une éventuelle corrélation entre le début du printemps et les dates de naissances la même année, sans l'influence de cette valeur.

La Figure 10 est alors obtenue :

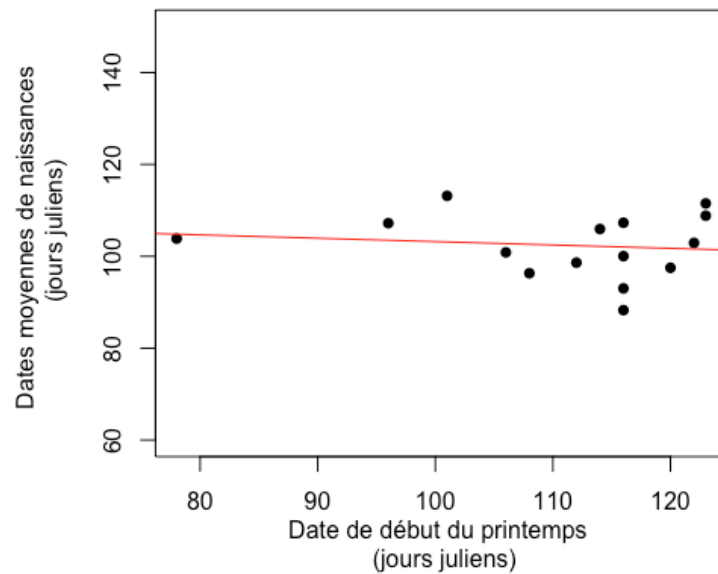


Figure 10 : Effet du début du printemps sur les naissances la même année, avec retrait de la valeur de 2004.

Lorsque la valeur de 2004 est retirée du jeu de données, aucune corrélation n'est mise en évidence entre les deux variables (p -valeur = 0,6471), et aucune tendance n'est observée. Cela semble cohérent avec les résultats obtenus jusqu'en 2013 puisqu'aucun lien entre ces deux variables n'avait été trouvé pour le mouflon, mais qu'une tendance avait été observée. En effet, il paraîtrait logique que les femelles puissent adapter leur temps de gestation en fonction de la date de début du printemps, afin de mettre bas dans des conditions de fourrage optimales. Cependant, il est plus facile pour une femelle d'adapter la date à laquelle elle se reproduit plutôt que son temps de gestation, cela expliquerait le fait qu'ici le début du printemps n'a pas d'impact sur la naissance des agneaux la même année (Berger, 1992 ; Mysterud, 2009 ; Clements, 2010).

La condition physique des femelles semble donc être le facteur le plus déterminant de la période de mise bas, laquelle peut être impactée par des facteurs environnementaux.

Conclusion

La phénologie des naissances chez le mouflon méditerranéen est un facteur qui peut être influencé par différentes variables environnementales. En effet, il a été démontré que la condition physique des femelles est fortement impactée par la sécheresse de l'été. Cela va avoir un impact sur la période de reproduction puis sur la date de mise bas, puisque lorsque les étés sont secs, la date moyenne des naissances l'année suivante est repoussée. Cela montre une certaine plasticité des mouflons, capables d'adapter leur période de reproduction et en moindre mesure le temps de gestation, afin d'optimiser la survie des agneaux. La phénologie des naissances est donc adaptée à celle de la végétation, ce qui permet aux femelles et aux agneaux de bénéficier d'un fourrage optimal pour leur croissance.

Par ailleurs, il a été montré que les dates de début de l'automne précèdent les naissances ainsi que de début du printemps l'année des naissances n'ont aucun impact sur la date de mise bas des mouflons. De plus, aucune évolution nette des dates moyennes de naissances d'année en année n'a été démontrée.

Cette approche populationnelle a permis de déterminer les pics de naissances des agneaux en prenant en compte à la fois les individus marqués comme non marqués de la réserve. Cependant, il pourrait être intéressant d'évaluer le pic des naissances avec seulement les données des femelles marquées, afin d'obtenir la répartition des naissances le long de la période de mise bas pour chaque année, et ainsi obtenir une estimation plus précise du pic de naissances. Cela permettrait aussi d'évaluer l'évolution de la synchronicité des mises bas d'année en année, dans le cadre de l'arrivée du loup sur le territoire héraultais depuis 2015.

Bibliographie

Bagnouls, F., et H. Gaussen. « Saison sèche et indice xérothermique ». *Géocarrefour* 29, n° 3 (1954) : 269-269.

Baudière, A. « Bulletin de la Société Languedocienne de Géographie ». Essai de synthèse climatique. Le Parc National du Caroux, 1962.

Berger, Joel. « Facilitation of Reproductive Synchrony by Gestation Adjustment in Gregarious Mammals : A New Hypothesis ». *Ecology* 73, n° 1 (1 février 1992) : 323-29.

Bon, Richard, Jean-Marc Cugnasse, Dominique Dubray, Philippe Gibert, T. Houard, et P. Rigaud. « Le mouflon de Corse. », 1991, 67-110.

Bon, Richard, Maryse Dardaillon, et Inma Estevez. « Mating and Lambing Periods as Related to Age of Female Mouflon ». *Journal of Mammalogy* 74, n° 3 (1993): 752-57.

Bourgoin, G., M. Garel, P. Blanchard, D. Dubray, D. Maillard, et J.-M. Gaillard. « Daily responses of mouflon (*Ovis gmelini musimon* × *Ovis sp.*) activity to summer climatic conditions ». *Canadian Journal of Zoology* 89, n° 9 (24 août 2011): 765-73.

Bourgoin, G., M. Garel, B. Van Moorter, D. Dubray, D. Maillard, E. Marty, et J.-M. Gaillard. « Determinants of seasonal variation in activity patterns of mouflon ». *Canadian Journal of Zoology* 86, n° 12 (1 décembre 2008): 1410-18.

Briedermann, L. « Untersuchungen zur Nahrungswahl bei Muffelwild im ersten Lebensjahr. Beitr. zur Jagd. und Wildforsch ». Traduction française par K. Ebner (1994) : « Recherches sur la sélection alimentaire du mouflon dans sa première année ». Traduction de l'O.N.C. 14, n° 155-162 (1986).

Caughley, Graeme, et Judith Caughley. « Estimating Median Date of Birth ». *The Journal of Wildlife Management* 38, n° 3 (1974): 552-56.

Clements, Michelle N., Tim H. Clutton-Brock, Steve D. Albon, Josephine M. Pemberton, et Loeske E. B. Kruuk. « Gestation Length Variation in a Wild Ungulate ». *Functional Ecology* 25, n° 3 (2010): 691-703.

Garel Mathieu, A. Loison, Jean-Michel Gaillard, Jean-Marc Cugnasse, et D. Maillard. « The Effects of a Severe Drought on Mouflon Lamb Survival ». *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences* 271, n° Suppl 6 (7 décembre 2004): S471-73.

Garel Mathieu, Jean-Marc Cugnasse, Jean-Michel Gaillard, Anne Loison, Philippe Gibert, Philippe Douvre, et Dominique Dubray. « Reproductive Output of Female Mouflon (*Ovis Gmelini Musimon* × *Ovis Sp.*): A Comparative Analysis ». *Journal of Zoology* 266, n° 1 (mai 2005): 65-71.

Guillemette, Simon. « Effets du climat et des conditions météorologiques locales sur les changements de masse saisonniers du mouflon d'Amérique (*Ovis Canadensis*) ». Faculté des Sciences Université de Sherbrooke, 21 juin 2016.

Hamel, Sandra, Mathieu Garel, et Marco Festa-Bianchet. « Spring Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) Predicts Annual Variation in Timing of Peak Faecal Crude Protein in Mountain Ungulates ». *ResearchGate*, mars 2009.

Herring, John Weier and David. « Measuring Vegetation (NDVI & EVI) : Feature Articles ». Text.Article, 30 août 2000.

Klein, François, Floriane Plard, Claude Warnant, Gilles Capron, Jean-Michel Gaillard, Mark Hewison, et Christophe Bonenfant. « Le chevreuil face aux changements climatiques : une adaptation impossible ? », 2014, 7.

Kourkgy, Charlotte, Mathieu Garel, Joël Appolinaire, Anne Loison, et Carole Toïgo. « Onset of Autumn Shapes the Timing of Birth in Pyrenean Chamois More than Onset of Spring ». *The Journal of Animal Ecology* 85, n° 2 (mars 2015): 581-90.

Linderholm, Hans W., Alexander Walther, et Deliang Chen. « Twentieth-Century Trends in the Thermal Growing Season in the Greater Baltic Area ». *Climatic Change* 87, n° 3-4 (1 avril 2008): 405-19.

Massol, Gilbert. *La réserve Nationale de Faune du Caroux Espinouse*, 1991. *Le Mouflon*, 2005.

Mysterud, Atle, Knut H. Røed, Øystein Holand, Nigel G. Yoccoz, et Mauri Nieminen. « Age-Related Gestation Length Adjustment in a Large Iteroparous Mammal at Northern Latitude ». *Journal of Animal Ecology* 78, n° 5 (2009): 1002-6.

Petit, Elodie. « Phénologie des naissances chez le mouflon (*Ovis gmelini musimon* x *Ovis* sp.) de la Réserve Nationale de Chasse et de Faune Sauvage du Caroux – Espinouse », 2013.

Türcke, Friedrich, et Samuel Schmincke. *Das Muffelwild. Naturgeschichte*. Parey, 1965.

Annexes

Semaines	1, 2, 3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17, 18, 19	
Bibliographie																
Terrain (Lecture collier, télémétrie, captures = C)					Captures											
Statistiques R																
Rédaction																
Tri des données																

ANNEXE 1 : Calendrier de stage

DATE :		HEURE OBS:		HEURE DEBUT: D'ITINERAIRE		HEURE FIN: D'ITINERAIRE	
OBSERVATEURS :				Feuille n°: / si plus feuilles pour le même groupe			
LOCALISATION CARROYEE DU GROUPE		LOCALISATION OBSERVATEUR		☐ Lors d'un Itinéraire : ☐ au hasard ☐ au point :			
				☐ au hasard ☐ Point fixe :			
N° du groupe : par point d'obs		NOMBRE TOTAL D'ANIMAUX DANS LE GROUPE : 					
ANIMAUX MARQUES Nombre total d'animaux marqués : 							
Relier à l'aide d'un trait les colonnes des animaux apparentés (la femelle marquée avec son agneau marqué)							
Sexe	☐ M ☐ F ☐ ?	☐ M ☐ F ☐ ?	☐ M ☐ F ☐ ?	☐ M ☐ F ☐ ?	☐ M ☐ F ☐ ?	☐ M ☐ F ☐ ?	☐ M ☐ F ☐ ?
Age (ag, 1,...)							
Cornue	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?
Suivée	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?	☐ O ☐ N ☐ ?
Critère utilisé pour suivée ou non suivée	☐ Agneau tête ☐ Agneau couché contre ☐ Agneau suit ☐ Femelle se déplace seule	☐ Agneau tête ☐ Agneau couché contre ☐ Agneau suit ☐ Femelle se déplace seule	☐ Agneau tête ☐ Agneau couché contre ☐ Agneau suit ☐ Femelle se déplace seule	☐ Agneau tête ☐ Agneau couché contre ☐ Agneau suit ☐ Femelle se déplace seule	☐ Agneau tête ☐ Agneau couché contre ☐ Agneau suit ☐ Femelle se déplace seule	☐ Agneau tête ☐ Agneau couché contre ☐ Agneau suit ☐ Femelle se déplace seule	☐ Agneau tête ☐ Agneau couché contre ☐ Agneau suit ☐ Femelle se déplace seule
Collier	☐ ext. couleurs ☐ ext. + vhf ☐ GPS	☐ ext. couleurs ☐ ext. + vhf ☐ GPS	☐ ext. couleurs ☐ ext. + vhf ☐ GPS	☐ ext. couleurs ☐ ext. + vhf ☐ GPS	☐ ext. couleurs ☐ ext. + vhf ☐ GPS	☐ ext. couleurs ☐ ext. + vhf ☐ GPS	☐ ext. couleurs ☐ ext. + vhf ☐ GPS
Code (compléter schéma et couleurs)	(COU) ☐ Bandes couleur du fond : ☐ Plaques	(COU) ☐ Bandes couleur du fond : ☐ Plaques	(COU) ☐ Bandes couleur du fond : ☐ Plaques	(COU) ☐ Bandes couleur du fond : ☐ Plaques	(COU) ☐ Bandes couleur du fond : ☐ Plaques	(COU) ☐ Bandes couleur du fond : ☐ Plaques	(COU) ☐ Bandes couleur du fond : ☐ Plaques
BA	☐ oreil. D couleur ☐ oreil. G 	☐ oreil. D couleur ☐ oreil. G 	☐ oreil. D couleur ☐ oreil. G 	☐ oreil. D couleur ☐ oreil. G 	☐ oreil. D couleur ☐ oreil. G 	☐ oreil. D couleur ☐ oreil. G 	☐ oreil. D couleur ☐ oreil. G
Etat marquage							
Remarques							
N°Fichier							

ANIMAUX NON MARQUES : EFFECTIFS PAR CLASSES					
	Mâle	Femelle non cornue	Femelle cornue	Femelle corne ?	Sexe ?
Agneaux					
1 an					
2-3 ans					
4-6 ans					
7 ans et +					
Age ?					
Pour les femelles, rajouter en face de chaque individu dans le tableau ci-dessus le statut suivée: 1ns = 1 femelle non suivée / 1s = 1 femelle suivée / 1g = 1 femelle gestante					Nombre total d'animaux non marqués :
OBSERVATIONS / REMARQUES:					