

**UFR SCIENCES & TECHNIQUES COTE BASQUE
UNIVERSITE 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

**Utilisation des modèles de mélange pour
expliquer la cinétique d'abondance de la
population de Mouflons méditerranéen sur le
massif du Caroux-Espinouse de 1990 à 2016.**

DECOURTEILLE Virgil

Stage effectué du 6 mars au 6 juillet 2017 à
Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage
RNCFS du Caroux Espinouse – Fagairolles
34610 CASTANET LE HAUT
Sous la direction de M. GAREL Mathieu

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



Remerciements

Tout d'abord je voudrais remercier M. Christian ITTY, inspecteur de l'environnement, pour avoir retenu ma candidature pour ce stage. Mais aussi pour son aide précieuse, ses bons conseils et son accompagnement tout au long de ce stage.

Ensuite, tout particulièrement à M. Mathieu GAREL, ingénieur à l'Unité Faune de Montagne, pour ses explications et sa patience infinie pour les différentes analyses nécessaires pour cette étude. Mais aussi, et surtout, pour ses nombreux conseils et corrections pour la rédaction de ce rapport.

Mme Patricia MICHEL, chargée de mission au Groupement d'Intérêt Environnemental et Cynégétique du Caroux-Espinouse, pour m'avoir permis d'accéder aux données de comptages IPA et pour ses diverses explications sur la chasse.

Mme Arzhela HEMERY pour ses relectures et ses conseils.

Les agents du SD34 et stagiaires pour leurs aides diverses tout au long de ce stage.

Mes pensées vont aussi à tous ces mouflons capturés à leur insu. Remerciés de leur coopération avec de superbes marquages en tout genre : bagues auriculaires, colliers avec plaques sérigraphiées d'un code alphanumérique, des émetteurs VHF, des colliers GPS et pour les plus chanceux des colliers GPS avec accéléromètre ! Les activités de terrains pour contribuer aux différents suivis à long-terme sur le territoire du Caroux-Espinouse **représentant la plus grosse partie de mon travail pendant ce stage** à côté de cette partie analyse sur les données historiques.

Avant-propos

La Réserve Nationale de Chasse et de Faune Sauvage (RNCFS) du Caroux-Espinouse est sur un massif de moyenne montagne situé dans le département de l'Hérault. Sa position géographique, à la croisée des influences atlantique et méditerranéenne, rend ce site naturel particulièrement remarquable.

Historiquement cet espace s'est vu classer pour la première fois en Réserve Domaniale de Chasse en 1956 puis a évolué en RNCFS en 1973. Cette réserve est gérée par l'Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage (ONCFS) et par l'Office National des Forêts (ONF), ce qui implique une coopération scientifique et technique afin d'assurer la gestion et la conservation de la faune et de ses habitats de façon rationnelle. En tout ce ne sont pas moins de 1658ha qui sont inclus dans la réserve, avec en complément un classement en Natura 2000 ainsi qu'un APPB sur une partie de la réserve.

Les missions de la RNCFS se concentrent surtout autour de l'acquisition de connaissances sur la biologie et l'écologie du Mouflon méditerranéen.

Pour atteindre cet objectif, différents types de suivis ont mis été en place dont le principal repose sur la capture, le marquage et la ré-observation visuelle des animaux marqués (Lebreton, Burhnam, Clobert, & Anderson, 1992). En complément des informations démographiques apportées par ce suivi, différents protocoles sont appliqués au moment de la capture des animaux afin de suivre l'état sanitaire de la population ou encore sa structure génétique. L'ensemble de ces missions est réalisé par **l'unité Faune de Montagne de l'ONCFS** (avec laquelle se déroule ce stage), la cellule technique Occitanie et le service département de l'Hérault de l'ONCFS.

D'autres acteurs du territoire sont étroitement liés à ce suivi, notamment le GIEC du Caroux-Espinouse (Groupement d'Intérêt Environnemental et Cynégétique) avec qui la réserve travaille en étroite collaboration.

Le suivi de cette espèce sur la RNCFS est ainsi réalisé annuellement depuis 1974, ce qui donne lieu à une base de données riche et variée avec la possibilité de réaliser un nombre important d'analyses.

Table des matières

Introduction.....	6
Matériels et méthodes	7
1. Biologie du Mouflon	7
Description	7
Niche écologique.....	7
2. La zone étudiée	8
3. Méthode de comptage.....	9
4. Données récoltées.....	10
5. Méthodes statistiques.....	10
Modèle de mélange en population fermée (Royle, 2004)	11
Modèle de mélange en population ouverte (Hostetler & Chandler, 2015)	11
Résultats.....	11
Modèle de mélange en population fermée (Royle, 2004)	12
Modèle de mélange en population ouverte (Hostetler & Chandler, 2015)	13
Discussion	16
Bibliographie.....	18
Annexes.....	20

FIGURE 1 – MOUFLON MALE ©VIRGIL DECOURTEILLE 7

FIGURE 2 – ABONDANCE MOYENNE DE MOUFLONS SUR LE CIRCUIT 10 (CAÏSSENOLS VOIR ANNEXE 2) AVEC EN ROUGE LA COURBE DE TENDANCE ET EN GRIS LE NOMBRE D'ATTRIBUTIONS DE MOUFLONS POUR LA CHASSE SUR LE TERRITOIRE DU CAROUX-ESPINOUSE 8

FIGURE 3 – LOCALISATION ET LIMITES DE LA RNCFS DU CAROUX-ESPINOUSE AVEC L'EMPLACEMENT DES CIRCUITS ET POINTS D'OBSERVATIONS. 10

FIGURE 4 – ABONDANCE TOTALE POUR LE MODELE POPULATION OUVERTE, A PARTIR DES RESULTATS DU TABLEAU 3 15

TABLEAU 1 – RESULTATS DU MODELE EN POPULATION FERMEE POUR LES 10 PREMIERES ANNEES (TABLEAU COMPLET EN ANNEXE). *L'ABONDANCE TOTALE EST CALCULEE SUR LA BASE DU CALCUL SUIVANT : SOMME DES PLUS GRANDES VALEURS DE GROUPES POUR CHAQUE SITE MULTIPLIEE PAR LA TAILLE MOYENNE DES GROUPES. 12

TABLEAU 2 – DIFFERENTS MODELES POUR TESTER LES VARIATIONS DES IPA SUR UNE POPULATION DE MOUFLONS SUR LE CAROUX-ESPINOUSE ENTRE 1990 ET 2016. 13

TABLEAU 3 – RESULTATS DU MODELE EN POPULATION OUVERTE 14

Introduction

La gestion et la conservation de la faune sauvage nécessite d'obtenir des informations sur l'évolution de l'abondance des espèces et des populations dans le temps et dans l'espace (Williams, Nichols, & Conroy, 2002). Il existe aujourd'hui de nombreuses méthodes pour tenter d'atteindre cet objectif (Schwartz & Serber, 1999). Sur le massif du Caroux-Espinouse, deux méthodes indiciaires ont été retenues dont l'objectif n'est pas d'obtenir une estimation de l'effectif réel de la population mais plutôt de suivre les variations relatives d'une fraction supposée constante de cet effectif (d'où l'appellation de méthode indiciaire). Ces deux méthodes se basent sur des comptages répétés soit à travers des itinéraires pédestres (Indice Pédestre d'Abondance) soit un itinéraire aérien (par hélicoptère).

La limite des méthodes indiciaires est de supposer que la probabilité de détection des animaux/groupes est constante d'une répétition à l'autre et d'une année sur l'autre. En pratique, les conditions climatiques, les observateurs, etc. rendent cette hypothèse souvent caduque. Récemment des nouveaux modèles statistiques (*'N-mixture model'* ou modèles de mélange (Royle, 2004)) ont donc été développés pour tenter de lever cette hypothèse en permettant d'estimer explicitement, grâce aux répétitions réalisées, la probabilité de détection des animaux. Il s'agit ici d'appliquer ces nouvelles approches aux données collectées dans le cadre des IPA réalisées depuis 1990 dans cette population. Plus précisément, nous avons cherché à estimer la probabilité de détection annuelle des groupes de mouflons afin d'obtenir un indice d'abondance corrigé à même d'être interprété comme une estimation de l'effectif total de cette population.

Matériels et méthodes

1. Biologie du Mouflon

Description

En Europe, les premières traces du mouflon remontent au Néolithique dans les îles de la Méditerranée (la Corse, Chypre et la Sardaigne). Ils auraient été introduits par les nomades il y a cinq ou six mille ans avant J.C. et seraient issues de l'Asie centrale où des fossiles ont été découverts (Bon, et al., 1991). La population de Corse serait issue d'individus redevenus sauvages.

Dans les années cinquante des lâchés sont réalisés afin de créer une population sauvage pour les activités cynégétiques. Plusieurs régions de France recevront des mouflons et c'est ainsi que le massif du Caroux-



Figure 1 – Mouflon mâle ©Virgil DECOURTEILLE

Espinouse s'est vu amener des mouflons sur le territoire. Des hybridations ont eu lieu au cours des différentes phases de l'introduction avec des individus du genre *Ovis sp.* Ceci explique qu'aucune souche n'est réellement pure sur le territoire français et cela donne la dénomination au Mouflon méditerranéen *Ovis gmelini musimon x Ovis sp.* Dans ce document sera fait référence à *Ovis gmelini musimon x Ovis sp* sous la dénomination « mouflon ».

Cette espèce présente un dimorphisme sexuel marqué avec des cornes pour le mâle pouvant atteindre près de 1 mètre (Bon, et al., 1991). La femelle peut être cornue ou non : ses cornes, quand elle en possède, ne sont que rarement symétriques et ne dépassent pas les 20cm.

Niche écologique

Le mouflon a une préférence pour les espaces ouverts avec des zones escarpées où la strate herbacée est fortement représentée. On peut le considérer comme rupicole puisqu'il est plutôt habile sur les escarpements et pentes rocheuses qui lui servent de refuge face aux différentes menaces de prédation. Présent sur des altitudes allant de la mer jusqu'à 5500m (pour certains individus du genre *Ovis*), la limite se trouve plutôt sur la disponibilité des ressources toute l'année. Cette disponibilité est facilitée par le spectre alimentaire très étendu du mouflon (Marchand, et al., 2013). On peut le retrouver dans les forêts qu'il fréquente pour leur fraîcheur en période de forte chaleur mais il reste majoritairement dans les zones ouvertes qui

correspondent plus à sa stratégie anti-prédatrice. Il vit de façon grégaire ce qui, couplé avec son acuité visuelle importante et sa morphologie de coureur, lui permet d'échapper plus facilement à la prédation.

2. La zone étudiée

La zone d'étude est située sur la partie sud du Massif Central sur une zone au relief marqué présentant une mosaïque de milieux. On y retrouve de la forêt dominée par du Hêtre (*Fagus sylvatica*), de la lande à Genêt ou à Ericacées (*Calluna vulgaris* et *Cytisus purgans*), des prairies herbacées et des zones rocheuses escarpées. Les parties supérieures sont majoritairement composées de forêts de résineux (*Pinus sylvestris*, *P. nigra*, *Picea abies*) plantés pour la sylviculture dans le cadre de la gestion par l'ONF, co-gestionnaire sur la réserve. On observe depuis l'introduction du mouflon une nette augmentation des surfaces boisées avec un recul marqué des zones ouvertes suite à la modification des activités humaines (Sourie, Garel, & Maillard, 2004).

Le massif sous l'influence de différents climats présente des étés secs (Garel, Loison, Gaillard, Cugnasse, & Maillard, 2004) : des automnes humides et des hivers froids (Thiebaut, 1971). L'altitude varie entre 300 et 1124m.

La population de mouflons sur la zone d'étude est issue de l'introduction de 19 individus (10 femelles et 9 mâles). 8 individus introduits en 1956 et 1959 issus de la Réserve Nationale de Cadarache, 6 en 1960 de Chambord et 5 autres en 1960 de Tchécoslovaquie.

Le mouflon est chassé depuis 1973 ; la chasse est ouverte du 1er septembre au 28 février avec un peu plus de 500 individus attribués au plan de chasse en 2016.

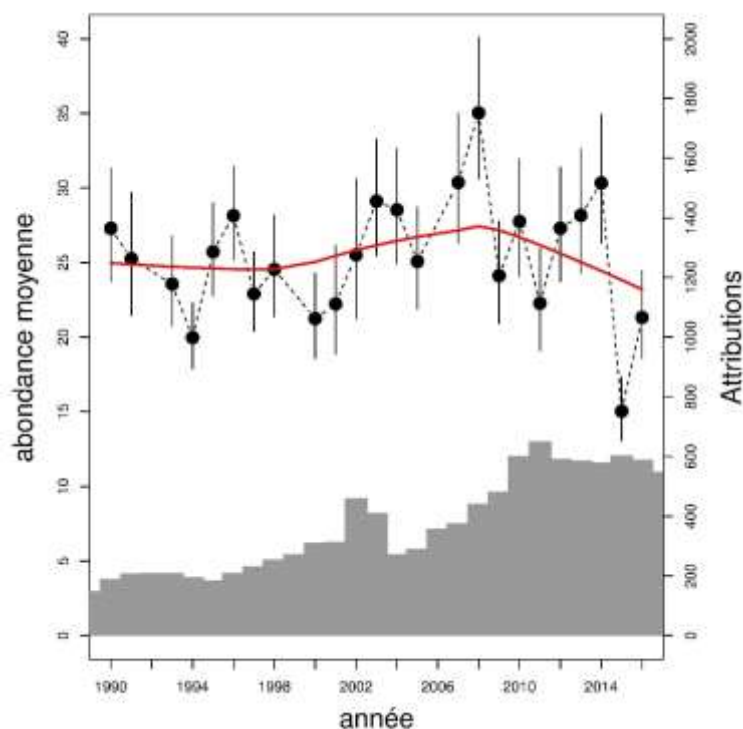


Figure 2 – Abondance moyenne de mouflons sur le circuit 10 (Caïssenols voir Annexe 2) avec en rouge la courbe de tendance et en gris le nombre d'attributions de mouflons pour la chasse sur le territoire du Caroux-Espinouse

3. Méthode de comptage

Les données utilisées proviennent des IPA réalisés depuis 1989 à partir d'une méthode issue de comptages d'oiseaux (Blondel, Ferry, & Frochot, 1970). Ces comptages, ont été réalisés et pilotés par l'ONCFS de 1989 à 2003 puis par le GIEC de 2003 à aujourd'hui. Ces comptages permettent de relever la tendance dans l'évolution de la population (Cugnasse & Garel, 2003; Garel, et al., 2004) afin d'adapter les plans de chasse.

De fin mars à mi-avril, durant la période de mise bas, les femelles sont beaucoup moins visibles. Les IPA sont réalisés durant la deuxième quinzaine de mai, voire début juin, lorsque les mises bas sont terminées et que les femelles rejoignent les zones d'alimentation où elles sont beaucoup plus faciles à observer. La distribution des activités des mouflons étant bimodale avec des pics d'activité dans les deux heures suivant le lever du soleil et les deux heures précédant le coucher du soleil (Bourgoin, et al., 2011), le comptage est réalisé les deux heures précédant le coucher du soleil. Les premières années, des comptages étaient également réalisés les deux heures suivant le lever du soleil mais ils ont été arrêtés pour garder l'effort d'observation sur la même partie de la journée, le soir étant la plus pratique.

A chaque répétition, 6 itinéraires sont réalisés le long desquels 3 ou 4 points d'observations ont été identifiés (pour un total de 19 points d'observations, Figure 3 et Annexe 2). Chaque itinéraire est réalisé entièrement par le même observateur. Tous les itinéraires sont réalisés simultanément. Le comptage a été répété de 4 à 9 fois, suivant les années, sur une période de 2 semaines (période suffisamment courte pour considérer la population comme fermée démographiquement). Les observateurs alternent entre les différents circuits à chaque répétition afin d'éviter un éventuel effet observateur. Chaque circuit de comptage est indépendant, les mouflons comptés sur un circuit ne pouvant pas être comptés en même temps sur un autre circuit. Les observateurs sont le plus possible les mêmes d'une année sur l'autre, parce que l'effet observateur est négligeable avec des personnes possédant déjà une expérience d'observation de mouflons sur le massif contrairement à des observateurs débutants qui réaliseraient leurs premières observations (Garel, et al., Effect of observer experience on the monitoring of a mouflon population, 2005).

Sur chaque point, 15 minutes sont consacrées à la détection et l'énumération (à l'aide de jumelles ou de longue vue) des groupes de mouflons présents sur zone. Chaque groupe est aussi localisé sur une carte (grille de 125m x 125m) et sa composition en classes d'âge et de sexe est détaillée.

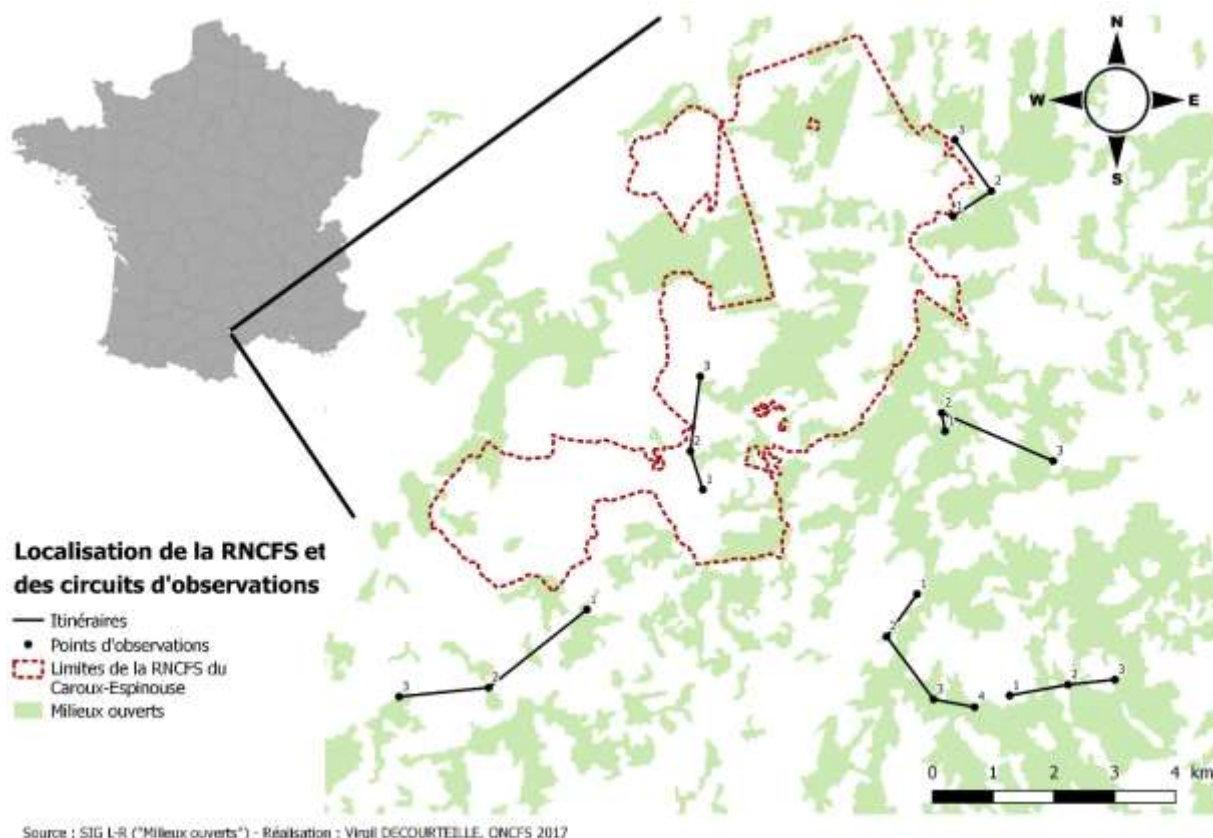


Figure 3 – Localisation et limites de la RNCFS du Caroux-Espinouse avec l'emplacement des circuits et points d'observations.

4. Données récoltées

Les comptages ont débuté en 1989 et sont réalisés tous les ans. L'année 1989 n'a pas été conservée dans la suite des analyses puisque nous ne possédions pas de données climatiques pour cette année-là. En 1992 et 1999 aucun comptage n'a été réalisé en raison de conditions météorologiques défavorables empêchant l'observation, telles que la pluie, le brouillard ou des vents forts. Toutes les autres années sont analysés sur les 4 premiers comptages afin d'avoir un plan d'échantillonnage équilibré à travers la période de suivi. L'année 2006 n'a donc pas pu être conservée dans les analyses puisqu'il n'y a eu que 3 répétitions cette année-là.

Les données météo de température moyennes journalières sont issues de la station de Cambon-et-Salvergues situé à 900m d'altitude et à 3km à l'Ouest de la réserve.

5. Méthodes statistiques

Pour l'analyse, deux modèles de mélanges ont été utilisés. Le premier est un modèle en population fermée. Il se base sur le modèle de Royle (Royle, 2004). Le second est un modèle en population ouverte d'Hostetler (Hostetler & Chandler, 2015). Ces modèles de mélanges utilisent les données de comptages collectées (ici nombre de groupes) sur M sites avec J répétitions.

Le mouflon est une espèce grégaire : lors des observations ce sont les groupes qui sont détectés. C'est pourquoi l'unité statistique pour les analyses est le groupe. Le

nombre total d'individus est ensuite déduit simplement en multipliant l'estimation obtenue du nombre de groupes par la taille moyenne des groupes de l'année concernée.

Les calculs se font à l'aide du package unmarked (Fiske & Chandler, 2011) sur le logiciel R.

Le choix pour les paramètres et les modèles les plus ajustés est fait avec l'utilisation de l'Akaike Information Criterion (AIC) par comparaison. Les modèles ayant la valeur la plus faible sont les modèles les plus parcimonieux (dont le nombre de paramètres par rapport à la variance expliquée présente le meilleur rapport). Le modèle avec l'AIC le plus faible prend en compte l'effet de la température moyenne journalière sur la probabilité de détection (Tableau 2). Nous considérons qu'il y a une différence significative entre deux modèles à partir d'un $\Delta AIC \leq 2$ (Burnham & Anderson, 2002).

Modèle de mélange en population fermée (Royle, 2004)

Le modèle fait l'hypothèse que l'abondance reste constante au cours des répétitions et que les observations sur chaque circuit sont indépendantes les unes des autres (Royle, 2004). Le traitement se fait année par année, suivi d'une comparaison inter-annuelle (Fiske & Chandler, 2011). Pour ces calculs la population est considérée comme fermée. La mortalité et des naissances ne sont pas prises en compte puisque chaque année est analysée à part entière.

Modèle de mélange en population ouverte (Hostetler & Chandler, 2015)

La seconde méthode combine le modèle précédent dans une version où la population est démographiquement ouverte entre années d'échantillonnage (les années sont les sessions primaires d'échantillonnage qui incluent des sessions secondaires intra-année où le modèle de Royle est appliqué) (Dail & Madsen, 2010). L'analyse peut alors être réalisée sur l'ensemble de la série temporelle pour obtenir les paramètres d'intérêt (pour chaque année : probabilité de détection et nombre moyen de groupes présents sur zone).

Résultats

Les comptages ont été réalisés entre le 13 mai et le 14 juin. La température journalière moyenne varie de 6.25°C à 20.25°C. La température moyenne influence la probabilité de détection des animaux qui réduisent leur activité et cherche le couvert thermique lorsque la température augmente (Garel, et al., 2004; Cazau, Garel, & Maillard, 2011). Le pourcentage d'ouverture sur chaque circuit a aussi été pris en compte puisqu'on suppose que celui-ci joue un rôle dans la probabilité de détection des individus, une zone plus ouverte facilitant l'observation ; à l'inverse une zone fermée rend la visibilité des individus plus difficile. Pour chaque circuit, l'ouverture est calculée sur l'ensemble de la surface du carroyage où a eu lieu au moins une observation pour chaque circuit. Elle varie de 22 à 61%.

Le choix de la distribution des données (nombre de groupes) s'est porté sur celle de Poisson (P) pour réaliser les analyses sur l'ensemble des modèles. Trois distributions

sont disponibles avec les deux modèles (Royle, 2004; Hostetler & Chandler, 2015) : Poisson (P), Négative Binomiale (NB) et « Zero-Inflated Poisson » (ZIP).

Pour le modèle simple sans covariable pour l'année 1990, les calculs donnent sur la base d'une distribution P avec un AIC de 229.2 contre 231.2 pour ZIP et 231,2 pour NB. On retrouve un meilleur ajustement de la distribution des données avec P dans l'ensemble des cas qui suivront.

Modèle de mélange en population fermée (Royle, 2004)

Le modèle est constitué en deux parties, une sur la probabilité de détection et l'autre sur l'abondance. Des co-variables peuvent être intégrées à chaque partie, sur ce modèle les analyses ont été réalisées à partir d'un modèle sans covariable et d'un second avec la covariable « température » lié à la probabilité de détection. Seuls les calculs issus du modèle sans covariable sont présentés dans le Tableau 1. Les résultats n'étant pas significatifs et les modèles avec la covariable température (sur la probabilité de détection) étant mieux ajustés uniquement pour les années 1994, 2008, 2009 et 2015.

*Tableau 1 – Résultats du modèle en population fermée pour les 10 premières années (Tableau complet en annexe).
L'abondance totale est calculée sur la base du calcul suivant : somme des plus grandes valeurs de groupes pour chaque site multipliée par la taille moyenne des groupes.

	Année	Estimation du nombre de groupes	P détection	Test d'ajustement	Taille moyenne des groupes	Abondance totale*
1	1990	8,5	0,19	0,69	5,00	811,2
2	1991	70,8	0,02	0,72	4,19	2622,8
3	1993	73,7	0,02	0,43	4,35	2862,9
4	1994	11,2	0,14	0,71	3,92	598,6
5	1995	6,5	0,30	0,90	4,22	519,9
6	1996	26,6	0,08	0,42	4,73	2395,6
7	1997	9,0	0,22	0,36	3,88	1967,8
8	1998	68,0	0,03	0,99	3,60	2129,4
9	2000	10,3	0,23	0,01	3,65	714,5
10	2001	35,2	0,05	0	3,65	2030,2

Modèle de mélange en population ouverte (Hostetler & Chandler, 2015)

Comme le modèle précédent, il est constitué en deux parties : une sur la probabilité de détection et l'autre sur l'abondance. Des co-variables peuvent être intégrées à chaque partie (Tableau 2).

Ce modèle a d'abord été testé avec chaque variable sur la probabilité de détection de façon indépendante (modèle 1, 5 et 6 Tableau 2). La significativité des tests sont respectivement de 0.013 (température), 0.85 (pourcentage d'ouverture) et 0.41 (date julienne). La date julienne et le pourcentage d'ouverture ont donc un effet faible sur la probabilité de détection des groupes de mouflons.

On garde le modèle 1 pour la suite des analyses (Tableau 2) car son AIC est plus faible que les autres modèles et que le Δ AIC supérieur ou égale à deux. Ce modèle présente un bon ajustement aux données des comptages (Pr du test d'ajustement = $0.85 \text{ SE} \pm 0.09111$).

Le taux d'accroissement estimé est de 0.001 ($\text{SE} \pm 0.0126$) entre 1990 et 2016.

Tableau 2 – Différents modèles pour tester les variations des IPA sur une population de mouflons sur le Caroux-Espinouse entre 1990 et 2016.

	Covariables		AIC	Δ AIC
	Détection	Abondance		
1	température	-	8868,1	0
2	température + % d'ouverture	-	8870,1	2
3	-	-	8872,3	4,2
4	date julienne + température	-	8872,5	4,4
5	% d'ouverture	-	8874,3	6,2
6	date julienne	-	8885,5	17,4
7	température	site	8896	27,9
8	date julienne + température + % d'ouverture	-	8903,3	35,2

Le modèle s'ajuste bien aux données le test donne $p = 0,86$.

L'abondance moyenne pour l'ensemble des années est estimé à 13.9 groupes par site. Pour l'ensemble des circuits cela donne 1054 individus (19 sites et en moyenne 4 individus par groupe). La probabilité de détection moyenne sur l'ensemble des comptages est de 0,15. Comme attendu, la température a un effet négatif (pente = - 0.0152) sur la probabilité de détection des groupes.

Tableau 3 – Résultats du modèle en population ouverte

	Somme du nombre de groupes estimés sur l'ensemble des sites	Abondance totale*	Indice de Confiance 95%	
			borne inférieure	borne supérieure
1990	258,97	1035,88	668	1448
1991	252,40	1009,61	584	1532
1993	274,65	1098,61	692	1576
1994	279,13	1116,51	760	1524
1995	288,51	1154,05	764	1580
1996	306,12	1224,46	844	1628
1997	302,67	1210,67	812	1636
1998	300,94	1203,76	768	1664
2000	293,67	1174,68	760	1620
2001	290,51	1162,04	696	1680
2002	294,22	1176,88	716	1656
2003	297,43	1189,70	744	1668
2004	307,61	1230,45	792	1676
2005	314,78	1259,12	820	1712
2007	304,52	1218,08	764	1680
2008	277,24	1108,97	692	1572
2009	293,35	1173,41	744	1624
2010	278,87	1115,49	692	1580
2011	268,49	1073,97	656	1552
2012	272,74	1090,97	656	1588
2013	273,06	1092,25	668	1568
2014	276,33	1105,33	684	1576
2015	274,74	1098,97	660	1592
2016	273,47	1093,86	656	1584

*Somme du nombre de groupes estimés par site multipliée par 4 (moyenne du nombre mouflons par groupe)

Les résultats de l'analyse permettent de tracer une courbe de l'évolution (Figure 4) de l'estimation de l'abondance sur le territoire des IPA entre 1990 et 2016.

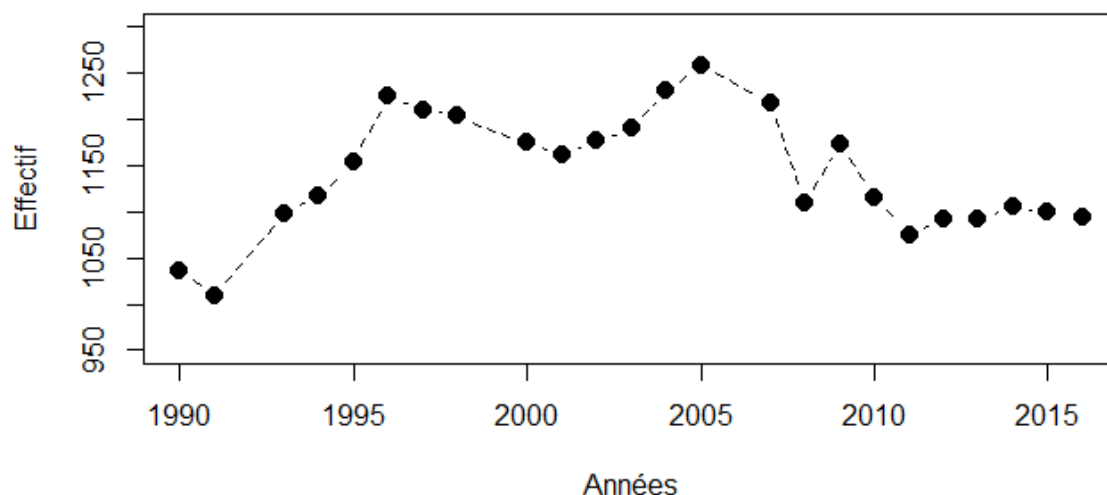


Figure 4 – Abondance totale pour le modèle population ouverte, à partir des résultats du Tableau 3

Le modèle s'ajuste bien aux données : le test donne $p = 0,86$.

L'abondance moyenne pour l'ensemble des années est estimé à 13.9 groupes par site. Pour l'ensemble des circuits cela donne 1054 individus (19 sites et en moyenne 4 individus par groupe). La probabilité de détection moyenne sur l'ensemble des comptages est de 0,15. Comme attendu, la température a un effet négatif (pente = - 0.0152) sur la probabilité de détection des groupes.

Discussion

Le modèle de Royle appliqué successivement chaque année ne nous a pas permis d'obtenir de résultats concluants. En effet, les variations interannuelles de l'effectif ainsi estimé ne sont biologiquement pas réalistes et dépassent largement le taux d'accroissement théorique maximal de l'espèce. A titre d'exemple, on peut voir sur le Tableau 1 des variations de 1989 à 1990, 1993 à 1994 ou encore de 1995 à 1996 avec des variations de facteur 2 à 3 alors que le taux moyen d'accroissement chez le mouflon est compris entre 0.3 et 0.35 (Bon, et al., 1991). De plus, les estimations de probabilité de détection varient de façon importante de 0.02 pour l'année la plus basse (1991) jusqu'à 0.30 pour l'année la plus haute (1995), ce qui ne semble pas cohérent aux vues des efforts de standardisation appliqués sur le terrain (formation des observateurs, réalisation des comptages uniquement dans des conditions climatiques favorables,...). Enfin, ces résultats sont à mettre en regard des tests d'ajustement des modèles qui sont le plus souvent significatifs indiquant un problème d'adéquation entre le modèle et les données et encouragent à considérer avec prudence les estimations obtenues.

L'autre approche employée ici consiste en une analyse de toutes les années de façon groupée (de 1990 à 2016) avec le modèle de Hostetler & Chandler. Ce modèle prend en compte l'effet de la température moyenne journalière sur la probabilité de détection des groupes de mouflons. Les données d'abondances issues de ce modèle semblent cohérentes si on les compare à d'autres données d'estimations. En 2012 à l'intérieur de la RNCFS l'abondance avait été estimée entre 467 et 1114 individus (Annexe 3). De plus, si on regarde les effectifs estimés d'une année à l'autre (Tableau 3), les variations sont biologiquement cohérentes avec le taux théorique d'accroissement de l'espèce. Il faut cependant rester prudent vu les fortes amplitudes si l'on prend en compte l'indice de confiance à 95% (Tableau 3).

L'abondance moyenne pour l'ensemble des années est estimé à 13.9 groupes par site. Pour l'ensemble des circuits cela donne 1054 individus (19 sites et en moyenne 4 individus par groupe). Comme attendu, la température a un effet négatif (pente = - 0.0152) sur la probabilité de détection des groupes.

Pour l'ensemble des comptages entre 1990 et 2016 la probabilité de détection des groupes de mouflons est relativement faible avec une estimation de 0.15. Cela montre la difficulté pour les observer lors des comptages sur le massif du Caroux-Espinouse. Lors des comptages, nombreux individus ne sont pas détectés (Thompson, 1992) d'où l'intérêt du modèle de mixture pour prendre en compte les animaux non observés dans les estimations d'abondance. Cette analyse montre aussi l'effet négatif de la température sur la probabilité de détection des animaux. Cette probabilité qui diminue quand la température augmente s'explique par la diminution de l'activité diurne (Bourgoin, et al., 2011). Grâce à ce modèle de mélange un lien direct est mis en évidence entre l'effet de la température et la probabilité de détection.

Le pourcentage d'ouverture semblerait jouer un rôle sur la probabilité de détection mais l'analyse par circuit n'a pas permis de valider cette hypothèse. Il serait intéressant d'affiner les données liées à l'évolution du pourcentage d'ouverture sur les différents

circuits. On sait que la réserve connaît une diminution du pourcentage d'ouverture au cours du temps et que celle-ci a un effet sur la dynamique du mouflon (Garel, et al., 2007). Cette diminution de l'ouverture ne semble pas s'être opérée de manière homogène sur le territoire (les zones escarpées non exploitées sembleraient moins touchées). Son effet n'est donc peut-être pas le même sur chaque circuit.

Les IPA nécessitent un nombre important d'observateurs. Ces observateurs doivent connaître les points de comptage de tous les circuits et être disponibles pour réaliser les répétitions (5 en 2017). Or, le GIEC rencontre de plus en plus de difficultés à réunir suffisamment d'observateurs pour réaliser correctement les IPA chaque année. Une analyse plus précise du degré d'ouverture et de son impact sur la probabilité de détection. Cela permettrait à l'avenir de préciser l'effort d'échantillonnage sur les circuits les plus importants si les moyens humains ne sont plus suffisants pour réaliser les 6 circuits actuels.

Bibliographie

Blondel, J., Ferry, C., & Frochot, B. (1970). La méthode des indices ponctuels d'abondance (I.P.A) ou des relevés d'avifaune par "stations d'écoute".

Bon, R., Cugnasse, J.-M., Dubray, D., Gibert, P., Houard, T., & Rigaud, P. (1991). *Le mouflon corse*.

Bourgoin, G., Garel, M., Blanchard, P., Dubray, D., Maillard, D., & Gaillard, J.-M. (2011). Daily responses of mouflon (*Ovis gmelini musimon* x *Ovis* sp.) activity to summer climatic conditions.

Bourgoin, G., Garel, M., Van Moorter, B., Dubray, D., Maillard, D., Marty, E., & Gaillard, J.-M. (2008). *Determinants of seasonal variation in activity patterns of mouflon*.

Burnham, K., & Anderson, D. (2002). Model Selection and inference - A Practical Information - Theoric Approach. New-York : Springer-Verlag.

Cazau, M., Garel, M., & Maillard, D. (2011). Responses of heather moorland and mediterranean mouflon foraging to prescribed-burning and cutting. *Journal of Wildlife Management*.

Cugnasse, J.-M., & Garel, M. (2003). Suivi de l'abondance des populations d'Ongulés sauvages en montagne : l'exemple du Mouflons méditerranéen. *Faune Sauvage*.

Dail, D., & Madsen, L. (2010). Models for Estimating Abundance from Repeated Counts.

Fiske, I., & Chandler, R. (2011). unmarked: An R Package for Fitting Hierarchical Models of Wildlife Occurrence and Abundance.

Garel, M., Cugnasse, J.-M., Loison, A., Gaillard, J.-M., Vuiton, C., & Maillard, D. (2004). *Monitoring the abundance of mouflon in south france*.

Garel, M., Cugnasse, J.-M., Gaillard, J.-M., Loison, A., Gibert, P., Douvre, P., & Dubray, D. (2004). *Reproductive output of female mouflon (Ovis musimon x Ovis sp.): a comparative analysis*.

Garel, M., Cugnasse, J.-M., Gaillard, J.-M., Loison, A., Santosa, Y., & Maublanc, M.-L. (2005). *Effect of observer experience on the monitoring of a mouflon population*.

Garel, M., Cugnasse, J.-M., Maillard, D., Gaillard, J.-M., Mark Hewison, A., & Dubray, D. (2007). Selective harvesting and habitat loss produce long-term life history changes in a mouflon population.

Garel, M., Loison, A., Gaillard, J.-M., Cugnasse, J.-M., & Maillard, D. (2004). *The effects of a severe drought on mouflon lamb survival*. The Royal Society Biological Sciences.

Hostetler, J., & Chandler, R. (2015). Improved state space models for inference about spatial and temporal variation in abundance from count data. *Ecology*.

Lebreton, J.-D., Burnham, K., Clobert, J., & Anderson, D. (1992). Modelling survival and testing biological hypothesis using marked animals : a unified approach with case studies Ecological Monographs.

Marchand, P., Redjadi, C., Garel, M., Cugnasse, J.-M., Maillard, D., & Loison, A. (2013). *Are mouflon (Ovis gmelini musimon really grazers ? A review of variation in diet composition*. Mammal Review.

Royle, J. (2004). N-Mixture Model for Estimating Population Size from Spatially Replicated Counts. Biometrics.

Santosa, Y., Maublanc, M.-L., Cugnasse, J.-M., & Eychenne, D. (1990). Influence de facteurs climatiques sur le rendement d'échantillonnages de mouflons (Ovis ammon musimon).

Schwartz, C., & Serber, G. (1999). *Estimating animal abundance review*. Statistical science.

Sourie, M., Garel, M., & Maillard, D. (2004). Impacts de la fermeture du milieu et des activités humaines sur la population de mouflons méditerranéens (Ovis gmelini musimon x Ovis sp.) du massif du Caroux-Espinouse.

Thiebaut, B. (1971). La transition climatique dans le massif de l'Agoût.

Thompson, S. (1992). *Sampling*. New-York : John Wiley.

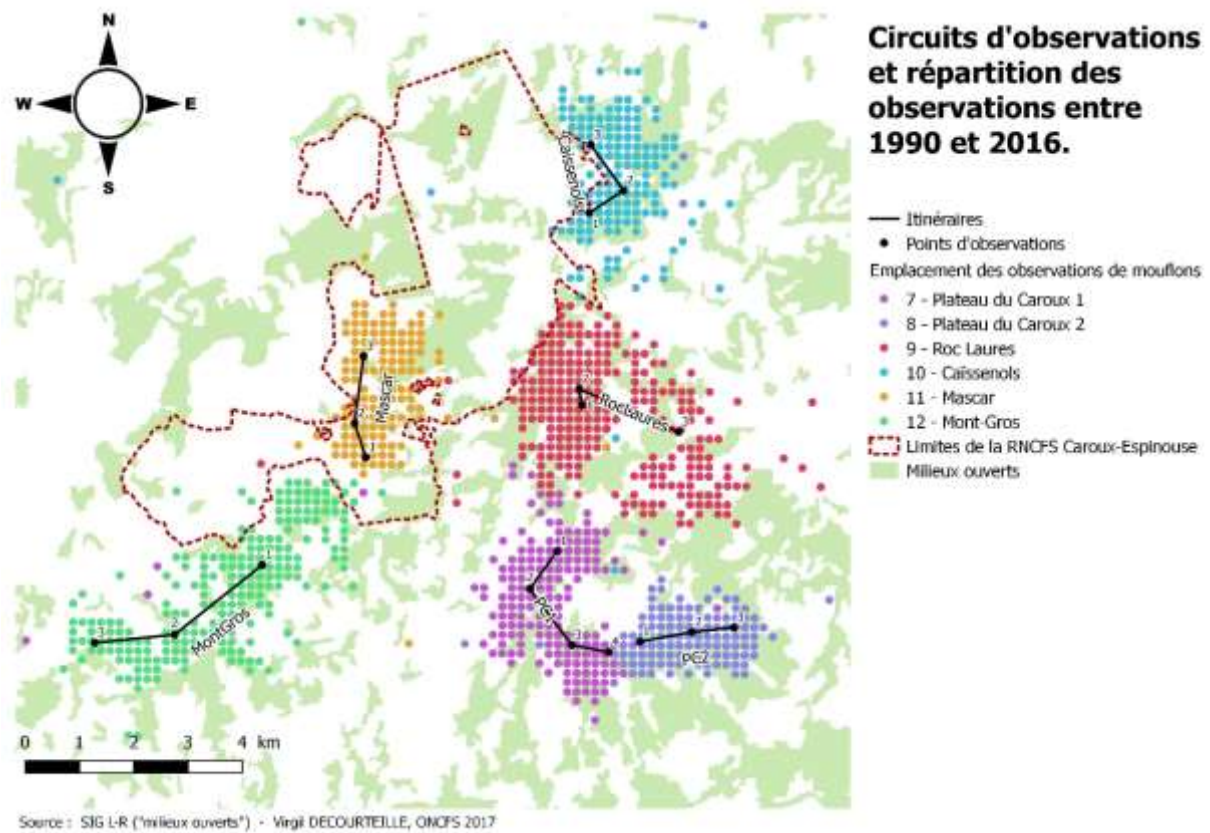
Williams, B., Nichols, J., & Conroy, M. (2002). Analysis and management of animal populations : modelling estimation, and decision making. Academic Press.

Annexes

Annexe 1 – Tableau des résultats du modèle année par année, estimation d'abondance par site, la moyenne et l'abondance totale est estimé en nombre de groupe de mouflon.

	Yr	Estimate abundance	p detection	Pr parboot	AIC model1 (no cov)	AIC model2 (cov T°C)	Mean	Abundance
1	1990	8,499438	0,1884673	0,693	350,657	352,9276	5,001773	811,2521
2	1991	70,80998	0,02043219	0,723	230,6392	233,2878	4,193889	2622,804
3	1993	73,69979	0,02508696	0,426	384,3132	386,1498	4,350687	2862,903
4	1994	11,24586	0,1430727	0,713	530,1077	519,5456	3,923214	598,6323
5	1995	6,488296	0,3019562	0,901	424,3619	426,6266	4,226437	519,9271
6	1996	26,57577	0,07871034	0,419	528,888	531,3447	4,728305	2395,632
7	1997	9,02	0,2175502	0,356	528,88	531,3447	3,883835	1967,775
8	1998	68,03348	0,03167623	0,99	310,954	531,3447	3,598295	2129,418
9	2000	10,27794	0,2261814	0,0099	425,7484	428,5841	3,649928	714,512
10	2001	35,1632	0,0557244	0	282,4961	428,5841	3,650142	2030,229
11	2002	8,671138	0,2478709	0,921	250,1477	250,5766	4,184038	690,0062
12	2003	70,10541	0,03768789	0,614	356,8148	359,2768	3,659579	2312,22
13	2004	17,81427	0,1358729	0,248	355,2099	357,2326	3,754845	1274,003
14	2005	5,697343	0,3770708	0,624	309,4771	312,0344	3,862016	418,0075
15	2006	13,46374	0,1323889	0,0693	139,548	142,3501	4,478788	723,0762
16	2007	5,697343	0,4206757	0,0297	326,4832	326,8643	3,749068	405,673
17	2008	20,69723	0,1071681	0	452,5267	326,8643	4,670011	489,8997
18	2009	14,0132	0,1223889	0,0099	395,2787	389,1521	3,355426	763,0433
19	2010	15,79984	0,1223889	0	353,2824	355,8901	5,012883	1502,613
20	2011	16,94546	0,112047	0,238	329,5612	355,8901	4,09693	1317,175
21	2012	65,36585	0,02931223	0,0792	337,0139	338,8678	3,876469	2333,419
22	2013	17,99331	0,118157	0	355,7297	355,1254	3,749051	1196,715
23	2014	48,42422	0,04653047	0,356	342,583	345,2277	4,751877	2868,399
24	2015	68,03348	0,02484354	0,396	314,5578	300,3652	3,263596	1970,021
25	2016	14,29629	0,1679816	0,178	326,9624	328,9624	4,386076	1121,754

Annexe 2 – Emplacement des circuits d'observation et des observations depuis chaque circuit entre 1990 et 2016



Annexe 3 – Estimation des effectifs du Vialais (partie intérieure de la réserve) réalisé pour un bilan par Garel M., ONCFS 2012

	Effectifs	
	Estimation	Intervalle de confiance
1986	353	[262-490]
1994	380	[311-471]
2003	474	[341-686]
2012	699	[467-1114]

Résumé

La Réserve Nationale de Chasse et de Faune Sauvage du Caroux-Espinouse est sur un massif de moyenne montagne situé dans le département de l'Hérault. C'est une zone d'étude privilégiée sur le Mouflon méditerranéen depuis son introduction en 1956. Différentes méthodes sont utilisées sur la réserve afin d'améliorer les connaissances sur la biologie et l'écologie de l'espèce. Parmi ces suivis, on retrouve le comptage par Indice Pédestre d'Abondance (IPA), mené depuis 1989 sur le territoire. Cet indice permet de suivre l'évolution de l'abondance de la population de mouflons. Cependant, cette méthode se base sur l'hypothèse d'une détection constante des animaux, ce qui est rarement le cas suite à différents facteurs. Récemment, de nouveaux modèles ont été développés pour permettre d'estimer cette probabilité. Cette analyse se porte sur différents modèles de mixture afin d'estimer la probabilité de détection des mouflons de façon à corriger les différents indices d'abondances menés pour estimer l'effectif total de la population de mouflon du massif. Cela a permis de mettre en évidence que tous les modèles ne sont pas adaptés aux données IPA et donne une première estimation de la probabilité de détection des groupes de mouflons sur l'ensemble des comptages.

Mots clés : Mouflon méditerranéen ; modèle mélange ; abondance ; probabilité de détection ; IPA ; comptages répétés