

# VetAgro Sup

Mémoire de fin d'études d'ingénieur

Modéliser des stratégies de  
bergers sur le massif de la Clape  
avec des troupeaux ovins  
mobiles

Théo FALCOU

Adapter l'Elevage aux nouveaux Enjeux (A2E)

2023

*« L'étudiant conserve la qualité d'auteur ou d'inventeur au regard des dispositions du code de la propriété intellectuelle pour le contenu de son mémoire et assume l'intégralité de sa responsabilité civile, administrative et/ou pénale en cas de plagiat ou de toute autre faute administrative, civile ou pénale. Il ne saurait, en cas, seul ou avec des tiers, appeler en garantie VetAgro Sup. »*

*Ce travail a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence ANR-16-CONV-0004.*

*This work was supported by the French National Research Agency under France 2030 program, referred as ANR-16-CONV-0004.*

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mes maîtres de stages, Myriam GRILLOT et Amandine LURETTE, pour le bon déroulement du stage. Leur pédagogie, leur patience et leur disponibilité m'ont permis d'être dans de bonnes conditions pour le stage. Des points stages étaient régulièrement organisés, me permettant d'être au clair sur l'avancée de mes missions. Je tiens également à les remercier pour le temps passé à la relecture du mémoire.

Je remercie également mon tuteur pédagogique, Gilles BRUNSCHWIG pour sa disponibilité, ses échanges de bons conseils et son partage de connaissance.

Un merci tout particulier est adressé aux acteurs du projet SAGITERRES, pour leur écoute et pour leur conseil. Je remercie également les stagiaires du projet, avec lesquels j'ai pu travailler et échanger. Je remercie les bergers pour leur disponibilité et le temps qu'ils m'ont accordé pour les enquêtes.

Je remercie DIGITAG pour le financement du stage, de m'avoir donné la chance de réaliser ce stage et de m'avoir fait découvrir l'utilisation d'outils numériques en agriculture.

Un grand merci à mes collègues de bureau pour leur accueil, leur bonne humeur et leur soutien tout au long du stage.

Pour clôturer, je voudrais dire un grand merci à mes proches, ma famille, ma compagne et mes amis pour leur soutien sans faille et de m'avoir supporté tout au long des trois années à VetAgro Sup. Je remercie également toute l'option A2E 2023, avec laquelle nous avons passé une merveilleuse dernière année à VetAgro Sup.

# Table des matières

Introduction .....	1
1. Contexte .....	2
1.1. Le pastoralisme en Méditerranée .....	2
1.1.1. Le pastoralisme : définition et contexte sur le pourtour méditerranéen .....	2
1.1.2. Les espaces et les ressources pastoraux méditerranéens .....	3
1.1.3. Les différentes stratégies de berger en Méditerranée .....	4
1.1.4. Coopérer avec le pastoralisme .....	5
1.1.5. Le pastoralisme pour répondre à des enjeux du littoral.....	5
1.2. Le massif de la Clape : un territoire dynamique aux paysages diversifiés .....	7
1.2.1. Territoire classé au Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée .....	7
1.2.2. Les paysages du Massif de la Clape .....	8
1.2.3. Les dynamiques économiques de la Clape .....	9
1.2.4. Les enjeux du massif de la Clape.....	10
1.3. Des modèles multi-agents pour visualiser un territoire et ses interactions pour répondre aux enjeux .....	11
1.3.1. La modélisation dans un contexte agricole.....	11
1.3.2. La Rami Pastoral.....	12
1.3.3. La simulation multi-agents .....	14
1.4. Problématique et hypothèses .....	14
2. Matériel et Méthode .....	15
2.1. Les étapes de construction d'un modèle conceptuel et d'un simulateur .....	15
2.1.1. Construction d'un modèle conceptuel .....	15
2.1.2. Implémentation du simulateur .....	16
2.1.3. Les simulations .....	17
2.2. Les enquêtes semi-directives .....	17
2.2.1. Echantillonnage des bergers à enquêter.....	17
2.2.2. Le guide d'entretien .....	19
2.3. Définition des stratégies de bergers .....	20
2.3.1. Stratégies de conduite de troupeau.....	20
2.3.2. Stratégies pastorales .....	20
2.4. Les stratégies de bergers modélisées pour le calibrage du modèle conceptuel.....	20
2.4.1. Modélisation du calendrier de conduite de troupeau.....	21
2.4.2. Les besoins des troupeaux .....	21
2.4.3. Modélisation des îlots et du calendrier de pâturage .....	23
2.4.4. Calcul des quantités de ressource disponible.....	24
2.5. Choix des indicateurs de vérification du simulateur et des indicateurs répondant aux enjeux du territoire.....	26
3. Analyse des résultats .....	27
3.1. Les stratégies de bergers de la Clape .....	27
3.1.1. Les stratégies de troupeau.....	27
3.1.2. Les stratégies pastorales .....	28

3.2.	Description du modèle conceptuel .....	31
3.2.1.	Conceptualisation des calendriers de troupeau des bergers .....	31
3.2.2.	Calcul des besoins .....	32
3.2.3.	Conceptualisation des surfaces pâturées par les bergers .....	33
3.3.	Description du simulateur.....	35
3.4.	Comparaison des indicateurs de vérification du modèle conceptuel et du simulateur .....	36
4.	Discussion .....	40
4.1.	Limites du modèles .....	40
4.1.1.	Limites et perspectives du modèle biophysique.....	40
4.1.2.	Critiques des choix de données d'entrée et d'implémentation du modèle.....	41
4.2.	Des scénarios de simulations pour répondre aux enjeux du territoire.....	42
4.3.	Généricité du modèle .....	42
4.4.	Réflexions sur le rôle du numérique .....	43
	Conclusion.....	44
	Références Bibliographiques.....	
	Annexes.....	

## Liste des abréviations

**ACCA** : Associations Communales de Chasse Agréées

**agn** : agneau

**agnx** : agneaux

**AOP** : Appellation d'Origine Protégée

**CEN-LR** : Conservatoire d'Espaces Naturels du Languedoc-Roussillon

**CI** : Capacité d'Ingestion

**COVID-19** : COronaVirus Disease appeared in 2019

**DFCI** : Défense des Forêts Contre les Incendies

**FDC** : Fédération des Chasseurs

**g** : gramme(s)

**GAEC** : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

**GIC** : Groupement d'intérêt Cynégétique

**h** : heure

**ha** : hectare(s)

**hl** : hectolitre(s)

**ICET** : Intégration Culture-Elevage à l'échelle du Territoire

**IDE** : Integrated Development Environment

**IGP** : Indication Géographique Protégée

**INRAE** : Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

**kg** : kilogramme(s)

**m** : mètres

**MAE** : Mesures Agro-Environnementales

**mm** : millimètres

**MS** : Matière Sèche

**OLAE** : Opérations Locales Agri-Environnementales

**ONF** : Office National des Forêts

**OSO** : Occupation des Sols

**Ov/Ca** : Ovin / Caprin

**PNR** : Parc Naturel Régional

**PNRNM** : Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée

**POPI** : Plan d'Orientation Pastoral Intercommunal

**PV** : Poids vif

**RPG** : Registre Parcellaire Graphique

**SAU** : Surface Agricole Utile

**SCOPELA** : Structure de conseil, de formation et d'accompagnement des acteurs de l'élevage et de l'environnement

**SIG** : Système d'Information Géographique

**SMA** : Simulation Multi-Agents

**t** : tonne(s)

**UGB** : Unité Gros Bovins

## Table des figures

Figure 1: Carte des territoires agro-pastoraux d'Occitanie. (Source : Dubosc et al. 2022).....	2
Figure 2: : Carte représentants les territoires vulnérables aux risques d'incendies. (Source : Dubosc et al. 2022) .....	6
Figure 3: Territoire du Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée. (Source : PNRNM 2023b) .....	7
Figure 4: Territoire de la Clape. (Source :PNRNM 2023a) .....	9
Figure 6: Carte de la localisation des bergers enquêtés .....	17
Figure 5: Schéma synthèse de la construction d'un modèle .....	18
Figure 7: Calendrier des conduites de troupeau des enquêtes .....	28
Figure 8: Calendrier de pâturage des enquêtes .....	30
Figure 9: Résumé des stratégies de bergers enquêtés .....	31
Figure 10: Calendrier du troupeau itinérant du modèle conceptuel.....	31
Figure 11: Calendrier du troupeau transhumant du modèle conceptuel.....	32
Figure 12: Calendrier du troupeau vigne du modèle conceptuel .....	32
Figure 13: Calendrier de pâturage du berger itinérant du modèle conceptuel.....	33
Figure 14: Calendrier de pâturage du berger transhumant du modèle conceptuel.....	34
Figure 15: Calendrier de pâturage du berger vigne du modèle conceptuel .....	34
Figure 16: Graphique de la surface (ha) des îlots pâturés par les bergers lors des enquêtes et des simulations .....	36
Figure 17: Graphique de la couverture des besoins et de la quantité de ressource disponible (kg de MS) .....	37
Figure 18: Graphique de la surface pâturée par type de milieu sur une année par les trois stratégies (ha) .....	38
Figure 19: Graphique de la surface pâturée par type de milieux par saison et stratégie (ha) .....	39

## Table des tableaux

Tableau 1: Eléments mentionnés dans le calendrier ou sur la carte lors des entretiens .....	19
Tableau 2: Coefficient attribué au calcul des besoins des brebis en fonction du stade physiologique (Source : Rami Pastoral) .....	22
Tableau 3 : Sous catégories de la carte OSO 2021 associées à leur type de milieux .....	24
Tableau 4 : Production de matière sèche dans les vignes (kg) .....	25
Tableau 5: Quantité disponible de ressource (kg de MS/ha) par type de milieu et saison du Rami Pastoral .....	25
Tableau 6 : Données d'enquête de la conduite des troupeaux .....	27
Tableau 7: Données d'enquête concernant le pâturage des bergers .....	30
Tableau 8: Besoins des brebis par race, stades physiologiques et productivité.....	33
Tableau 9: Besoins totaux des troupeaux par période (kg de MS) .....	33
Tableau 10 : Données d'entrée des troupeaux du simulateur.....	35

## Table des annexes

Annexe 1: Guide d'entretien .....	I
Annexe 2 : Calendrier de troupeau du berger itinérant .....	VI
Annexe 3 : Calendrier de troupeau du berger itinérant .....	VII
Annexe 4 : Calendrier de troupeau du berger vigne .....	VIII
Annexe 5 : Cartes des îlots pâturés par les bergers enquêtés .....	IX
Annexe 6 : Carte OSO 2021 de la Clape.....	X
Annexe 7: Captures d'une simulation sur GAMA .....	XI
Annexe 8: Cartes des îlots pâturés lors des simulation .....	XII
Annexe 9: Graphique de la surface des différents milieux pâturables sur la Clape (ha).....	XIII

*« Le vieux rêve d'une harmonie entre un territoire, un troupeau et un berger, d'un équilibre entre la fragilité et la force du vivant sera-t-il encore porteur de sens pour l'Humanité postmoderne dans un monde virtuel ? » A.Leroy, berger depuis plus de 40 ans, « Les métamorphoses du bon berger », Guillaume Lebaudy, 2016, Avant-propos.*

## Introduction

Depuis l'arrivée des romains sur le territoire français à l'Antiquité, la vigne est implantée sur le pourtour méditerranéen et notamment sur le territoire de la Clape. Elle reste encore aujourd'hui la production majeure de la zone. Historiquement, l'activité viticole et pastorale faisait bon ménage. De nombreux bergers des Pyrénées transhumaient, parfois depuis Andorre, pour pâturer sur le massif de la Clape et notamment dans les vignes en période hivernale. Cependant, dans les années 80, le vignoble de la Clape a subi une déprise importante avec l'arrachage massif des vignes, ce qui a causé une fermeture progressive du paysage. Avec ses nouveaux milieux (garrigues et pinèdes), en complément de la vigne, la Clape est une opportunité pour les bergers car ils représentent une potentielle ressource alimentaire pour les troupeaux ovins qui ont quasiment disparu du massif de la Clape.

Depuis plusieurs siècles, les bergers sont installés sur le territoire méditerranéen, pâturant entre la montagne et la mer. Les bergers et leurs troupeaux ont façonné les paysages de la Méditerranée. Dans un contexte pédoclimatique peu propice à la croissance de ressource herbagère, les troupeaux se sont adaptés et ont la capacité d'aller chercher des ressources sur des terrains secs et très peu mécanisables. Menés par leur berger, les brebis ont joué un rôle dans la lutte l'embroussaillage des territoires les plus reculés.

Le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée (PNRNM), dont la Clape fait partie, est confronté aux problématiques de fermeture des milieux. C'est pour cela qu'un « plan pastoral » a été créé sur le massif. Ce plan vise à maintenir les milieux ouverts, grâce au pastoralisme, afin de limiter les risques d'incendies, de diversifier les activités économiques et de développer le viti-pastoralisme.

Face aux enjeux, le PNRNM travaille en collaboration avec le Biocivam 11 et INRAE. Ils travaillent dans le cadre du projet SAGITERRES qui a pour but d'estimer le potentiel pastoral des zones d'étude (le Minervois et le PNRNM) et de mettre en relation les bergers et gestionnaires de ressources. Les acteurs du projet ont également un rôle de communication auprès du public sur la réintroduction du pastoralisme sur le territoire. Le projet SAGITERRES s'inscrit dans une démarche d'Intégration Culture-Elevage à l'échelle du Territoire (ICET). Les ICET sont des systèmes agricoles qui visent l'intégration entre production végétale et élevage.

Pour redéployer le pastoralisme sur la Clape afin de lutter contre l'embroussaillage du territoire, la Simulation Multi-Agents (SMA) est une méthode de modélisation permettant d'évaluer et de représenter un potentiel pastoral sur un territoire. Elle est fréquemment utilisée en agriculture car elle permet de représenter, de manière simplifiée, un système complexe et les interactions entre individus avec leur environnement. Sa construction se déroule en différentes grandes étapes : définition d'enjeux et d'une problématique, définition d'un système, conceptualisation et implémentation du système, création de scénarios répondant à une problématique, simulation et discussion. Dans son ensemble, la SMA peut servir d'outil d'aide à la décision. La SMA se présente comme un outil adapté pour représenter les effets du pastoralisme sur un territoire, dans un contexte où les troupeaux sont en interaction constante avec une diversité d'entités du territoire.

# 1. Contexte

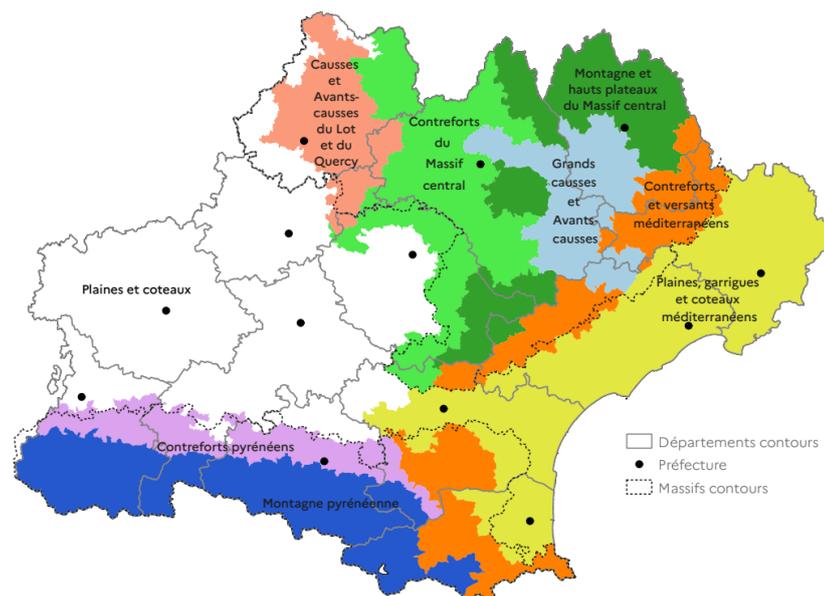
## 1.1. Le pastoralisme en Méditerranée

### 1.1.1. Le pastoralisme : définition et contexte sur le pourtour méditerranéen

Le pastoralisme se définit par le pâturage de parcours qui a pour finalité de nourrir un troupeau durant toute une année ou une période de l'année. Les parcours sont associés à des espaces naturels pâturés par des troupeaux ainsi qu'à leur gestion par des acteurs et leurs usages multiples (Napoléone et al. 2021). D'après Dubosc et al. en 2022, un parcours est une surface qui offre une ressource fourragère spontanée, non cultivée, généralement de par ses caractéristiques topo-pédologiques. Ils distinguent trois surfaces pastorales : les pelouses [...], les landes [...] et les bois ». Le pastoralisme présente plusieurs avantages comme la réouverture des milieux, la stimulation de la croissance des végétaux, la fertilisation des sols, le recyclage des nutriments, la participation à la dispersion des graines et l'amélioration de l'infiltration de l'eau de pluie dans le sol. L'activité pastorale peut se retrouver sur les territoires arides où l'eau et la ressource fourragère sont en faible quantité et irrégulière d'une saison à l'autre (Ickowicz, Moulin 2022).

Le pastoralisme est présent dans les pays en développement et 500 millions de personnes vivent de cette activité. En 2010, en France, 35 000 exploitations sont basées sur un système pastoral, soit 18% des exploitations. Ces exploitations sont essentiellement présentes sur le pourtour méditerranéen et dans les zones de montagne (Ickowicz, Moulin 2022). En 2018, les grandes populations d'élevages pastoraux en Occitanie se trouvent principalement dans les Pyrénées, les Grands Causses et le pourtour méditerranéen (Figure1).

Les neuf territoires agro-pastoraux d'Occitanie



**Figure 1: Carte des territoires agro-pastoraux d'Occitanie. (Source : Dubosc et al. 2022)**

En 2018, en Méditerranée, on recense 940 élevages pastoraux, soit 20% de l'effectif pastoral occitan. D'après l'Agreste, en 2018, quarante-neuf pourcent des élevages pastoraux en région méditerranéenne sont des élevages de troupeaux ovins allaitants. Le reste des élevages pastoraux sont des élevages de bovins allaitants, de caprin et d'équin. Dans les contreforts et versants méditerranéens, les élevages d'animaux pour la viande (bovin et ovin) transhumant, en grande partie, sur des estives. L'effectif des troupeaux ovins allaitants est composé de 73 800 mères. Les élevages situés dans l'ancienne région du Languedoc-Roussillon sont généralement naisseurs mais le circuit-court et la vente

directe se développent dans ce territoire. Les troupeaux pastoraux des territoires méditerranéens pâturent 190 100 ha à l'échelle de l'exploitation et 44 500 ha de surface de groupement pastoral. Sur le pourtour méditerranéen, on retrouve principalement de la broussaille ou des bois (Dubosc et al. 2022). Le climat méditerranéen limite de manière conséquente la ressource herbagère. D'après Micola et Genevet, c'est pour cela que le chargement moyen des animaux à l'hectare, sur la zone méditerranéenne, est le plus faible (0,15-0,25 UGB/ha) comparé au reste de l'Occitanie.

Le pastoralisme une pratique ancienne en zone méditerranéenne. Les troupeaux pâturaient tout au long de l'année entre la montagne et la mer. Les bergers et leurs troupeaux suivaient la végétation en fonction des saisons. Historiquement et ce jusque dans les années 1950, les bergers (locaux et transhumants hivernaux) pâturaient les vignes, les vergers et les chaumes des céréales de l'automne à l'hiver. La nuit les troupeaux dormaient dans les bergeries dans lesquelles les vigneron ou cultivateurs récupéraient le fumier pour fertiliser leur terre (Napoléone et al. 2021). Au début du XXème siècle, la révolution industrielle a entraîné la migration des paysans vers la ville causant une déprise agricole importante et une fermeture des espaces pastoraux. Dans les années 1960 la mécanisation fait son apparition avec des machines agricoles modernes qui ont conduit à une spécialisation de l'agriculture dissociant les cultures et l'élevage. Dans les plaines du territoire méditerranéen, les exploitations agricoles se spécialisent en grandes cultures et en cultures pérennes, alors que dans les zones de massif ou de montagne l'élevage s'installe (Napoléone et al. 2021).

### 1.1.2. Les espaces et les ressources pastoraux méditerranéens

Sur le pourtour méditerranéen, on retrouve principalement de la broussaille ou des bois (Dubosc et al. 2022). Le climat méditerranéen limite de manière conséquente la ressource herbagère. D'après Micola et Genevet, c'est pour cela que le chargement moyen des animaux à l'hectare, sur la zone méditerranéenne, est le plus faible (0,15-0,25 UGB/ha) comparé au reste de l'Occitanie. Dans les milieux pastoraux méditerranéens, c'est-à-dire, parcours, bois, landes, prairies naturelles et espaces cultivés, la ressource fourragère est hétérogène et diversifiée (Baumont et al. 2023).

Dans la société française, la friche agricole a toujours été considérée comme une période de crise. Une friche agricole est une terre qui fut cultivée dans le passé mais qui a été laissée à l'abandon pendant au moins 3 ans. Les cultures laissent place à une végétation spontanée qui va petit à petit tendre vers une végétation arborée pour donner une forêt. Cependant les friches agricoles sont des espaces naturels, vivants et dynamiques. Elles posent question sur l'agriculture de demain, sur la gestion des espaces naturels et l'aménagement du territoire et amènent à des réflexions collectives (DDTM34 2019).

D'après la SCOPELA et l'INRA en 2017, les ressources ligneuses, composantes des friches, sont aujourd'hui jugées nécessaires par les bergers pour le pâturage et le territoire. Les politiques agricoles ont longtemps cherché à les détruire pour optimiser les terres. D'un point de vue pastoralisme, les ligneux désignent les arbres, les arbustes ou encore les broussailles. La strate ligneuse constitue la strate pastorale en association avec la strate herbacée, valorisée par le pâturage des animaux. La ressource ligneuse est à la fois une ressource fourragère pour les troupeaux et offre des fonctions d'ombrage ou de brise vent. Elle renforce l'autonomie fourragère des fermes et permet aux éleveurs de sécuriser la ressource face aux aléas climatiques. Leur utilisation est diverse avec notamment le pâturage direct des parties comestibles comme les bourgeons, les fleurs, les feuilles, les fruits ou encore les jeunes rameaux. On retrouve également le pâturage des feuilles et des fruits au sol ainsi que l'étagage ou l'émondage, c'est-à-dire qu'à la fin de l'été ou en automne, les branches des arbres sont coupées et distribuées en vert aux animaux. Il est également possible de stocker les branches pour une distribution plus tardive. La saison influence l'utilisation des ressources ligneuses. En été elles offrent du fourrage en association avec l'herbe, qui en fonction des cas, est plus apprécié par les animaux puisque le fourrage de ligneux est moins fibreux que l'herbe sèche. En hiver les animaux peuvent profiter à la fois des

feuilles mais également des fruits qui tombent au sol. En fonction des espèces ligneuses, la valeur nutritive diffère mais leur atout commun reste l'appétence. Ils stimulent l'ingestion, diversifie les bouchées et ainsi permettent d'atteindre de bonnes performances zootechniques (SCOPELA, INRA 2017).

Avec ces variables milieux, saisons et ressource, le berger organise une boucle de pâturage sur une échelle de temps définie, en respectant la disponibilité et la diversité de la ressource. Il adapte sa pratique de pâturage afin de maintenir durablement la ressource. Selon Napoléone et al. en 2021, la majeure partie des éleveurs pâturent autour de l'exploitation au printemps et à l'automne. L'été, ils se rendent à la montagne dans les estives. En hiver, la transhumance inverse ou hivernale en plaine est de plus en plus courante chez les bergers. Aujourd'hui avec les nouvelles coopérations entre éleveurs et agriculteurs ou cultivateurs, les bergers ont accès à de nouveaux espaces et de nouvelles ressources, comme les vignes par exemple.

### 1.1.3. Les différentes stratégies de berger en Méditerranée

D'après Legeard et al. en 2010, un berger, étymologiquement, est « une personne qui garde les moutons ». Pour autant il précise qu'un berger ne se limite pas qu'à cela. Un berger est chargé de surveiller la santé de son troupeau, son comportement et de le défendre en cas d'attaque de prédateurs.

Il organise un circuit de pâturage, pour son troupeau, en fonction de la saison et du territoire, afin d'optimiser au maximum la gestion des ressources pastorales. Le point commun à soulever entre un berger et un éleveur est qu'ils sont tous les deux propriétaires d'un troupeau. Cependant un éleveur se différencie du berger en étant propriétaire de surfaces agricoles (Legeard et al. 2010).

Legeard et al. en 2010 distinguent les bergers qui gardent et les bergers sans terre. S'ajoute à ces deux typologies de bergers les caractéristiques sédentaire ou transhumant. Être sédentaire signifie qu'un berger ou éleveur fait pâturer son troupeau dans un périmètre défini autour du siège de son exploitation. La transhumance est le déplacement d'un ou des troupeaux par des bergers ou éleveurs, au cours d'une période de l'année, sur divers territoires. La transhumance peut avoir lieu l'été en montagne, ce que l'on appelle l'estive, ou bien en hiver dans les plaines, appelé transhumance « inverse ».

En France, selon Legeard et al. en 2010 un éleveur peut être :

- Sédentaire : Petit cheptel (200 à 400 brebis), parcs clôturés sur prairies permanentes et parcours ;
- Transhumant : A l'arrivée de l'été, les troupeaux montent collectivement dans les estives. Les éleveurs transhumants se rassemblent pour garder les troupeaux ou s'organisent pour la garde des troupeaux par un berger.
- Itinérant : Typologie plus rare. Ils ne sont ni propriétaires, ni locataires de foncier. Ces bergers sont transhumants durant toute l'année. Moulin, Lasseur et Valarie 2015 estiment leur taille de troupeau entre 400 et 600 brebis. Ils démarchent auprès des propriétaires de terres pouvant accueillir des troupeaux afin qu'ils pâturent. Les accords entre berger et propriétaire sont majoritairement oraux, sauf exception pour le pâturage de terrains communaux qui nécessite une convention. Une majorité de leur alimentation est basée sur de la ressource pastorale.

Pour Micola, Genevet en 2022, les élevages transhumants, sédentaires et itinérants sont des systèmes qualifiées de pastorales. En effet, les troupeaux transhumants pâturent des ressources des estives, les sédentaires ne transhumant pas cependant les animaux profitent des parcelles autour des exploitations. Enfin pour les itinérants, les animaux pâturent sur des parcours et/ou des vignes en fonction des saisons.

#### 1.1.4. Coopérer avec le pastoralisme

Plusieurs formes de coopération apparaissent en association avec le pastoralisme, comme la coopération vitipastorale ou encore la coopération pâturage en plaine et montagne. Avec ces coopérations les éleveurs cherchent à diminuer leur charge, en période hivernale notamment, avec l'affouragement des animaux en bâtiment

D'après Napoléone et al., une prise de conscience des viticulteurs sur leur pratique a fait émerger de nouvelles pratiques culturales comme l'enherbement des vignes pour limiter l'érosion par exemple. Ces nouvelles pratiques offrent ainsi des opportunités aux éleveurs et impliquent des coopérations avec des viticulteurs. Par exemple, des grands domaines viticoles des plaines du Var ont proposé à des bergers, locaux ou de montagne, de pâturer leurs vignes en hiver (Napoléone et al. 2021). Les collectivités territoriales viennent en appui à ces projets viti-pastoraux, en s'engageant dans des Plans d'Orientation Pastorale Intercommunaux, afin de pérenniser l'activité pastorale et de maintenir les installations. Dans les Pyrénées-Orientales, le pâturage des brebis dans les vignes fut la solution alternative contre les herbicides. Dans ce département, la production viticole est en grande partie sous Appellation d'Origine Protégée (AOP) ou en Indication Géographique Protégée (IGP) et les parcelles sont difficilement mécanisables. Le pâturage des ovins répondait ainsi aux attentes des viticulteurs. Depuis 2015, les viticulteurs sont à la recherche de bergers pour le pâturage des vignes d'octobre à mars, soit de la récolte au débourrement des vignes (Napoléone et al. 2021). Pour cela plusieurs travaux ont été conduits concernant les atouts, les inconvénients et les modalités du pâturage dans les vignes.

Les travaux portaient sur la caractérisation de la végétation dans les vignes et des propositions de semis dans les inter-rangs des vignes, convenant le mieux au pâturage des brebis. Ils portaient également sur les modalités d'installation d'un troupeau ovin sur un domaine viticole. Dans le massif des Alpilles, des agriculteurs proposent à des bergers itinérants de pâturer leur verger, leur vigne ou encore leur oliveraie, de la fin des récoltes au printemps (Napoléone et al. 2021). Le PNR des Alpilles est à l'origine de ces coopérations entre agriculteurs et éleveurs locaux. L'objectif du PNR au travers de coopérations était de diminuer l'utilisation d'intrants dans les cultures et de préserver les espèces avicoles endémiques du parc. Le PNR s'est chargé de mettre en relation des éleveurs pastoraux ainsi que des agriculteurs pour au final créer un réseau d'agriculteurs-éleveurs et démocratiser ces pratiques à plus large échelle.

Une autre forme de coopération s'est développée, la coopération pâturage en plaine et en montagne. Dans les Pyrénées-Orientales, sur le littoral méditerranéen, la commune de Clairà a collaboré avec des éleveurs de la montagne dans un but bien précis : la mise en culture des friches viticoles pour diversifier l'agriculture en plaine et augmenter l'autonomie fourragère des éleveurs. Dans le projet, les propriétaires des friches étaient démarchés pour l'acquisition de leur parcelle et la mise en culture des par les éleveurs. Les éleveurs ont adopté des pratiques agroécologiques en privilégiant le semis de légumineuses pour la remise en culture. Grâce à cela les éleveurs sont devenus autonome en fourrage et céréale (Napoléone et al. 2021).

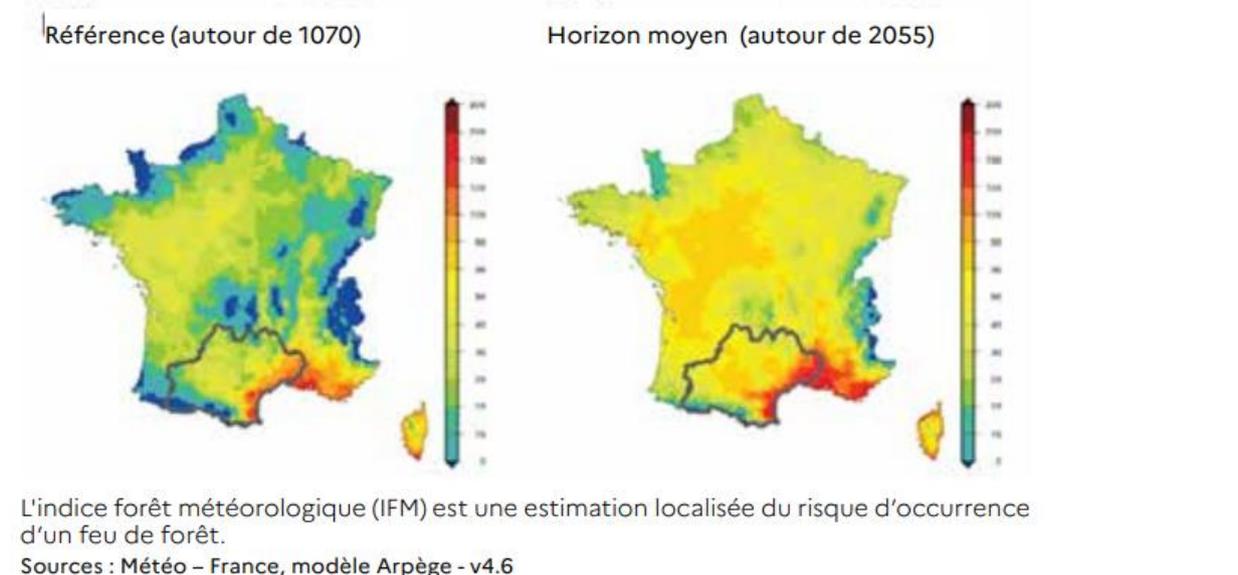
#### 1.1.5. Le pastoralisme pour répondre à des enjeux du littoral

L'étude, menée par Lécivain, Lasseur et Armand en 2004, dans le Parc Naturel Régional du Lubéron, montre le potentiel des brebis issues d'un élevage pastoral à valoriser une diversité de ressources présentes sur le territoire et ainsi limiter l'embroussaillage. Ils ont observé le comportement au pâturage d'un troupeau pastoral, dans un parc enfriché à 97%. L'étude montre que, malgré le déplacement difficile des animaux dans les friches, le troupeau reste groupé et se déplace progressivement pour pâturer des espaces plus éloignés. A la sortie des brebis du parc, 55% de l'espace a été parcouru et il a été constaté une réduction de 70% des jeunes pousses et des tiges sur du Genêt espagnol. Les brebis a fort besoin (en gestation) ont la capacité de parcourir davantage de territoire pour couvrir leur besoin mais également à pâturer des ressources autres que la ressource herbagère, comme

de la ressources ligneuse des strates arbustives, que l'on retrouve principalement dans les friches du pourtour méditerranéen (Lécrivain, Lasseur, Armand 2004). L'apport de ligneux dans les rations paraît intéressant pour les ruminants en termes nutritionnels (Baumont et al. 2023). Ils estiment une teneur en protéines des fourrages ligneux à 178 g/kg de MS au printemps et 133 g/kg de MS en fin d'été. De plus, ils évaluent la valeur de digestibilité à plus de 85% au printemps. Cependant de par leur composition chimique, le fourrage ligneux doit rester en complément du fourrage herbacé. La vigne et le chêne, par exemple, sont riches en tanins condensés limitant la dégradation des protéines dans le rumen.

En région Occitanie, 2 700 millions ha d'espaces boisés recouvrent le territoire, avec une augmentation de 25 000 ha chaque année, estimé depuis 1980, soit un taux de boisement de 36% (Micola, Genevet 2022). Depuis plus de trente ans, les gestionnaires de ressources, éleveurs et les pompiers d'Occitanie, précisément la Défense des Forêts Contre les Incendies (DFCI), mènent un travail collaboratif afin de créer ou de maintenir des zones coupe-feu, notamment grâce à l'activité pastorale et de moyens mécaniques. Dans les années 1980, les massifs méditerranéens ont été aménagés pour prévenir des risques incendies. Ces aménagements ont découlé à des Opérations Locales Agri-Environnementales (OLAE) puis à des Mesures Agro-Environnementales (MAE) qui permettaient aux éleveurs de percevoir des compensations financières. Ces contrats entre les éleveurs et l'Etat, fixent un objectif de densité de végétation à obtenir en fonction de la zone pâturée par les troupeaux. Deux zones stratégiques sont identifiées dans ces contrats. Les premières zones sont des « zones de lutte directe contre le feu » et les « zones de renfort pastoral »(Moulin, Lasseur, Valarie 2015).

Le soutien des politiques publiques sur le pourtour méditerranéen montre l'intérêt et le rôle du pastoralisme dans la lutte contre les incendies. Avec le réchauffement climatique, un climat méditerranéen s'installe sur toute la région Occitanie, qui augmente les sécheresses sur le territoire et le rend de plus en plus vulnérable aux risques d'incendies (Figure 2). Ainsi l'enjeu du pastoralisme est de maintenir les territoires ouverts et de réduire cette vulnérabilité (Micola, Genevet 2022).



**Figure 2: : Carte représentant les territoires vulnérables aux risques d'incendies. (Source : Dubosc et al. 2022)**

## 1.2. Le massif de la Clape : un territoire dynamique aux paysages diversifiés

La description et l'analyse du territoire du massif de la Clape sont réalisées à partir des rapports du *Diagnostic de territoire du Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée de 2023* et du *Bilan Evaluation de la mise en œuvre de la charte 2015-2020 du Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée de 2023*.

### 1.2.1. Territoire classé au Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée

Le Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée (PNRNM) est situé dans le département de l'Aude (11) en Occitanie, au bord du littoral méditerranéen. Il a été créé le 18 décembre 2003. Son paysage a été sculpté par les activités pastorale et viticole. Il est composé essentiellement de garrigue (70% des milieux naturels) et de zone humide. Il s'étend sur 22 communes soit une population de 35 000 habitants sur une surface de 68 446 ha. Le parc c'est : 42 km de littoral, le massif de la Clape, le plateau de Leucate, un complexe lagunaire, les Corbières de Fontfroide et les Corbières maritimes. Il détient également 9 sites Natura 2000 et des « zones humides d'importance internationale », qui s'entendent sur 1400 ha, et 3500 ha inscrit au Conservatoire du Littoral. Toutes ses caractéristiques sont mentionnées sur la Figure 3. Cette composition complexe du parc entraîne une diversité de paysage et de biodiversité, qui le rend célèbre aujourd'hui.

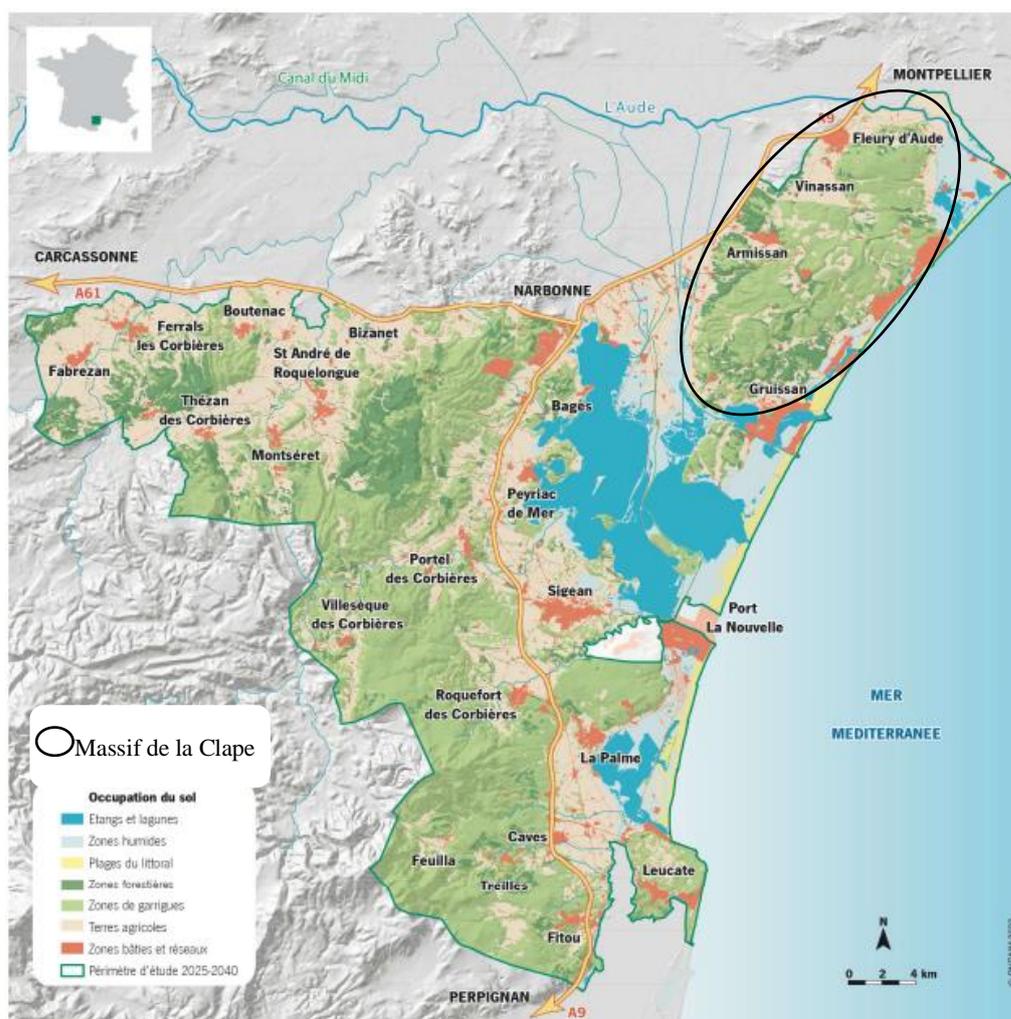


Figure 3: Territoire du Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée. (Source : PNRNM 2023b)

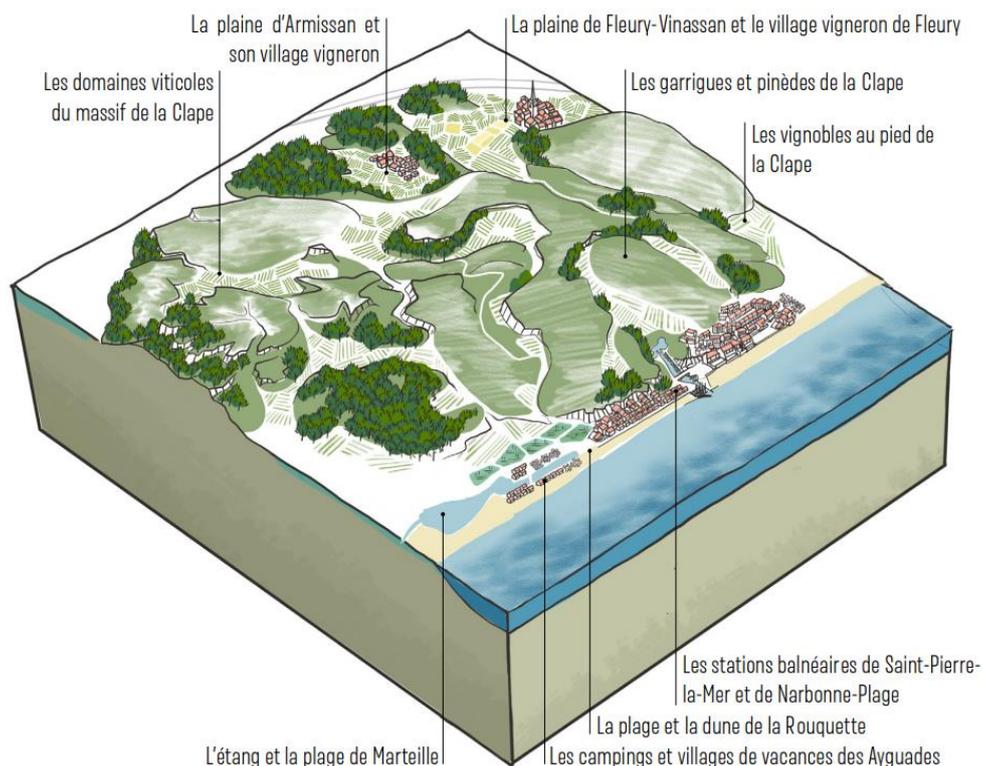
Le pastoralisme et la vigne sont depuis toujours inscrits dans la culture du PNRNM. En 2013, le parc a édifié un « plan pastoral » sur le massif de la Clape visant à redynamiser l'activité pastorale dans le but de maintenir les milieux naturels ouverts et de limiter le risque d'incendie, de préserver ses espèces végétales et animales indigènes, de développer une activité économique et surtout développer le viti-pastoralisme. Le parc relève toutefois des freins à l'installation de projet viti-pastoraux, comme le manque de terres disponibles entre le printemps et l'automne, dû à l'assèchement du milieu qui limite la pousse de l'herbe. A cette saison, les vignes ne sont plus disponibles à cause du débourrement et des vendanges. Peu de bâtiments d'élevage sont disponibles et le nombre restreint de permis de construire limite leur construction. Avec tous ces freins énumérés, les bergers pratiquent la transhumance inverse ou hivernale. Les projets viti-pastoraux demandent une bonne gestion entre les différents assolements (vignes, garrigues, friches, garrigues, cultures, ...).

### 1.2.2. Les paysages du Massif de la Clape

La Clape est un massif localisé au nord du Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée, s'étalant sur 5 communes. Au nord-ouest du massif on retrouve les communes d'Armissan et de Fleury et leurs domaines viticoles, implantés au pied du massif. Au sud, se situe les étangs de Gruissan et de Narbonne. Les stations balnéaires de Narbonne-plage et de St-Pierre-la-Mer sont enclavés entre le massif et le littoral méditerranéen, à l'est. Le paysage au sein de la Clape alterne entre garrigues et vignobles (Figure 4). Le Pech Redon est le point culminant du massif (214m d'altitude).

Le massif de la Clape est un massif calcaire, formé après le soulèvement de deux failles. Son climat est qualifié de méditerranéen, c'est-à-dire, un ensoleillement important, des températures élevées avec de fortes variations au cours de l'année. C'est un territoire exposé au vent violent avec la Tramontane (vent du nord), le Marin (vent du sud-est) et le Grec (vent d'est). Ces vents jouent un rôle important notamment dans l'évacuation de l'eau de mer et l'évaporation. D'après le CEN-LR de 2006, le nombre de jour de vent serait estimé à 147 jours. L'air humide est provoqué par la brise marine, limitant les fortes chaleurs. Concernant la pluviométrie de la Clape, le niveau de précipitation annuel est faible, avec environ 600 mm par an. Les épisodes pluvieux sont variables au cours de l'année, ce sont régulièrement des épisodes orageux, courts et violents. Ils apparaissent essentiellement en automne. La majorité de la pluviométrie annuelle peut tomber en l'espace de 24h. D'une année à l'autre, la pluviométrie peut varier entre 300 mm/an et 1000 mm/an.

Selon le *Diagnostic PNR Narbonnaise* de 2023, des extensions urbaines ont lieu sur les communes d'Armissan et Fleury. Depuis les années 60, les stations balnéaires ne cessent de s'accroître, avec notamment la construction de campings et de villages vacances. L'activité viticole sur le massif se maintient avec une extension et une intensification des domaines. Les vignobles s'étendent sur des terrains enfrichés et des espaces naturels sur le piémont du massif. Cependant, il faut noter que la broussaille reprend du terrain sur la commune de Fleury. Les espaces en friches de la Clape se transforment en espaces boisés et le développement de pins d'Alep referment intégralement les milieux. Cette fermeture du territoire implique donc une exposition du massif aux risques incendies.



**Figure 4: Territoire de la Clape. (Source :PNRNM 2023a)**

### 1.2.3. Les dynamiques économiques de la Clape

La viticulture est l'activité agricole majoritaire du PNR de la Narbonnaise et c'est encore plus marqué sur le massif de la Clape. A l'échelle du parc, les vignes représentent 64% de la surface agricole soit 13 000 ha, 21% des vignes audoises. La production de vin s'élève à 428 669 hl (15% du vin audois). Les vignes de la Clape ont un rendement plutôt faible comparé à leur voisine des Corbières et de Narbonne car elles produisent en moyenne 30 hl/ha.

L'élevage ovin a eu, pendant de nombreuses années, une place importante dans le paysage du parc. Dans les années 1810, l'effectif montait à 585 000 animaux et c'est peu à peu décliné, pour être remplacé par la vigne. En 2020, 4 exploitations bovines (manades), 4 exploitations ovines sédentaires et une exploitation caprine sont présentes sur le parc. 1100 ha sont consacrés à l'alimentation des animaux.

Le tourisme représente une part importante de l'économie de la Clape. Le PNR attire une grande affluence de touristes chaque année: 7 millions de réservation. Avant la pandémie du COVID-19, il était le plus grand pôle d'hébergement du département avec plus de 250 000 lits. Deux catégories de tourisms sont distinguées : sur le littoral et dans les terres. Grâce à l'aménagement des stations balnéaires, le littoral peut accueillir la grande majorité des touristes du parc. Le pic d'affluence de visiteurs à lieu généralement en période estivale. Ils viennent profiter des plages sauvages, des sports nautiques et surtout contempler les paysages de la Clape, site classé, et les sites du Conservatoire du littoral. En période estivale, le massif de La Clape est fermé au public enfin de limiter sa fréquentation et provoquer des feux de forêts.

Cette fermeture éloigne les touristes des bergers et évite les conflits avec les randonneurs. En effet, des conflits peuvent apparaître entre ces deux groupes notamment à cause des chiens de troupeaux.

Le parc est réputé pour ses espaces naturels, son climat, ses aménagements, sur son littoral et ses terres, et sa proximité avec les espaces urbains, ce qui fait de lui un lieu attrayant. Avant la construction et le développement des stations balnéaires sur le littoral, la chasse et la pêche furent les seuls loisirs sur les milieux naturels. En ce qui concerne la chasse, le nombre de chasseurs dans l'Aude est important, mais il est en baisse ces dernières années. Avec l'enfrichement du massif de la Clape, la chasse du petit gibier, autre fois appréciée par les chasseurs locaux, a laissé la place à de nouvelles chasses, telles que la chasse aux sangliers ou au chevreuil. La chasse au gibier d'eau est aussi une chasse prisée sur le territoire de la Clape. La chasse s'est structurée au fur et à mesure grâce notamment à la Fédération Départementale de Chasse (FDC), les Associations Communales de Chasse Agréée (ACCA) et les Groupements d'Intérêt Cynégétique (GIC). Aujourd'hui, ces organismes sont des acteurs majeurs de la gestion des espaces naturels puisqu'ils participent à l'entretien des marais et à la gestion de la faune. Un projet de tourisme cynégétique, accompagné des associations de chasse, a été lancé par la fédération régionale de chasse.

La richesse du paysage du PNR et son fort potentiel en termes d'activités de nature permet, aux touristes et aux locaux, de pratiquer près de 13 activités sportives. Dans les terres, sur les massifs ou dans les espaces naturels, des sentiers et des pistes cyclables ont été aménagés pour les randonneurs et cyclistes. Des conflits peuvent apparaître entre usagers du massif et bergers. Peu de conflits sont observés entre chasseurs et bergers. A savoir que durant la période de chasse, du 15 août à la fin février, les chasseurs utilisent une partie du territoire, ce qui peut troubler la gestion du pâturage du berger. Les conflits entre chasseur et berger pourraient provenir d'un manque de communication, notamment sur les territoires chassés. De plus avec les randonneurs et les cyclistes des conflits peuvent être générés par rapport au partage du territoire. Le pastoralisme peut contraindre l'accès aux terrains à des activités du massif avec la mise en place de clôtures.

#### 1.2.4. Les enjeux du massif de la Clape

##### 1.2.4.1. Des enjeux climatiques

Entre septembre 2020 et août 2021, les précipitations ont baissé de 24% sur tout le département audois et 2021 est devenue la cinquième année subissant un déficit hydrologique depuis 1959. L'évolution de la sécheresse des sols est estimée à 20% en 2023 contre 5% en 1960, par le comité de sécheresse de l'Aude. La sécheresse connue en 2021 pourrait être un cas qui se reproduirait plus fréquemment. La durée des sécheresses s'étendrait de juin à novembre avec une pluviométrie stable mais une répartition inégale sur l'année. Cependant des pluies seraient plus intenses par moment et les pluies efficaces diminueraient.

Le massif est répertorié à la liste des territoires sensibles aux incendies. Entre 2010 et 2020, les feux de forêts ont ravagés 2759 ha, dont 783 ha de forêt et 579 départ de feu. Pour limiter ces risques, une solution est d'entretenir les espaces boisés et d'éventuellement incorporer de nouvelles espèces d'arbres. L'enjeu en cas de propagation d'incendies en direction d'habitation, est de créer des zones tampons sur le massif, qui serviraient de coupe-feu. Après un incendie, gérer la repousse de la végétation est également important pour éviter à nouveau l'embroussaillage.

##### 1.2.4.2. Des enjeux agricoles

Depuis 2010, la taille des exploitations reste stable, pour autant leur taille est de 22ha en moyenne, en 2019, plus faible que la moyenne du département qui est fixée à 36 ha. Le nombre d'exploitant diminue, -16% entre 2010 et 2020, alors que l'âge des exploitants augmentent, 50 ans en moyenne sur le parc, et 26% des exploitants ont 60 ans et plus. Ces chiffres montrent bien que renouveler les générations d'agriculteur est un enjeu important pour le territoire.

Au niveau des profils d'installations sur le parc, le recensement agricole dénombre essentiellement des installations viticole (65%) et en élevage (13%). Peu de projet d'installation concernant des activités diversifiées sont déposés, comme l'arboriculture par exemple ou le maraîchage, à cause essentiellement du manque d'eau. Les surfaces agricoles utiles (SAU) ont diminué, depuis 2010, de 8.4%, une évolution supérieure au département (2%). Les causes : la déprise agricole liée à l'attractivité du métier ainsi qu'au changement climatique, l'urbanisation et la pression foncière. Cette diminution de la SAU a conduit à une fermeture des milieux. En 2018, les friches occupaient 32% du territoire du parc, soit 7900 ha. Ouvrir à nouveau ces espaces, permettrait d'installer de nouveaux agriculteurs qui par la suite entretiendraient les espaces.

Dans les enjeux agricoles du massif, le parc a pour mission le maintien de la biodiversité, qui vont de pair. Tout d'abord il est important de préserver la viticulture sur les espaces naturels. Un rôle que peut jouer les activités agricoles sur la biodiversité est la préservation des milieux naturels ouverts pour limiter le développement des pins d'Alep, en privilégiant des pratiques agroécologiques. Maintenir les collines, les garrigues et les pelouses ouvertes, présente un enjeu important en termes de biodiversité car elles sont des milieux riches en faunes et en flores. Face au changement climatique, il est primordial d'adapter les cultures et les pratiques pour limiter les impacts sur les rendements, trouver des alternatives concernant le déficit en eau.

### 1.3. Des modèles multi-agents pour visualiser un territoire et ses interactions pour répondre aux enjeux

#### 1.3.1. La modélisation dans un contexte agricole

La modélisation est une méthode permettant de concevoir/reconcevoir des systèmes agricoles, car elle est basée sur une représentation schématique conceptuelle du système étudié. C'est un moyen de comprendre le fonctionnement de systèmes agricoles de manière générale, d'en avoir une compréhension partagée entre différents acteurs, d'identifier des lacunes dans les connaissances sur ces systèmes, de prévoir leur évolution et d'accompagner les agriculteurs dans leurs processus de décisions (Vinck 2009 ; Voinov et al. 2016).

Pour Edmonds et al. en 2019, un modèle peut répondre à sept objectifs. Le premier objectif est la prédiction, soit la capacité à anticiper des résultats inconnus du modélisateur, de manière fiable, grâce à des calculs d'une précision dépendante de l'utilisation du modèle. Le deuxième objectif est l'explication c'est-à-dire définir une chaîne de causalité qui ont un impact sur le fonctionnement du modèle, suite à des simulations. Le troisième objectif est la description. Ce dernier est la capacité à représenter des caractéristiques jugées pertinentes d'une partie de la simulation ou de son intégralité. Le quatrième objectif est l'exposition théorique, ce qui veut dire, émettre des hypothèses sur le comportement d'un modèle et sa manière de fonctionner, les tester et les valider ou les réfuter. L'illustration est le cinquième objectif, c'est-à-dire, démontrer de manière visuelle une idée, une théorie ou même une explication. Le sixième et avant dernier objectif est l'analogie. On parle d'analogie lorsqu'une façon de penser est utilisée comme un processus par une simulation. Le dernier objectif est l'apprentissage social. La simulation est un outil d'apprentissage du moment que l'objectif global du modèle et son fonctionnement est partagée par tous ses utilisateurs.

Avant de construire un modèle, il est nécessaire de définir un point important : le cadre. A quelle(s) problématique(s) le modèle doit-il répondre et dans quel contexte ? En contexte agricole, ils peuvent servir d'outil d'aide à la décision, de support de discussion et de négociations entre agriculteurs pour trouver des solutions aux problèmes (Martin et al. 2016).

Les modèles peuvent permettre d'étudier les impacts des variations climatiques, au cours d'une année ou au travers des années, sur les productions et les échanges entre agriculteurs (Challinor et al. 2018).

Les modèles sont des outils qui peuvent se décliner en 3 catégories de modèles :

- Les modèles biophysiques : étudient les combinaisons de surfaces agricoles et la gestion des troupeaux ;
- Les modèles de décision : décrivent la gestion des couverts par les agriculteurs et leur interaction, par exemple;
- Les modèles logistiques : représentent les flux de matières premières entre exploitations ainsi que les ressources utilisées pour produire ces matières premières (Martin et al. 2016).

Par exemple, SEPATOU est un modèle simulateur créé pour conseiller les éleveurs sur la gestion au pâturage en fonction des pratiques (Cros, Duru, Peyre 2001). C'est un modèle qui fait interagir deux sous-modèles : un sous-modèle qui simule la pousse de l'herbe et sa qualité, le pâturage de l'herbe et la production laitière. Le deuxième sous-modèle représente les règles d'organisation, d'adaptation et opératoire. Le simulateur crée un calendrier journalier de pâturage et d'alimentation ainsi que des courbes de production d'un troupeau laitier en tenant compte du climat. SEPATOU détaille les expertises des stratégies de pâturage. Pour les conseillers en élevage, c'est une expérimentation virtuelle leur permettant de confronter la proposition et l'application des règles qu'ils déterminent. Ses résultats évaluent l'impact des nouvelles stratégies et permet d'en imaginer de nouvelles. SEPATOU impose la définition de règles de décision au travers de discussion ce qui permet la construction collective d'une représentation de la gestion du pâturage. Chaque résultat est comparé au précédent remettant en question les règles de décision et la validité des indicateurs. C'est un outil de formation et d'animation puisqu'il est utilisé par des conseillers et des éleveurs.

Un autre exemple de modèle est le simulateur SIMBA (Marvuglia et al. 2022). C'est un simulateur multi-agents présenté comme un outil d'aide à la décision capable de simuler la production végétale et animale au Luxembourg. Il permet de sensibiliser les acteurs du monde agricole aux problématiques environnementales ainsi qu'à l'agriculture durable. Le but final de ce modèle est d'évaluer l'impact des décisions des agents, les agriculteurs, concernant l'environnement et de trouver des solutions durables à mettre en place dans les pratiques agricoles.

### 1.3.2. La Rami Pastoral

Rami Pastoral est un jeu associé à un modèle sur la thématique des systèmes d'élevage basé sur des parcours. Son objectif premier est de soutenir la gestion des parcours au travers de discussion et d'échange de savoir entre agriculteurs (Farrié et al. 2015). C'est un jeu de co-conception et d'évaluation collective des systèmes d'élevage spécialisés dans les parcours. Il s'appuie tout d'abord sur une approche systémique incluant des connaissances scientifiques et empiriques des agriculteurs et conseillers agricoles.

Des analyses fonctionnelles de fermes basées sur les parcours ont été réalisées par des chercheurs ou des conseillers afin de construire un modèle conceptuel. Le modèle comprend des interactions entre ses différentes composantes : l'agriculteur (ses stratégies et sa gestion), son troupeau, les parcours et les stocks d'aliment. L'agriculteur est représenté dans le modèle avec son troupeau et sa gestion. La gestion et l'utilisation des parcours sont également représentées. Chaque parcelle pâturée est caractérisée par un type de végétation et son état. Le jeu se déroule sur un pas de temps de 15 jours pour mieux représenter les effets du changement climatiques sur la production de biomasse.

Le jeu se déroule en plusieurs étapes : (1) description du troupeau, identification de groupe au sein du troupeau et caractérisation des groupes, (2) description de l'alimentation des groupes d'animaux, (3) caractérisation des espèces végétales pâturées par les animaux, (4) description du système d'alimentation pour chaque lot : besoins/périodes et gestion de l'alimentation. Pour chaque lot, l'alimentation est décrite de façon à connaître le type de végétation et son état (vert ou sec), le degré d'utilisation (complet ou incomplet) et le type et la quantité d'aliment apportée en complément. Ces différents éléments sont utilisés en données d'entrée d'un calculateur.

Le jeu se joue sur un plateau avec des cartes, des baguettes et un tableur numérique. Le temps est en abscisse du plateau, représentant une année complète. L'axe est divisé en vingt-quatre périodes de 15 jours. L'axe des ordonnées représente la superficie (en hectare) des parcelles pâturées et les ressources attribuées. Les joueurs placent et organisent les différentes composantes caractérisant leur système.

Le type d'aliment pâturé ou récolté dépend à la fois du type de végétation, de la saison, de l'intensité de l'utilisation et de l'utilisation précédente. Des baguettes représentent des combinaisons de végétation et de pratiques par parcelle avec une quantité de ressources disponibles. Pour la ressource pâturée, la quantité disponible est exprimée en nombre de jours animaux par ha pour les saisons suivantes : début printemps : début de la pousse de l'herbe, milieu du printemps : pleine pousse de l'herbe, fin du printemps : un quart de la pousse de l'herbe, été : peu ou pas de pousse de l'herbe, automne : reverdissement ou repousse de l'herbe, fin automne et hiver).

Les baguettes représentent le début des périodes de production de biomasse et de disponibilité de la ressource, en fonction du type de végétation des parcours. Les baguettes sont placées sur le plateau lorsque les joueurs jugent qu'un type de végétation est valorisable à une période précise. Un jeu de données national, précisant la production de biomasse par type de végétation et par période, est mis à disposition aux joueurs pour les aider. Les agriculteurs et les conseillers peuvent également déterminer par eux-mêmes les productions et les dates grâce à leur expertise. La quantité de biomasse disponible peut être différente entre les éleveurs car chacun gère la ressource de manière différente. Un éleveur peut, par exemple, stocker de l'herbe qui sera pâturée plus tard dans l'année.

Les surfaces ne sont pâturées qu'une à deux fois par an. De plus, le type de surface peut modifier la disponibilité de la ressource, par exemple entre une prairie et un parcours, la disponibilité est différente. Pour exprimer cette différence, la quantité de ressource disponible est exprimée en kg de MS par hectare pour les prairies et en nombre de jour d'alimentation animale par hectare pour les parcours.

En ce qui concerne les animaux, des cartes avec l'espèce animale, la race, le poids et l'état corporel et le stade physiologique sont utilisées. Avec ces cartes, les éleveurs caractérisent un animal type du troupeau ou d'un lot d'animaux. Pour chaque combinaison, ils doivent mentionner la taille de l'effectif. Ils peuvent créer jusqu'à quatre lots. Au travers de l'utilisation des cartes, les éleveurs décrivent leur stratégie de troupeau. Dans le tableur, les combinaisons de cartes se voient attribuer une quantité de matière quotidienne (en kg de MS) avec un niveau de qualité (faible, moyen, élevé). Sur les vingt-quatre quinzaines de l'année, le troupeau ou les lots ont un besoin en aliment spécifique. Le jeu possède également des cartes diététiques. Chaque carte possède un aliment : des fourrages ou des concentrés. Les éleveurs doivent combiner ces cartes pour déterminer le régime alimentaire des troupeaux tout au long de l'année. Les cartes font le lien entre les cartes des animaux et les bâtonnets des ressources disponibles.

Le tableur informatique recueille les informations sur les ressources disponibles et leur répartition en surface, la taille du troupeau et des lots ainsi que leur régime alimentaire. Il est également composé de deux bases de données. Une base correspond à la quantité (kg de MS) et à la qualité des besoins quotidiens des animaux. La deuxième comprend les rendements des ressources en t/kg de MS/ha et leur qualité au cours des périodes de l'année.

Le tableur calcule de manière automatique des indicateurs et génère des graphiques. Il permet de visualiser rapidement la couverture des besoins des animaux par la ressource disponible pour chaque période.

Les agriculteurs et conseillers utilisent les différents outils et informations du Rami Pastoral pour répondre à des problématiques en lien avec l'usage des ressources. Tout au long du jeu, ils échangent leurs savoirs et leurs opinions afin de trouver des solutions (Farrié et al. 2015).

### 1.3.3. La simulation multi-agents

Une simulation est la création d'un « petit monde numérique » dans lequel il est possible d'entreprendre plusieurs expériences et d'analyser des effets de variations sur un système, des interactions entre agents et son environnement. Ferber en 1997 parle de « laboratoire numérique ».

Les SMA ont la capacité de représenter des systèmes complexes dans son ensemble de manière simplifiée et visuelle. D'après la définition de Ferber en 1997, un « agent », dans une SMA, est « un objet informatique » inséré dans un système informatique, paramétré par des ressources, des objectifs, des compétences ou services et d'un comportement qui tient compte des paramètres cités précédemment. L'agent est maître de ses décisions et agit de manière indépendante pour accomplir ses objectifs. Le modèle numérique est construit à partir de codages, qui sont des relations mathématiques. Des variables d'entrées et de sorties sont reliées entre elles par des relations de cause à effet (Ferber 1997). Avec un modèle multi-agents, il devient possible de faire interagir un berger et son troupeau (les agents) avec un territoire, en y intégrant différents paramètres comportementaux, objectifs, etc. à l'inverse, il est possible d'évaluer les réponses du territoire au passage du troupeau. La SMA apporte un aspect dynamique qui n'est actuellement pas possible d'avoir avec le Rami Pastoral.

## 1.4. Problématique et hypothèses

Par le passé, viticulture et pastoralisme vivaient en symbiose. Cependant le nombre de bergers a décliné petit à petit, laissant leurs surfaces pour la vigne. Aujourd'hui la viticulture est l'activité agricole majeure du massif de la Clape. Avec la déprise agricole dans le secteur viticole et la diminution des bergers sur la Clape, la SAU a diminué et le territoire s'est refermé, l'exposant aux risques incendies, de plus en plus fréquents. Le redéploiement du pastoralisme permettrait de lutter contre la fermeture des milieux et de faire revenir les bergers sur la Clape. De plus, les bergers pourront compter sur les ressources des vignes en complément des landes, des forêts et des pelouses qui composent les milieux naturels de la Clape.

Historiquement, le pastoralisme est une pratique agricole très présente en Méditerranée. Il joue un rôle important dans la gestion du territoire. Une diversité de bergers et de conduites dans la région méditerranéenne participe au maintien des milieux ouverts.

Pour redéployer le pastoralisme, un temps de diagnostic et d'échange sur le potentiel pastoral du massif de la Clape est nécessaire. Il est également important de réfléchir sur les types de bergers pouvant s'y installer et sur l'effet du pâturage des troupeaux d'ovins sur l'ouverture des milieux.

La modélisation est une méthode adaptée et très utilisée pour concevoir et représenter des systèmes agricoles. Des modèles existants, comme le Rami Pastoral, permettent de simuler le pâturage des bergers sur une zone en fonction des besoins des troupeaux et de la ressource disponible par saison et sur une année. La simulation multi-agents est une forme de modélisation capable de représenter de manière simple des bergers en interaction avec un territoire.

Grâce à l'identification d'enjeux du territoire de la Clape et l'utilité de représenter l'impact du pastoralisme sur un territoire dans un modèle multi-agents, nous cherchons à répondre à la problématique suivante :

### **Quels sont les choix de modélisation pour représenter les systèmes pastoraux ovins de la Clape ?**

Pour y répondre, deux questions subsidiaires sont posées :

- Les besoins des animaux et la disponibilité des ressources du Rami Pastoral peuvent-ils constituer le modèle biophysique du modèle multi-agents ?
- Comment représenter le déplacement des troupeaux/les décisions sur les choix des îlots dans l'espace ?

Suite à ces deux sous-problématiques, deux hypothèses sont émises :

- H1 : La simplification en saison du Rami Pastoral a des conséquences sur les choix de modélisation
- H2 : Les troupeaux se déplacent en fonction de la ressource fourragère disponible

Pour répondre aux problématiques, nous avons suivi les étapes de construction d'un modèle, avec dans un premier temps la construction d'un modèle conceptuel qui est le support de construction du simulateur multi-agents. Pour alimenter le modèle, une diversité de stratégies de bergers méditerranéens a été définie pour adapter le modèle aux conditions du massif de la Clape. Des simulations ont été réalisées après le calibrage du simulateur et des indicateurs seront calculés à partir de données de sorties, pour vérifier le fonctionnement du modèle, et comparés aux indicateurs issus d'enquêtes de bergers.

## **2. Matériel et Méthode**

### **2.1. Les étapes de construction d'un modèle conceptuel et d'un simulateur**

#### **2.1.1. Construction d'un modèle conceptuel**

Le modèle conceptuel est le modèle précurseur au SMA et accompagne sa création. Il repose sur l'intégration de l'ensemble des connaissances acquises sur le système étudié, et organise ces connaissances pour en obtenir une vision commune à différents acteurs (Voinov et al. 2016). Un modèle conceptuel est une représentation graphique qui a pour objectif de rassembler les connaissances existantes sur un système et ses interactions afin de les partager entre le concepteur du modèle et un scientifique d'un tout autre domaine, l'utilisateur du modèle (Lamanda et al. 2012).

D'après Michel en 2004, un modèle conceptuel se construit en 3 étapes :

- Définition du problème de l'étude : déterminer des objectifs et définir les problématiques auxquelles le modèle doit répondre ;
- Planification : lister les données utiles à la réalisation de l'étude ;
- Définition du système : délimiter l'environnement et définir les composants, les variables et les interactions du modèle.

Dans notre cas d'étude, nous cherchons à construire un modèle capable de représenter des bergers en interaction avec le territoire de la Clape. Le modèle sera le support de création d'un simulateur qui aura pour but d'explorer le massif de la Clape avec des bergers au travers de scénarios, pour répondre à la problématique de l'embroussaillage et du maintien de l'activité pastorale sur la Clape. Grâce à des enquêtes auprès de bergers, des données seront récoltées et triées pour caractériser les stratégies de chaque berger en termes de conduite du troupeau et de pâturage (

Figure 6). Ces données d'enquêtes sont complétées avec des données du Rami Pastoral qui définissent des règles de décisions concernant les interactions entre les troupeaux et le territoire. Il est important de réfléchir à la récolte des données d'entrées et de sorties, de leur format ainsi qu'à leur représentation pour qu'elles répondent de manière la plus précise aux enjeux identifiés (Huber et al. 2018).

Notre modèle conceptuel représentera les conduites de troupeau des bergers enquêtés, avec les calendriers et les données du Rami Pastoral pour définir les besoins des troupeaux et les quantités de ressources fourragères disponibles par période. Le mouvement des troupeaux avec les circuits de pâturage seront également représentés au travers de cartes. L'occupation des sols et les quantités de ressources fourragères associés, issues du Rami Pastoral, viennent compléter le circuit de pâturage.

### 2.1.2. Implémentation du simulateur

L'implémentation du SMA repose sur la mobilisation de données d'entrées et de sorties, de paramètres et d'agents (Lamanda et al. 2012). Ces mobilisations ont un rôle dans le fonctionnement du simulateur. C'est une retranscription des éléments du modèle conceptuel dans le simulateur.

Les données d'entrées du simulateur sont les effectifs des troupeaux, avec le nombre de mères et l'évolution des agneaux sur l'année, les besoins des animaux par stades physiologiques calculés à partir des calendriers de troupeau et des besoins du Rami Pastoral. La carte OSO 2021 de la Clape est également une donnée d'entrée, elle est le support de déplacement des troupeaux dans le simulateur. La carte OSO est complétée par les quantités de ressources disponibles par type de milieu du Rami Pastoral.

Une simulation est réalisée sur une année et suit un pas de temps saisonnier, correspondant au découpage des saisons mobilisé dans le Rami Pastoral : à savoir, début de printemps, printemps, été, automne, fin automne et hiver. Les agents sont représentés par les troupeaux des bergers enquêtés, chacun définit par une stratégie de berger. Les agents sont paramétrés afin de pouvoir se déplacer dans l'espace, avec un déplacement explicitement spatialisé sur une cartographie du massif de la Clape.

Pour commencer, les agents sont placés sur un îlot du massif aléatoirement. Ensuite, les troupeaux se déplacent en fonction de la ressource fourragère disponible autour du point de départ. Les îlots n'ont pas de superficie limite de pâturage du moment qu'ils couvrent les besoins des troupeaux. Toutes les parcelles de la Clape sont accessibles et rien ne contraint cette disponibilité hormis le type de milieu.

Les données de sorties sont dépendantes des indicateurs identifiés. Deux catégories d'indicateurs sont définies. La première catégorie comprend les indicateurs de vérification du simulateur. Cette catégorie d'indicateur vérifie la cohérence des données de sortie des simulations. La deuxième catégorie d'indicateurs comprend les indicateurs qui répondent aux enjeux identifiés pour la Clape. Les indicateurs sont détaillés dans la partie 2.5.

L'étape suivante est l'implémentation des éléments listés dans le paragraphe précédent dans le simulateur. Le logiciel de simulation utilisé est la version 1.9 du logiciel GAMA (Taillandier et al. 2019). GAMA est un Environnement de Développement Intégré (IDE) ayant la capacité de basculer rapidement de la modélisation à la simulation. Il offre de nombreux outils favorisant la gestion des modèles et des simulations, comme un moteur de recherche permettant de recueillir des données ou des exemples de modèles. Il est composé de visualiseur de fichiers courants, comme les fichiers CSV ou Shapefile, permettant aux modélisateurs de visualiser les données manipulées. GAMA est capable d'intégrer des données SIG et de gérer plusieurs représentations d'un même environnement avec une organisation de l'espace différente. Cette intégration de données SIG permet aux agents d'être spatialisés. Cette capacité permet à notre étude de spatialiser le massif de la Clape.

### 2.1.3. Les simulations

Une fois le codage terminé, les simulations sont lancées. A la sortie des simulations, des données de sorties sont récoltées et vérifiées. Les résultats de simulation sont vérifiés grâce à des discussions avec des experts tels que des gestionnaires de parc naturel ou des bergers, pour que ces dernières soient les plus cohérentes avec les données du terrain. La validation des résultats de simulation permet ensuite la création de scénarios, à partir des attendues des experts, pour être simulés.

La Figure 6 résume la construction du modèle conceptuel et du simulateur multi-agent. Il reprend les éléments composants chaque partie de la construction : récolte de données de la bibliographie et d'enquête, construction d'un modèle conceptuel, choix de simulation, implémentation du simulateur, simulations et calculs d'indicateurs à partir des données de simulation et d'enquête qui sont ensuite comparées.

## 2.2. Les enquêtes semi-directives

### 2.2.1. Echantillonnage des bergers à enquêter

L'objectif des enquêtes est de décrire une diversité de stratégie(s) des bergers ovins représentatives du territoire méditerranéen audois. Seuls deux bergers pâturant sur la Clape et deux autres sur un territoire voisin ont été contactés pour leur pratiques complémentaires. Ils ont été identifiés par le PNRNM et les partenaires du projet SAGITERRES. Seul un berger a son siège d'exploitation sur la Clape (Figure 5).

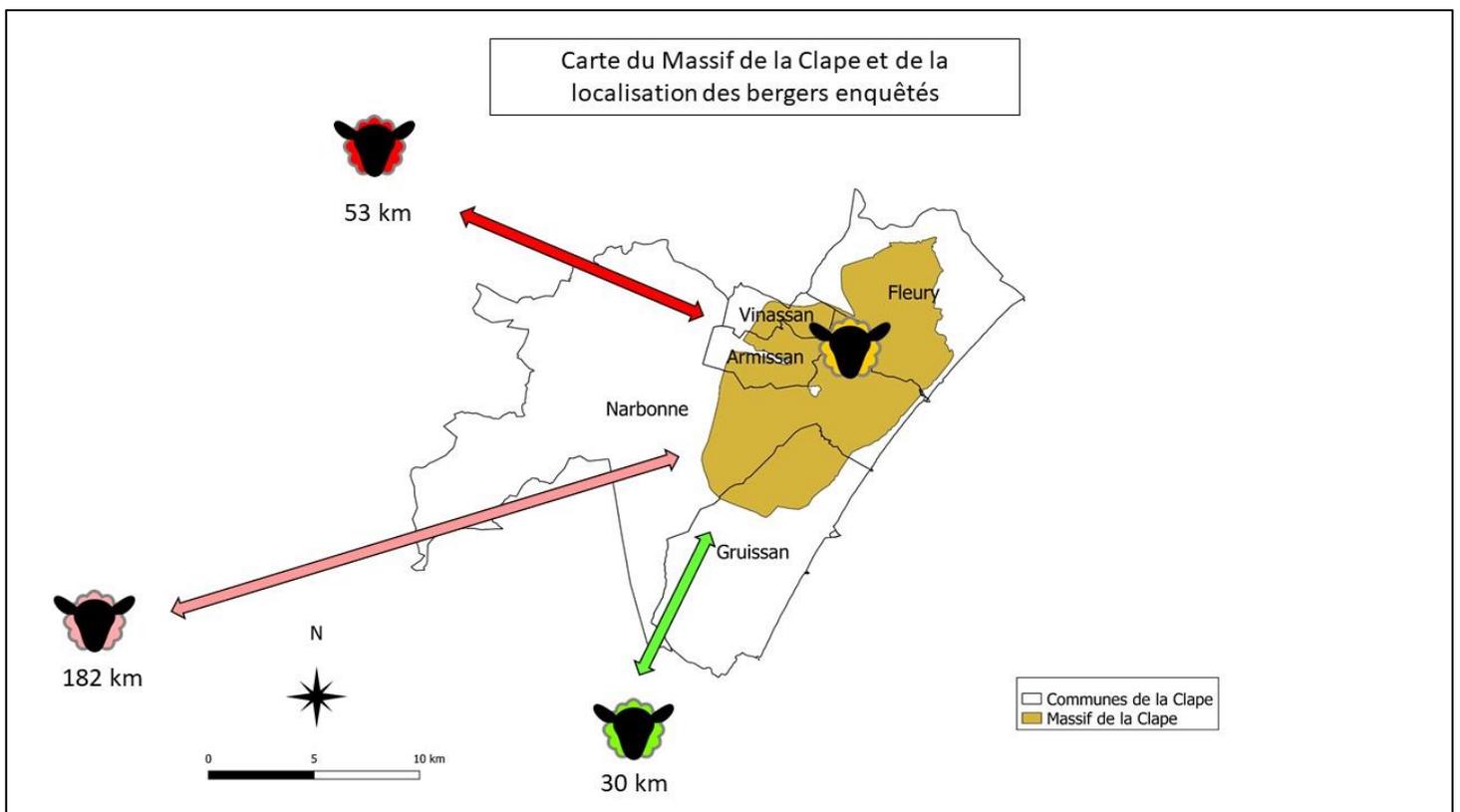


Figure 5: Carte de la localisation des bergers enquêtés

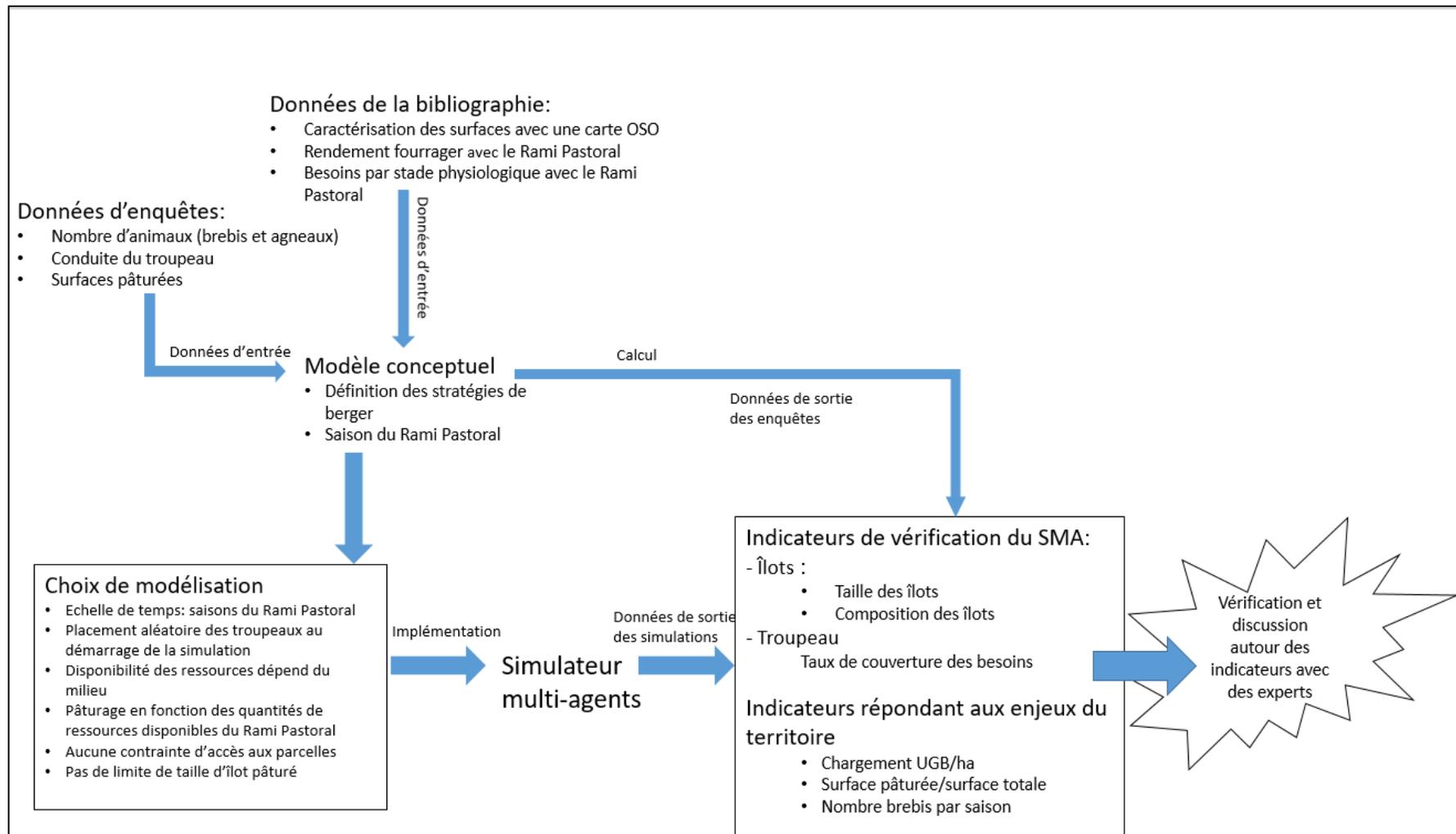


Figure 6: Schéma synthèse de la construction d'un modèle

### 2.2.2. Le guide d'entretien

Le guide d'entretien a pour objectif final de réaliser un calendrier de conduite de troupeau et une boucle de pâturage pour chaque berger enquêté et d'identifier des stratégies de berger au sein du territoire de la Clape. Le choix s'est porté sur un entretien semi-directif pour la requête de données quantitatives et qualitatives. Les questions posées ont pour rôle d'orienter l'enquêté dans ses réponses pour recueillir des informations sur des prises de parole. La récolte d'informations se fait par l'intermédiaire d'un dialogue établi entre l'enquêteur et l'enquêté. L'enquêté possède un savoir sur un thème d'intérêt porté par l'enquêteur, qu'il va partager avec ce dernier (Pin 2023).

Le guide d'entretien est divisé en trois parties : présentation globale de l'exploitation, conduite du troupeau et plan de pâturage sur la Clape. Concernant la conduite, une attention particulière est portée sur le calendrier de reproduction, influant le besoin des animaux et la conduite. L'ensemble du questionnaire est en Annexe 1.

Le questionnaire permet d'aborder les choix d'alimentation des animaux, ainsi que de déterminer si les bergers estiment couvrir les besoins à 100% avec les ressources disponibles du massif. L'objectif est de construire, avec le berger, une boucle de pâturage durant la période de présence du troupeau sur le massif. Différentes questions de relance visent à expliciter les raisons des choix des bergers, comme par exemple le choix d'une conduite en plusieurs lots, le choix des îlots et de la boucle de pâturage afin d'établir des règles de décision. Des questions d'ouverture sont également posées pour discuter des perspectives du pastoralisme sur la Clape et identifier des enjeux qui concernent les bergers sur ce territoire, qui peuvent affecter ou, au contraire, dynamiser l'activité de berger.

Afin de faciliter le remplissage du guide d'entretien et d'améliorer les interactions avec le berger au moment des enquêtes, des supports ont été préparés en amont : un calendrier et une carte. Ils permettent une meilleure visualisation des informations collectées pour l'enquêteur et l'enquêté. Le calendrier est composé des 12 mois de l'année et chaque mois est divisé en quinzaine pour avoir une précision de date au début, à la moitié ou à la fin du mois. Le calendrier est également divisé en lot pour mentionner le nombre de lots dans le troupeau et leurs dates respectives. Au moment de l'entretien le berger n'avait qu'à remplir le calendrier pour répondre à des questions concernant chaque période.

La carte est réalisée à partir de Qgis et elle est composée d'une photographie aérienne et de la couche du Recensement Parcellaire Graphique (RPG) du massif de la Clape. Durant l'entretien, au moment des questions sur les parcelles pâturées, le berger devait simplement entourer les parcelles concernées. Le Tableau 1 reprend les éléments constitutifs du calendrier et de la carte.

	Conduite du troupeau	Organisation du pâturage
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Date entrée/sortie du bâtiment</li> <li>- Nombre de lots</li> <li>- Période de lutte</li> <li>- Période d'agnelage</li> <li>- Période d'engraissement des agneaux</li> <li>- Période d'abattage et de vente des agneaux</li> </ul>	Période de pâturage de chaque îlot
	/	Localisation des îlots

**Tableau 1: Éléments mentionnés dans le calendrier ou sur la carte lors des entretiens**

## 2.3. Définition des stratégies de bergers

Les stratégies de bergers sont définies par :

- Les stratégies pastorales : correspondent à des îlots pâturés composés de différents milieux et une boucle de pâturage associant les îlots pâturés au cours d'une année sur le territoire de la Clape;
- Les stratégies de conduite du troupeau : correspondent à une taille de cheptel et des caractéristiques propres aux troupeaux, une conduite de troupeau et leur besoin au cours d'une année.

Les stratégies sont construites au travers de l'analyse des enquêtes de bergers. Des différences de stratégies au niveau de la conduite du troupeau ou de l'organisation du pâturage sur la Clape sont recherchées pour définir une stratégie type de berger.

### 2.3.1. Stratégies de conduite de troupeau

Des stratégies de conduite de troupeau sont définies par la taille du cheptel, en nombre de mère, ainsi que le nombre d'agneaux nés sur l'année. Les périodes de reproduction et de mises bas des brebis sont également collectées ainsi que celles de l'engraissement et de l'abattage des agneaux pour suivre l'évolution du nombre de têtes sur l'année. Les données recueillies sur le troupeau et sa conduite sont retranscrites dans un calendrier Excel. A l'intérieur de ce calendrier, les douze mois de l'année sont divisés en quinzaine de mois. Une cellule du calendrier correspond à quinze jours. Chaque date est replacée dans ce calendrier de la même manière que le berger les a placés sur le calendrier de l'entretien. Après cette phase de remplissage vient la phase de vérification des informations partagées. La période de gestation est vérifiée entre les dates de lutte et de mises bas. Les deux périodes doivent être séparées de cinq mois. Les données supplémentaires qui définissent la conduite du troupeau sont la race des brebis, le nombre de lot de brebis et la production des brebis (viande ou lait).

### 2.3.2. Stratégies pastorales

Une stratégie pastorale est caractérisée par la superficie totale des îlots pâturés et leur caractéristique (domaine viticole, garrigues, etc.). La stratégie pastorale intègre l'appartenance des îlots avec les types de contrats, si les îlots n'appartiennent pas aux bergers, la localisation des îlots ainsi que leur date de pâturage pour déterminer la boucle de pâturage. La similitude des boucles de pâturage d'une année à l'autre est une information qui rentre aussi dans la définition d'une stratégie pastorale. Des informations complémentaires telles que le pâturage sur une estive et le mode de garde (clôture mobile ou gardiennage) rentrent dans la définition d'une stratégie pastorale.

Dans un calendrier du même format que le calendrier utilisé pour le troupeau, les dates de pâturage des îlots y sont insérées afin de créer un circuit de pâturage sur une année.

## 2.4. Les stratégies de bergers modélisées pour le calibrage du modèle conceptuel

Afin de calibrer le modèle, les données traitant des ressources et de leurs disponibilités, ainsi que l'évolution annuelle des besoins des animaux sont issues du Rami Pastoral (Farrié et al. 2015). Les saisons utilisées sont donc celles définies dans le Rami et déterminent l'échelle de temps du modèle conceptuel grâce à la précision de ses bases de données pour chaque période.

Le choix des saisons consiste donc en :

- **Hiver** : Janvier-Février : sénescence progressive du couvert due au froid (60 jours) ;
- **Début printemps** : Mars : l'herbe commence à pousser, de manière irrégulière selon les aléas (30 jours) ;
- **Printemps** : Avril-Juin : pleine pousse de l'herbe. Disponibilité importante au pâturage (90 jours) ;
- **Été** : Juillet-15 Septembre : ralentissement de pousse de l'herbe (voir arrêt avec sénescence) (75 jours) ;
- **Automne** : 15 Septembre-15 Novembre : reverdissement voire repousse de l'herbe (60 jours) ;
- **Fin Automne** : 15 Novembre-Décembre: l'herbe s'arrête de pousser mais globalement se maintient en état (45 jours). (*Référentiel pastoral parcellaire ; collectif, 1999*)

#### 2.4.1. Modélisation du calendrier de conduite de troupeau

Le calendrier du troupeau des enquêtes est complété par le nombre total de brebis mis à la reproduction. Ce nombre est ensuite divisé en lot. Le calendrier étant divisé en quinzaine, la répartition des agnelages se découpe donc en trois parts par mois correspondant au début, au milieu et à la fin de mois, et ce pour toute la période d'agnelage. Ces « lots de naissance » ne correspondent pas aux lots de conduite de troupeau du berger. Ils font suite à l'hypothèse émise que les brebis n'agnèlent pas toutes en même temps. A partir du premier jour d'agnelage mentionné sur le calendrier, tous les quinze jours un lot de  $n$  brebis met bas. Chaque lot comporte le même nombre de brebis et une ligne du calendrier correspond à un lot.

De la même façon que les brebis, le nombre d'agneaux est ajouté au calendrier. Des lots d'agneaux à l'engraissement sont également créés, en divisant le nombre d'agneaux total par le nombre de quinzaines de mois présent durant la période de vente des agneaux. A partir du premier jour de vente des agneaux, un lot de  $n$  agneaux est vendu tous les quinze jours.

#### 2.4.2. Les besoins des troupeaux

Pour chaque berger, le troupeau a des besoins différents en fonction de sa taille (nombre de mères), de la race des brebis, du stade physiologique des brebis et du nombre d'agneaux à l'engraissement au cours des périodes.

Les besoins, représentés par la Capacité d'Ingestion (CI), sont calculés à partir des références données par le Rami Pastoral, grâce à la formule suivante :

$$\text{Besoins adultes} = 0,0845 * \text{coeff} * \text{PV}^{0,75} \text{ (kg de MS/jour)}$$

$$\text{Besoins jeunes} = 0,0845 * (\text{coeff} * \text{PV})^{0,75} \text{ (kg de MS/jour)}$$

La variable *Coeff* correspond à un coefficient à dire d'expert, destiné au calcul du besoin en kg de MS, en fonction du stade physiologique. Il diffère en fonction de la prolificité des brebis : <1 agneau/brebis/an, 1-1.5 agneaux/brebis/an et >1.5 agneaux/brebis/an. Pour les jeunes animaux, le coefficient est un pourcentage par rapport au poids vifs des adultes. Le *PV* est tout simplement le Poids Vifs, il varie en fonction de la race (Tableau 2).

Prolificté/niveau de prod.	Entretien	Préparation reproduction	Reproduction	Début-milieu gestation	Fin de gestation	Mises bas	Début de lactation	Fin de lactation	Engraissement Adulte
	Entr	PréRepro	Repro	DMGesta	FinGesta	MB	DLact	FinLact	EngrAdlt
< 1 agn/mère/an	1	1	1	1	1	1,1	1,2	1,1	1
1 - 1,5 agnx/mère/an	1	1	1	1	1,1	1,2	1,3	1,2	1
> 1,5 agnx/mère/an	1	1	1	1	1,2	1,3	1,4	1,3	1

Sevré de - de 6 mois	6 - 12 mois	Jeune de + de 12 mois
Ov/Ca < 6 M	Ov/Ca 6-12M	Ov/Ca +12 M
0,45	0,7	0,8
0,45	0,7	0,8
0,45	0,7	0,8

**Tableau 2: Coefficient attribué au calcul des besoins des brebis en fonction du stade physiologique (Source : Rami Pastoral)**

Tous les stades physiologiques présents dans le Tableau 2 ne sont pas conservés. Les stades physiologiques sélectionnés pour cette étude sont les stades **entretien, début milieu de gestation (= besoin préparation reproduction = reproduction), fin de gestation, mises bas, début de lactation et fin de lactation et jeun ovin < 6 mois** pour déterminer les besoins des agneaux à l'engraissement. Pour chacun de ces stades physiologiques, le besoin des animaux est différent en fonction du stade physiologique, de la race de la brebis et de sa productivité.

Une fois les stades physiologiques identifiés, leur besoin correspondant sont rajoutés au calendrier des troupeaux pour déterminer les besoins de chaque lot, à l'aide la formule suivante :

**Besoins du lot (kg de MS) = CI \* 15 jours \* Nombre de brebis dans le lot**

*CI (kg de MS/brebis/jour) : Capacité d'Ingestion*

Pour le remplissage des besoins dans le calendrier, le point de départ est l'**agnelage**. Pour rappel, un lot de brebis agnèle sur quinze jours, ce qui correspond à une cellule dans le calendrier. Ainsi sur une cellule, les brebis ont un besoin lié à la mise bas. Après la mise bas, vient le **début de la lactation**. D'après Inn'ovin et Interbev en 2019, le début de lactation a lieu durant un mois et demi après les naissances, suivi par la **fin de lactation**, un mois et demi suivant la période début de lactation. Pour ces deux stades physiologiques, les brebis ont deux besoins distincts. Au total, la lactation des agneaux dure trois mois. Une fois la lactation terminée, les brebis passe au stade physiologique de l'**entretien** et ce jusqu'à la **lutte**. Après la lutte, les brebis sont en **gestation** pendant cinq mois. La gestation est divisée en deux stades : les quatorze premières semaines les brebis sont en **début-milieu de gestation**, puis les six dernières semaines, elles passent en **fin de gestation**. Tout au long de la gestation, les brebis ont donc deux besoins différents. Enfin, trois mois après l'agnelage, les agneaux rentrent au stade de l'**engraissement**. D'après Prache et Theriez en 1988, à cet âge, ils consomment exclusivement de l'herbe. La période d'engraissement des agneaux dure deux mois et laisse place à l'**abattage**.

Le besoin de chaque lot est ensuite ramené au besoin total du troupeau par période.

### 2.4.3. Modélisation des îlots et du calendrier de pâturage

Un premier travail consiste à retranscrire les îlots identifiés avec le berger sur le logiciel Qgis. A l'aide de la couche RPG, les parcelles pâturées, formant les îlots, sont rajoutées sur Qgis. La couche OSO 2021 (Occupation des sols 2021) du Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée (PNRNM) est superposée à la couche RPG pour déterminer l'occupation du sol des îlots.

Une sélection et un regroupement de sous-catégories ont été préalablement opérés dans la couche OSO 2021. La table attributaire de la couche OSO 2021 affiche quatre niveaux de catégories de surfaces. Le choix s'est penché sur le dernier niveau qui est le plus précis en termes de caractérisation des surfaces. A partir de ces dénominations, des groupes de sous-catégories de surfaces pâturables ont été créés afin qu'ils correspondent aux catégories référencées dans le Rami Pastoral : pelouses, landes ouvertes et fermées, forêts, arboriculture et vignoble. Les zones urbaines, les routes et les cours d'eau sont retirés de la carte. Le classement des sous-catégories dans les différents groupes est listé dans le Tableau 3.

La date de pâturage des îlots issues des enquêtes est rapportée aux saisons du Rami Pastoral. Des bergers peuvent décider de pâturer plusieurs îlots durant une même saison. C'est pour cela que ces îlots sont regroupés pour former un seul îlot. Un îlot peut également être pâturé durant deux périodes, ainsi il est considéré que l'îlot est pâturé deux fois, soit une fois par période. Un numéro d'îlot est attribué aux nouveaux îlots. Au finale dans le modèle conceptuel, à chaque période est attribuée un îlot.

Le nouveau calendrier comporte, par saison, les îlots avec la surface pâturée par catégorie de milieu (en ha).

Pelouses	Landes fermées	Landes ouvertes	Forêts	Arboriculture et vignoble
pelouse, pré salé, prairie, végétation clairsemée sur roche affleurante et zone incendiée ou aléa climatique	friche arbustive et garrigue semi fermée arbustive (<75%)	garrigue ouverte arbustive (<50%) et herbacée, friche herbacée et sansouire	forêt mélangée (au moins 30% de résineux ou 30% de feuillus), garrigue arborée (50 à 75%) fermée, garrigue arbustive (50 à 75%) et arborée fermée (25 à 50%), garrigue arbustive (75 à 100%) fermée, peuplement naturel de feuillus, peuplement naturel de résineux et reboisement en résineux	oliveraie, verger et vignoble

**Tableau 3 : Sous catégories de la carte OSO 2021 associées à leur type de milieu**

#### 2.4.4. Calcul des quantités de ressource disponible

Après avoir défini un îlot à chacune des saisons et déterminé leur assolement, une quantité de ressource fourragère peut leur être associée. Le Rami Pastoral donne accès à la quantité de ressources disponibles (en kg de MS) par période et milieux pâturés. Les ressources disponibles sont calculées comme des stocks de jours de pâturage pouvant nourrir des animaux avec un certain niveau de besoin. Pour le calcul de la quantité de ressource disponible, il tient compte de l'utilisation des ressources comme le pâturage ou la fauche. Dans notre étude nous gardons les milieux caractéristiques de la Clape et l'utilisation de sa ressource (PNRNM 2023a) : les bois (environ 50% de recouvrement en arbres), les landes (30-60% de recouvrement en ligneux) et les pelouses (>70% de recouvrement en herbe), tous destinés au pâturage des animaux. Ces catégories ont été associées au milieu de la carte OSO. La quantité de ressource de chaque milieu correspond à la moyenne des sous-catégories.

La quantité de ressource des milieux de la carte La quantité de ressources de sous-catégories de milieu d'une même catégorie sont moyennées pour donner la quantité de ressource de la catégorie.

Dans notre cas nous nous intéresserons aux sous-catégories :

- Pour les bois : bois résineux et chêne vert avec feuillage en sous-bois.
- Pour les landes : les sols acides genêts purgatifs et type garrigue avec genêt scorpion ou aromatique. Ces données seront attribuées aux landes ouvertes car elles leur sont plus spécifiques aux vues des sous-catégories. Pour les landes fermées, nous avons fait la moyenne des quantités de ressources des landes ouvertes et des forêts. Elles offrent moins de ressources valorisables par les troupeaux qu'une lande ouverte, d'après les dires de berger, à cause d'un accès difficile à la ressource.
- Pour les pelouses : aphyllante et la pelouse peu productive sur sol superficiel. Les seules données manquantes du Rami Pastoral sont les données de ressources disponibles des vignes. Un diagnostic pastoral a été réalisé en 2022 sur le domaine viticole de Villepeyroux-Forest, à Malves, dans l'Aude (Pertuzio 2022). Un des objectifs de ce diagnostic était de quantifier la ressource disponible dans les parcelles du domaine d'étude pour apporter un soutien technique aux bergers. Pour le diagnostic, la même méthode de calcul que pour le rendement d'une prairie a été utilisée : **densité\*hauteur d'herbe**. Le diagnostic s'appuie sur des recherches bibliographiques pour déterminer la quantité de ressource disponible d'une prairie au pâturage. Cette quantité est estimée à 100kg de MS/ha. Cependant une vigne est davantage exposée aux travaux de sol comparée à une prairie. De plus, les vignes peuvent être enherbées à totalité mais également enherbées qu'un rang sur deux, ce qui diminue la disponibilité de la ressource. C'est pour cela qu'un coefficient de densité est attribué à la quantité de ressource d'une prairie pour obtenir la quantité de

ressource d'une vigne. Lors du diagnostic, ils ont défini quatre niveaux de production aux vignes : sans ressource, peu de ressource, ressource moyenne et ressource abondante. Ces niveaux de ressources dépendent de la hauteur d'herbe au sein de la vigne. Pour chaque niveau de production, un coefficient de densité est appliqué à la quantité de matière sèche disponible pour déterminer la quantité de MS en fonction du niveau de production des vignes (Tableau 4).

Niveaux de production des vignes	Hauteur d'herbe (cm)	Coefficient de densité	Matière sèche par ha
Sans ressource	<2 cm	0	0
Peu de ressource	≤5 cm	0.6	500
Ressource moyenne	7-10 cm	0.7 à 0.9	750
Ressource abondante	>10 cm	0.9 à 1	1000

**Tableau 4 : Production de matière sèche dans les vignes (kg)**

Pour le cas de la Clape, nous émettons l'hypothèse que les vignes produisent peu de ressource aux vues du contexte pédoclimatique actuel et des pratiques d'enherbement des vignes de la Clape.

Une période de disponibilité de la ressource est associée à chaque type de milieu. Certains milieux peuvent être pâturés sur plusieurs périodes et le pâturage d'un milieu, à une période donnée, peut avoir un effet sur l'utilisation de la ressource à une période plus tardive dans l'année. Cette spécificité est représentée dans le Légende : P : Printemps ; dP : début Printemps ; H : Hiver ; A : Automne ; E : Eté

Tableau 5 reprenant les quantités de ressource disponibles (en kg de MS) par période du Rami Pastoral. Par exemple, la pelouse offre 100 kg de MS au début du printemps. Si cette ressource est pâturée, alors elle offrira au printemps 300 kg de MS.

Catégories de surface	Périodes de pâturage	Production Hiver kg de MS/ha	Production Début Printemps kg de MS/ha	Production Printemps kg de MS/ha	Production Été kg de MS/ha	Production Automne kg de MS/ha	Production Fin Automne kg de MS/ha
Pelouse	P			100	300		
	dP		650			200	
	H	125					225
	A					600	
Landes ouvertes	H	150					225
	P			600		300	
	dP		100	500			250
	E				600		
Forêt	E				350		100
	H	100					175
Vignes		300					300
Landes fermées	H	125					200
	dP		50	250			125
	P			300		150	
	E				475		50

Légende : P : Printemps ; dP : début Printemps ; H : Hiver ; A : Automne ; E : Eté

**Tableau 5: Quantité disponible de ressource (kg de MS/ha) par type de milieu et saison du Rami Pastoral**

## 2.5. Choix des indicateurs de vérification du simulateur et des indicateurs répondant aux enjeux du territoire

Avec les données de sorties du simulateur ainsi que les données du modèle conceptuel, des indicateurs sont calculés. Une première catégorie d'indicateurs a pour objectif de vérifier les données de sortie du simulateur et la deuxième catégorie permet de répondre aux enjeux du territoire. Ils sont dépendant des indicateurs de vérification.

Les indicateurs de vérification calculés sont **la surface des îlots pâturés par période et par berger (ha)** et **la composition des différents îlots pâturés (ha)**, en terme d'assolement. Ces indicateurs permettent de comparer les îlots des simulations et du modèle conceptuel et de vérifier les différences de taille ou de composition.

Pour la vérification des données de sorties des troupeaux, le **taux de couverture des besoins du troupeau** est calculé par la formule suivante :

$$\left( \frac{\text{Quantité de ressource fourragère disponible par îlot (kg de MS)}}{\text{Besoins des animaux (kg de MS)}} \right) * 100$$

Cet indicateur donne une idée sur la disponibilité des ressources par îlot et donc par période en fonction des besoins des animaux par période.

Pour la catégorie des indicateurs répondant aux enjeux du territoire, le **nombre d'animaux par saison** est calculé à partir de la formule :

$$\frac{\text{Quantité de ressource fourragère disponible (kg de MS)}}{\text{Besoins moyen d'un animal sur la période pâturage (kg de MS)}}$$

**Besoins moyen d'un animal (brebis et agneaux confondus) sur la période de pâturage : Besoin total du troupeau sur la période / le nombre total de têtes sur la période**

Le nombre de brebis par saison donne un potentiel d'accueil d'animaux pour les îlots pâturés afin de se rendre compte de la capacité d'accueil en termes de nombre de troupeau. Cet indicateur répond à l'enjeu de pérennité de l'activité pastorale.

Dans la même catégorie d'indicateur, le **chargement UGB/ha** détermine la pression de pâturage suffisante pour avoir un effet sur la réouverture des milieux. Si le chargement est compris entre 3 et 6 UGB/ha, alors on peut considérer que le troupeau a un effet sur la réouverture des milieux (Rouhet 2018).

Le chargement UGB/ha est calculé avec la formule suivante :

$$\text{Nombre d'animaux} * \text{coefficient UGB} / \text{surface de l'îlot pâturé (ha)}$$

Le dernier indicateur calculé est **la part d'un milieu pâturé sur le territoire de la Clape**, c'est-à-dire, la surface d'un milieu pâturé par rapport à la surface totale du milieu pâturé sur la Clape. Il se calcule de la manière suivante :

$$\frac{\text{Surface d'un milieu pâturé (ha)}}{\text{Surface totale du milieu pâturé sur la Clape (ha)}}$$

Il donne une indication sur les milieux pâturés en majorité et, a contrario, en plus faible proportion et permet d'observer sur quel type de milieu les troupeaux ont le plus d'effet.

### 3. Analyse des résultats

#### 3.1. Les stratégies de bergers de la Clape

##### 3.1.1. Les stratégies de troupeau

Les données d'enquêtes concernant les troupeaux sont répertoriés dans le Tableau 6 et la Figure 7.

Le Berger 1 est installé sur la Clape depuis le 01/01/2016 en individuel. Il élève un cheptel de 150 brebis tarasconnaises pour la production de viande, qu'il conduit en un seul lot. Le troupeau agnèle à partir d'octobre, jusqu'au 15 janvier et la lutte démarre au mois de mai et se prolonge jusqu'au 15 juillet. Les brebis mettent bas 150 agneaux par an. Les agneaux sont engraisés de janvier à septembre et vendus de mars jusqu'à l'agnelage.

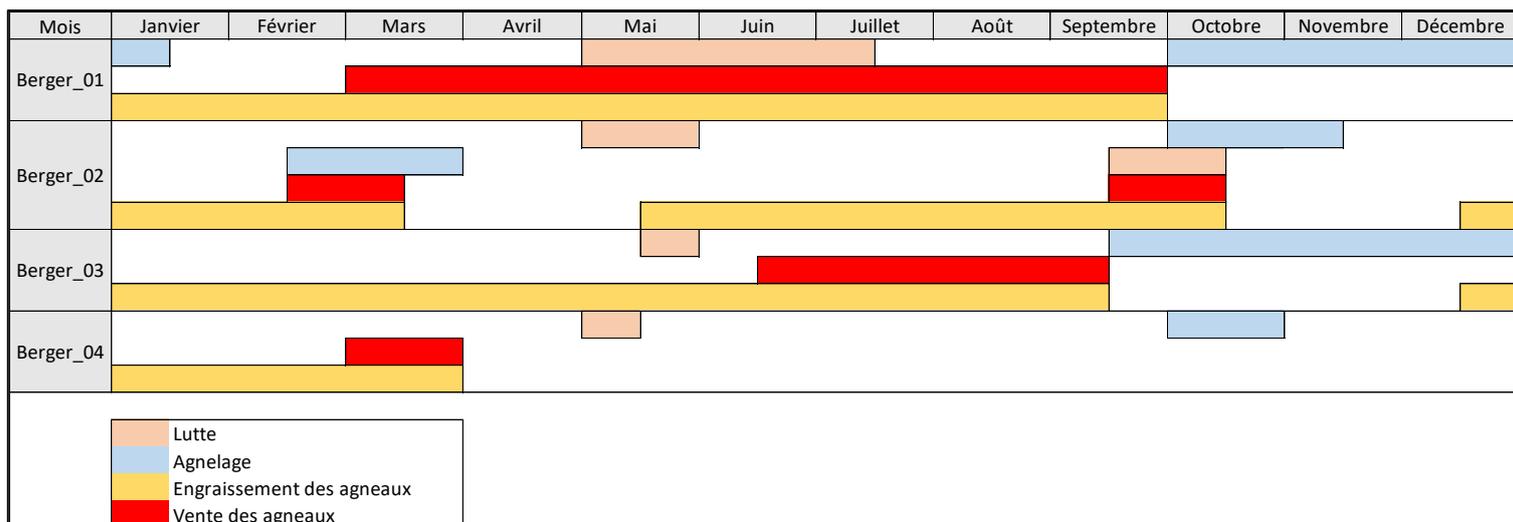
Le Berger 2 est installé en GAEC depuis début 2023 avec son associé, installé depuis une dizaine d'année, dans l'Ariège (09). Les deux associés élèvent 210 brebis de la race Mérinos d'Arles conduites en deux lots d'agnelage (automne et printemps) et produisent de la viande et de la laine. La lutte a lieu durant tout le mois de mai et les agnelages se déroulent d'octobre au 15 novembre pour le premier lot. Pour le deuxième lot, les brebis sont à la lutte du 15 septembre au 15 octobre et agnèlent du 15 février à la fin mars. 280 agneaux naissent au total des deux lots sur l'année. Ils sont engraisés du 15 décembre au 15 mars et vendus du 15 février au 15 mars pour le lot d'automne. Le lot du printemps est engraisé du 15 mai au 15 octobre et commercialisé du 15 septembre au 15 octobre.

Le Berger 3 est installé depuis 2020 en individuel, dans l'Aude (11), au sud du massif mais en dehors du territoire de la Clape. Son cheptel est composé de 80 brebis Rouge du Roussillon. Elles sont conduites en deux lots et produisent de la viande. Le premier lot est composé des mères et le deuxième des agnelles de renouvellement ainsi que des brebis de réformes. La lutte a lieu durant les quinze derniers jours de mai et les mises bas se déroulent du 15 septembre à la fin du mois de décembre. 70 agneaux naissent sur l'année et sont engraisés à partir du 15 décembre jusqu'au 15 septembre pour être ensuite vendus entre le 15 juin et le 15 septembre.

Le dernier Berger enquêté, le Berger 4, est installé dans le département de l'Hérault (34) en individuel depuis mars 2021. Il élève 273 brebis de race Mérinos d'Arles, en un seul lot, pour la production de viande. Pour ce troupeau la lutte a lieu les quinze premiers jours de mai et la période d'agnelage se déroule au mois d'octobre. Les brebis mettent bas 220 agneaux par an qui sont engraisés au début du mois de janvier jusqu'à la fin du mois de mars. Les agneaux sont ensuite abattus et vendus au mois de mars.

Bergers	Département	Pâturage sur la Clape	Nombre de mères	Race	Production	Nombres d'agneaux	Nombre de lot
Berger_01	11	oui	150	Tarasconnaise	Viande	150	1
Berger_02	9	oui	210	Mérinos d'Arles	Viande et Laine	280	2 : Lot agnelage automne et Lot agnelage printemps
Berger_03	11	non	80	Rouge du Roussillon	Viande et écopâturage	70	2 : Lot mères et Lot agnelles de renouvellement et brebis de réformes
Berger_04	34	non	273	Mérinos d'Arles	Viande	220	1

**Tableau 6 : Données d'enquête de la conduite des troupeaux**



**Figure 7: Calendrier des conduites de troupeau des enquêtes**

### 3.1.2. Les stratégies pastorales

Les données d'enquêtes concernant le pâturage des bergers sont répertoriées dans le Tableau 7 et la Figure 8.

Le Berger 1 pâture toute l'année sur quatre communes du massif de la Clape, hormis en saison estivale puisque le berger monte son troupeau en estive. Il possède uniquement 0,5 ha en propriété sur une surface totale de pâturage de 305 ha. Les surfaces sont mises à disposition au berger grâce aux trois baux à ferme délivrés par les communes et aux conventions de pâturage délivrées par le Conservatoire du Littoral. Le berger se déplace avec le troupeau sur les différents îlots mis à disposition. La boule de pâturage est différente d'une année à l'autre car elle dépend de la disponibilité des parcelles qui peut varier, avec la saison, des propriétaires qui interdisent le pâturage ou même avec de nouvelles parcelles à pâturer. La ressource pâturée sur les différents îlots est essentiellement de la pelouse d'aphyllante, de la garrigue et de la forêt peu importe la saison. Sur les pelouses d'aphyllante, le berger évite de surpâturer les parcelles, notamment en période de sécheresse, car cela provoquerait la diminution progressive de l'aphyllante. Lorsqu'une parcelle est fermée (ou embroussaillée), les brebis font un premier pâturage, la première année, pour ouvrir une première fois puis l'année suivante la parcelle est divisée en petit îlot afin d'intensifier, de manière raisonnée, le pâturage et d'ouvrir une nouvelle fois la parcelle pour favoriser la pousse d'espèces herbacées. Le berger met un réel point de vigilance sur la taille du troupeau pour éviter la perte de ressource liée au surpâturage. C'est l'une des raisons pour laquelle le berger a diminué son troupeau en début d'année 2023, où il est passé de 500 à 150 brebis. Le troupeau était autrefois gardé mais aujourd'hui il est de plus en plus parqué, avec des clôtures mobiles. Ceci est une des conséquences du changement de mentalité des riverains ou des touristes, concernant le partage des espaces naturels. Mais le parçage a aussi un avantage puisque qu'il permet au berger de se libérer du temps pour réaliser d'autres tâches. Au travers de la description de la stratégie de pâturage du Berger 1, nous qualifions cette stratégie d'**itinérante**.

Le Berger 2 pâture dans l'Ariège toute l'année, sur les prairies de l'exploitation et en estive l'été. A l'automne 2022, il a décidé de transhumer l'hiver sur Gruissan et le massif de la Clape. Sur la commune de Gruissan, le berger pâture un îlot de 300ha grâce à une convention de pâturage établie avec la commune, à l'automne. En hiver, son troupeau remonte sur la Clape pour pâturer un domaine viticole de 70ha. Le pâturage dans ce domaine viticole est permis grâce à un accord verbal entre le propriétaire du domaine et le berger. La surface totale pâturée sur la Clape et Gruissan représente quasiment quatre fois la superficie des parcelles pâturées sur la ferme (hors estive). Le berger pâture cinq semaines sur

l'îlot de Gruissan et cinq semaines sur le domaine viticole alors que les deux îlots sont de tailles largement différentes. D'après le berger, ceci vient de la ressource fourragère disponible. En effet, sur Gruissan, la ressource est moins riche et présente que sur le domaine viticole. L'îlot de Gruissan est une presqu'île avec du *Brachypode rameux*, une ressource essentielle pour les ovins et abondante sur la Clape, que les brebis ne consomment pas. Ceci diminue drastiquement la ressource disponible. Pour combler ce manque de ressource, le berger peut compter sur des terrains vagues ou des vignes enherbées que le troupeau pâture avec l'autorisation des propriétaires. Il peut compter également sur des anciens propriétaires de chevaux qui mettent à disposition leur terre ou même sur des propriétaires privés de friches. Sur le domaine viticole la ressource est bien plus riche puisque c'est un domaine en biodynamie avec des vignes enherbées. Sur toute sa durée de pâturage le berger essaye dans la mesure du possible de trouver de la ressource riche (herbacée) le matin et de la ressource ligneuse pour l'après-midi pour essayer de couvrir les besoins des animaux. Cette transhumance hivernale est une « année test » pour le berger car c'est sa première année de pâturage. Cette stratégie de berger sera qualifiée de stratégie **transhumante**.

Le Berger 3 ne pâture pas sur le massif de la Clape. La particularité de ce berger est qu'il propose des prestations d'écopâturage avec son troupeau. Il pâture sur deux parcs solaires privés qui ont des obligations légales de débroussaillage. Il intervient sur les parcs dès le démarrage de la pousse de l'herbe, soit au printemps. Au total il pâture sur 40 ha de parc solaire. En hiver, le berger amène son troupeau pâture sur un domaine viticole d'une quarantaine d'hectares. En été il dispose de terres situées en zone humide, avec de la ressource verte et surtout des frênes qu'il étête lorsque qu'il n'y a plus d'herbe disponible. Il possède 10 ha en propriété sur une surface totale de 115 ha. Depuis son installation, son objectif est d'augmenter petit à petit l'effectif de son troupeau. Ainsi chaque année il cherche à agrandir son parcellaire ce qui rend son circuit de pâturage différent d'année en année. Son circuit de pâturage en figure 6 correspond à celui de l'année 2023 et 2024. Comme le Berger 1, il se déplace toute l'année sur des terres mises à disposition par des propriétaires privés et le conservatoire du littoral. Son choix s'est porté de ne pas pâture sur des parcelles communales, pour se détacher des décisions politiques, aux risques de perdre des terres. Suite à la description de la stratégie pastorale du Berger 3, nous ne retiendrons que son pâturage hivernal dans les vignes car c'est la seule stratégie qui est applicable sur la Clape. Nous n'avons pas recensé de zone humide sur le massif pour un éventuel pâturage estival ni de parc solaire pour modéliser l'écopâturage. Nous appellerons cette stratégie, la stratégie **vigne**.

De la même manière que le Berger 3, le Berger 4 ne pâture pas sur le massif de la Clape. Il pâture entre l'Aude et l'Hérault, au pied de la Montagne Noire. En hiver, le berger et son troupeau pâture dans les vignes et sur des parcelles de luzernes sur une commune audoise. Dès le début du printemps, au débouillage des vignes, le berger remonte sur la commune du siège d'exploitation. A cette même période la ressource redevient disponible en altitude. A l'arrivée de la saison estivale, le troupeau se rend en estive, sur la Montagne Noire. En été, la ressource est plus abondante en haute altitude grâce au climat propice à la croissance de l'herbe, alors qu'à plus basse altitude, elle n'est plus disponible à cause du pâturage et de la sécheresse. Le berger est propriétaire de 1 ha et pâture sur une surface totale de 264 ha. Les parcelles pâturées appartiennent à des propriétaires privés avec lesquels le berger passe des accords oraux. Elles peuvent également appartenir à des communes ou l'ONF, dont l'accord de pâturage est fourni par des conventions de pâturage. Le Berger 3 est un berger itinérant comme le Berger 1 cependant il se différencie des trois autres bergers en suivant la ressource en fonction de l'altitude. Ainsi nous qualifions cette stratégie d'**altitudinale**.

Pour la suite de l'étude, nous ne conservons pas cette stratégie qui n'est pas applicable sur le massif de la Clape, malgré le pâturage dans les vignes l'hiver car le berger pâture également des cultures. En effet aucune culture, hormis les cultures pérennes, n'est présente sur la Clape. De plus, le massif de la Clape n'a pas la même altitude qu'un massif de la Montagne Noire ou même pyrénéen. La Clape reste en zone de plaine puisque, pour rappel, il ne culmine qu'à seulement 214 m d'altitude.

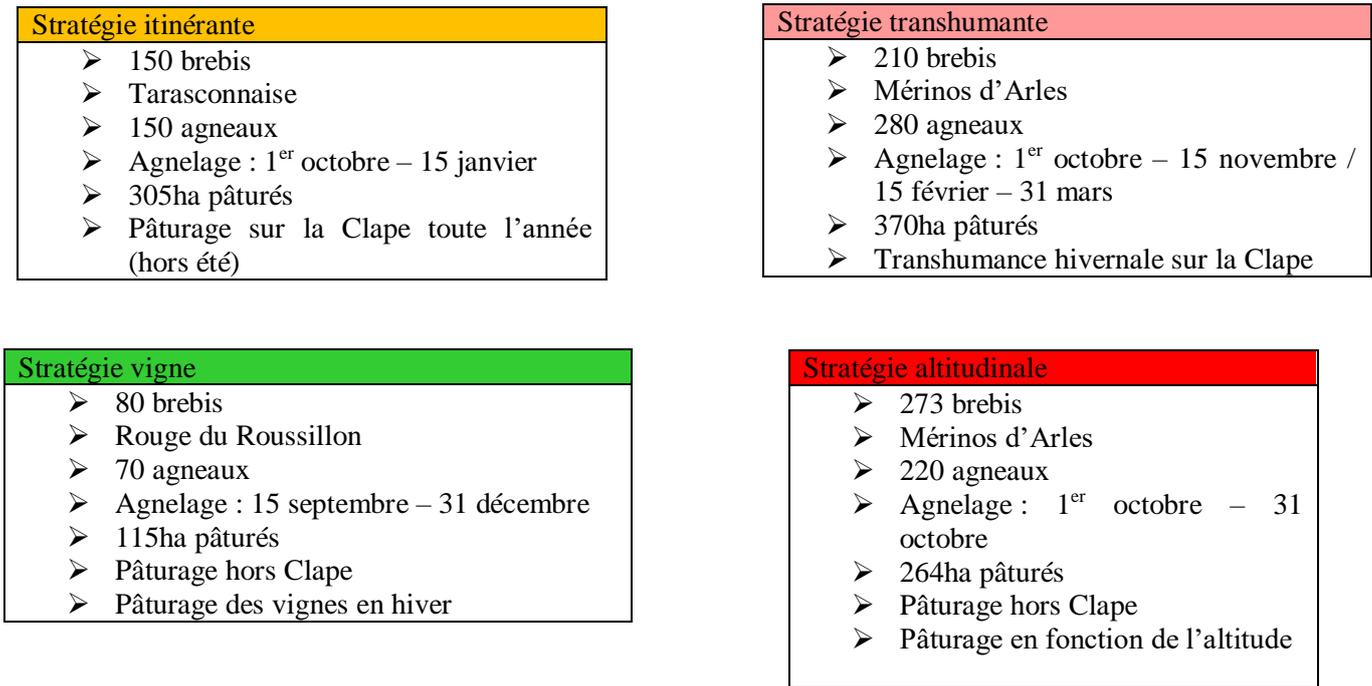
Bergers	Département	Pâturage sur la Clape	Surface pâturée (ha)	Localisation des îlots pâturés	Carcatéristiques de l'îlot	Similitude du circuit de pâturage d'année en année	Si non, pourquoi	Espaces pastoraux collectifs	période	Clôtures	Gardiennage
Berger_01	11	oui	305	Fleury d'Aude (1)	Garrigues	non	Dépend de la disponibilité des parcelles	oui	15 juin - 1er octobre	oui	oui
				Fleury d'Aude (2)	Pelouse						
				Salles d'Aude	Friches						
				Vinassan	Garrigues						
Berger_02	9	oui	370	Armissan	Garrigues	Première année de pâturage sur la Clape	/	oui	20 juin - 20 septembre	non	oui
				Gruissan	Pré salé						
Berger_03	11	non	115	Sigean (1)	Domaine viticole	non	Agrandissement du troupeau depuis trois ans donc nouveaux îlots chaque année	non	/	oui	non
				Sigean (2)	Zone Humide						
				Sigean (3)	Parc autour de l'exploitation: pelouse et affouragement						
				Roquefort-des-Corbières	Parc solaire						
				La Palme	Parc solaire						
Berger_04	34	non	264	Laure-Minervois	Domaines viticoles et cultures de luzerne	oui	/	oui	1er juillet - 30 septembre	oui	oui
				Lespinassière	Estive						
				Félines-Minervois	Garrigues						
				Trausse	îlot pour une halte lors de la transhumance entre Laure-Minervois et Félines-Minervois						

Figure 8: Calendrier de pâturage des enquêtes

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Berger_01	Salles d'Aude	Vinassan	Armissan	Fleury d'Aude (1)	Fleury d'Aude (2)	Estive			Fleury d'Aude (3)			
Berger_02	Gruissan	Narbonne	Appy			Estive			Appy		Gruissan	
Berger_03	Sigean (1)			La Palme	Roquefort-des-Corbières		Sigean (2)		Sigean (3)			
Berger_04	Laure-Minervois		Trausse	Félines-Minervois			Lespinassière		Félines-Minervois	Laure-Minervois		

Tableau 7: Données d'enquête concernant le pâturage des bergers

Les stratégies des bergers enquêtés sont résumées dans la Figure 9.



**Figure 9: Résumé des stratégies de bergers enquêtés**

### 3.2. Description du modèle conceptuel

Après l'étape d'analyse des enquêtes, vient l'étape de la conceptualisation des données d'enquêtes ainsi que de données bibliographiques.

#### 3.2.1. Conceptualisation des calendriers de troupeau des bergers

Dans la partie 3.1.1, nous avons construit le calendrier de troupeau des bergers enquêtés. Dans cette partie, nous vérifions les différentes dates données par les bergers, c'est-à-dire vérifier la concordance de l'intervalle de temps entre la lutte et l'agnelage soit d'au moins cinq mois. Ensuite à partir du nombre de quinzaine de la période d'agnelage, des lots de brebis sont créés. Pour les agneaux, des lots sont créés à partir du nombre de quinzaine durant la période de vente des agneaux. A partir de ces lots, les différentes dates sont réadaptées. Pour finir, les périodes du Rami Pastoral viennent implémenter les calendriers.

D'après les données du **Berger itinérant**, l'intervalle de temps entre la lutte et l'agnelage est respecté. D'après le calendrier ci-dessous, on décompte huit quinzaines de lot. Le berger possède un troupeau de 150 brebis soit huit lots d'environ :  $150 / 8 = 19$  brebis. La période de lutte n'étant composée seulement de six quinzaine mois, elle est allongée jusqu'au 15 août pour correspondre avec la période d'agnelage et les lots (Figure 10).

Saison	Hiver		Début Printemps	Printemps			Été			Automne		Fin Automne
Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Calendrier du troupeau												

**Figure 10: Calendrier du troupeau itinérant du modèle conceptuel**

Pour les agneaux, on compte 15 quinzaines durant la période de vente des agneaux soit 15 lots de :  $150 / 15 = 10$  agneaux.

Pour le **Berger transhumant**, les dates d'agnelage et de lutte respectent les cinq mois pour les deux lots. Les deux périodes d'agnelage comprennent au total huit quinzaines. Ainsi les huit lots sont composés d'environ :  $210 / 8 = 26$  brebis. La période lutte du premier lot a été prolongée jusqu'au 15 juin et jusqu'au 31 octobre pour le deuxième afin de correspondre à la période d'agnelage (Figure 11).

Saison	Hiver		Début Printemps	Printemps			Eté			Automne		Fin automne
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Calendrier du troupeau												

Figure 11: Calendrier du troupeau transhumant du modèle conceptuel

Concernant les agneaux, une modification a été apportée au calendrier. En effet, la période de vente des agneaux du premier lot a été décalée à début mars pour respecter les deux mois d'engraissement. Au cours des deux périodes de vente des agneaux, on comptabilise 6 quinzaines, soit 6 lots d'agneaux de :  $280 / 6 = 47$  agneaux.

La période d'agnelage du **Berger pâturant dans les vignes** a été décalée au 15 octobre car l'intervalle de temps entre la lutte et l'agnelage était inférieur à 5 mois. Elle est découpée en six quinzaines soit six lots de brebis. Un lot est composé d'environ :  $80 / 6 = 13$  brebis. La période de lutte se prolonge ainsi jusqu'au 31 juillet (Figure 12).

Saison	Hiver		Début Printemps	Printemps			Eté			Automne		Fin Automne
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Calendrier du troupeau												

Figure 12: Calendrier du troupeau vigne du modèle conceptuel

La période d'engraissement s'étend sur 7 quinzaines pour donner lieu à 7 lots de :  $70 / 7 = 10$  agneaux.

### 3.2.2. Calcul des besoins

Suite à la conceptualisation des calendriers de troupeau de chacun des bergers, les besoins ont été calculés par quinzaine pour chaque lot de brebis et agneaux en fonction de leur stade physiologique. Pour rappel les besoins sont calculés à partir des références du Rami Pastoral qui donne le besoin des brebis en fonction du stade physiologique, par race et niveau de production de la brebis (Tableau 8). Le calendrier des besoins par quinzaine pour chaque stratégie est détaillé dans l'Annexe 2 pour la stratégie itinérant, l'Annexe 3 pour la stratégie transhumant et l'Annexe 4 pour la stratégie vigne. Le reprend les besoins des troupeaux par périodes.

Races	PV adulte	Catégorie	Niveau de production	entretien	début milieu de gestation	fin de gestation	mises bas	début de lactation	fin de lactation	ovins < 6 mois
Mérinos d'Arles	55	Brebis allaitante	1-1,5 agneaux/mère/an	1,7	1,7	1,9	2	2,2	2	-
		Agneau d'engraissement	-	-	-	-	-	-	-	0,9
		Coefficient		1	1	1	1,2	1,3	1,2	0,45
Rouge du Roussillon	65	Brebis allaitante	<1 agneaux/mère/an	1,9	1,9	1,9	2,1	2,3	2,1	-
		Agneau d'engraissement	-	-	-	-	-	-	-	1,1
		Coefficient		1	1	1	1,1	1,2	1,1	0,45
Tarasconnaise	60	brebis allaitante	1-1,5 agneaux/mère/an	1,8	1,8	2	2,2	2,4	2,2	-
		Agneau d'engraissement	-	-	-	-	-	-	-	1
		Coefficient		1	1	1	1,2	1,3	1,2	0,45

**Tableau 8: Besoins des brebis par race, stades physiologiques et productivité**

Stratégies	Hiver	Début Printemps	Printemps	Eté	Automne	Fin Automne
Stratégie itinérant	21450	10263	28566	23241	18105	14991
Stratégie transhumant	28994	13565	38790	36389	24758	17940
Stratégie vigne	12372	6786	20142	13590	9048	7614

**Tableau 9: Besoins totaux des troupeaux par période (kg de MS)**

### 3.2.3. Conceptualisation des surfaces pâturées par les bergers

Grâce à l'identification des îlots pâturés lors des enquêtes, nous avons créé les cartes d'occupation du sol 2021 de ces îlots pour chaque berger avec le logiciel Qgis (Annexe 5). Les périodes de pâturage des enquêtes ont été ramenées aux périodes utilisées dans le Rami Pastoral. De nouveaux îlots ont été créés lorsque deux îlots sont pâturés durant une même période.

Le **Berger itinérant** a mentionné qu'il pâturait six îlots sur la Clape tout au long de l'année. Hors avec le passage aux périodes du Rami Pastoral, les deux îlots de janvier et février ont fusionné ainsi que les îlots de mai et juin. A noter également, qu'en automne et fin automne, le **Berger itinérant** pâture sur un seul îlot (Figure 13). Quatre îlots sont à présent pâturés par le berger itinérant.

Stratégies	Saison	Hiver		Début Printemps	Printemps			Eté			Automne			Fin Automne
	Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
Stratégie itinérante	N° îlot pâturé	1		2	3						4			

**Figure 13: Calendrier de pâturage du berger itinérant du modèle conceptuel**

Le **Berger transhumant** pâture deux îlots: un îlot sur Gruissan du 15 décembre au 15 janvier et un deuxième sur la Clape du 15 janvier au 15 février. Pour les simulations, nous considérerons que le **Berger transhumant** pâture sur la Clape en fin d'automne et en hiver (Figure 14).

Stratégies	Saison	Hiver		Début Printemps	Printemps			Eté			Automne		Fin Automne
	Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Stratégie transhumante	N° îlot pâturé	2											1

**Figure 14: Calendrier de pâturage du berger transhumant du modèle conceptuel**

Enfin, pour le **Berger pâturant dans les vignes**, il pâture un seul îlot sur deux périodes, hiver et début printemps (Figure 15). Sur la carte en Annexe 5, on peut se rendre compte qu'il ne pâture pas seulement de la vigne mais également de la forêt et des landes. Mais cette conformation peut faire également partie de la stratégie pâturage dans les vignes selon Napoléone et al. en 2021, qui parle de redéploiement de projets pastoraux dans les vignes en plaine, en complément dans les milieux pastoraux. Lors des simulations, le Berger « vigne » pâture sur la Clape.

Stratégies	Saison	Hiver		Début Printemps	Printemps			Eté			Automne		Fin Automne
	Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Stratégie vigne	N° îlot pâturé	1											

**Figure 15: Calendrier de pâturage du berger vigne du modèle conceptuel**

### 3.3. Description du simulateur

Cette partie vise à lister toutes les données de configuration du simulateur. Ces données proviennent à la fois du modèle conceptuel décrit précédemment et des données de référence provenant du Rami Pastoral (Farrié et al. 2015).

Les agents représentés correspondent aux trois types de bergers avec leur troupeau : itinérant, transhumant et vigne. Chaque troupeau est configuré avec un nombre de brebis et d'agneaux et un besoin qui évolue en fonction du statut des brebis à chaque pas de temps (Tableau 10). A chaque période, les troupeaux consomment la quantité de ressource dont ils ont besoin (Tableau 10). Dès qu'une parcelle est pâturée et que les besoins ne sont pas couverts alors le troupeau se rend sur une autre parcelle environnant la précédente.

Stratégies	Saisons du Rami Pastoral	Hiver	Début printemps	Printemps	Eté	Automne	Fin automne
Stratégie itinérante 	Nombre de brebis	150	150	150	150	150	150
	Nombre d'agneaux	25	40	40	34	3	0
	Besoins (kg de MS)	21 240	10 263	28 566	23 241	18 105	14 991
Stratégie transhumante 	Nombre de brebis	210	210	210	210	210	210
	Nombre d'agneaux	106	70	47	140	36	0
	Besoins (kg de MS)	28 994	13 575	38 790	36 389	24 758	17 940
Stratégie vigne 	Nombre de brebis	80	80	80	80	80	80
	Nombre d'agneaux	35	65	68	30	0	3
	Besoins (kg de MS)	12 372	6 786	20 142	13 590	9 048	7 614

**Tableau 10 : Données d'entrée des troupeaux du simulateur**

Les données spatiales du Massif de la Clape OSO 2021 (cf 2.4.3) sont utilisées pour spatialiser les parcelles et les occupations du sol (Annexe 6). Cette dernière est transférée dans le logiciel de simulation pour servir de support de déplacement des troupeaux au moment des simulations. Les troupeaux représentent les agents du simulateur.

Le pas de temps de la simulation est la saison du Rami Pastoral. Pour une année simulée (Annexe 7), le comportement des bergers est le suivant:

- **Hiver** : En début d'année, en hiver, tous les bergers sont présents sur la Clape. Les troupeaux se placent aléatoirement sur une parcelle et construisent leur îlot de pâturage autour en fonction de la disponibilité de la ressource.
- **Début printemps** : A la saison suivante, au début du printemps, le troupeau du **Berger transhumant** sort du territoire (considéré comme en dehors de la simulation). Pour les deux autres troupeaux, ils choisissent de nouvelles parcelles afin de constituer leur nouvel îlot de pâturage.
- **Printemps** : A l'arrivée du printemps, uniquement le **Berger itinérant** pâture sur le territoire. Le **Berger pâturant dans les vignes** a rejoint le **Berger transhumant** hors du territoire. A noter une nouvelle fois, le changement d'îlot du troupeau du **Berger itinérant**.
- **Eté** : L'été, aucun berger ne pâture sur le massif de la Clape.

- **Automne** : En automne, le **Berger transhumant** revient sur la Clape. Il construit son îlot de pâturage.
- **Fin automne** : Pour finir, en fin d'automne, le troupeau du **Berger transhumant** rejoint le territoire.

A la fin d'une simulation, le simulateur exporte des données de sorties. Il exporte, pour chaque berger et chaque saison, la surface pâturée par occupation du sol (ha), la quantité de biomasse disponible par parcelle pâturée (kg de MS), la carte des parcelles pâturées, les besoins des animaux et le nombre d'animaux par stade physiologique. Avec ces données de sorties, les indicateurs de vérification du simulateur peuvent être calculés.

### 3.4. Comparaison des indicateurs de vérification du modèle conceptuel et du simulateur

Le simulateur peut à présent lancer des simulations. L'étape suivante est de vérifier que le modèle permet de représenter des situations proches de la réalité. Pour cela, les données d'enquêtes et de sorties du modèle sont comparées au travers d'indicateurs. 15 réplifications ont été réalisées pour chaque simulation et chaque donnée de sortie correspond à la moyenne de ces réplifications. La description et l'analyse des résultats suivants sont la comparaison des données issues du modèle conceptuel ainsi que de la moyenne des données des réplifications.

Tout d'abord, commençons par une comparaison des superficies des îlots pâturés. La Figure 16 est un graphique superposant les superficies (en ha) des îlots pâturés d'après les enquêtes et lors des simulations par période et stratégie. Les cartes des îlots pâturés par période lors des simulations sont en Annexe 8.

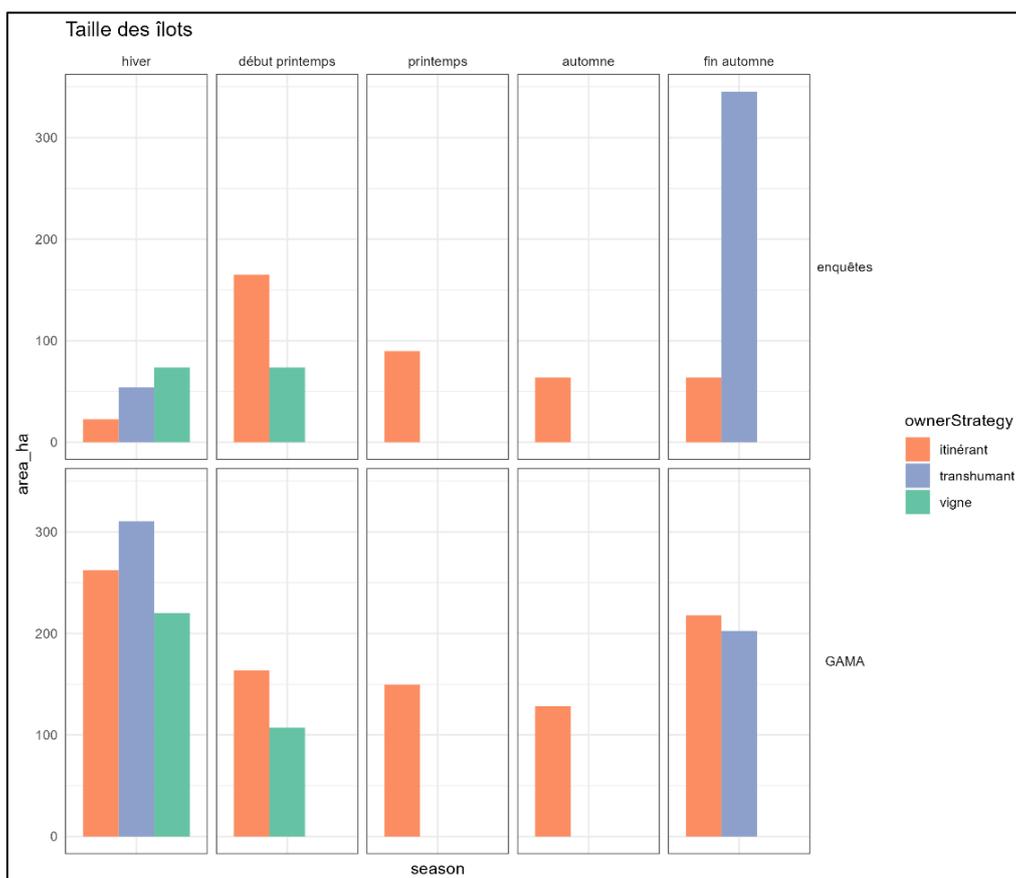
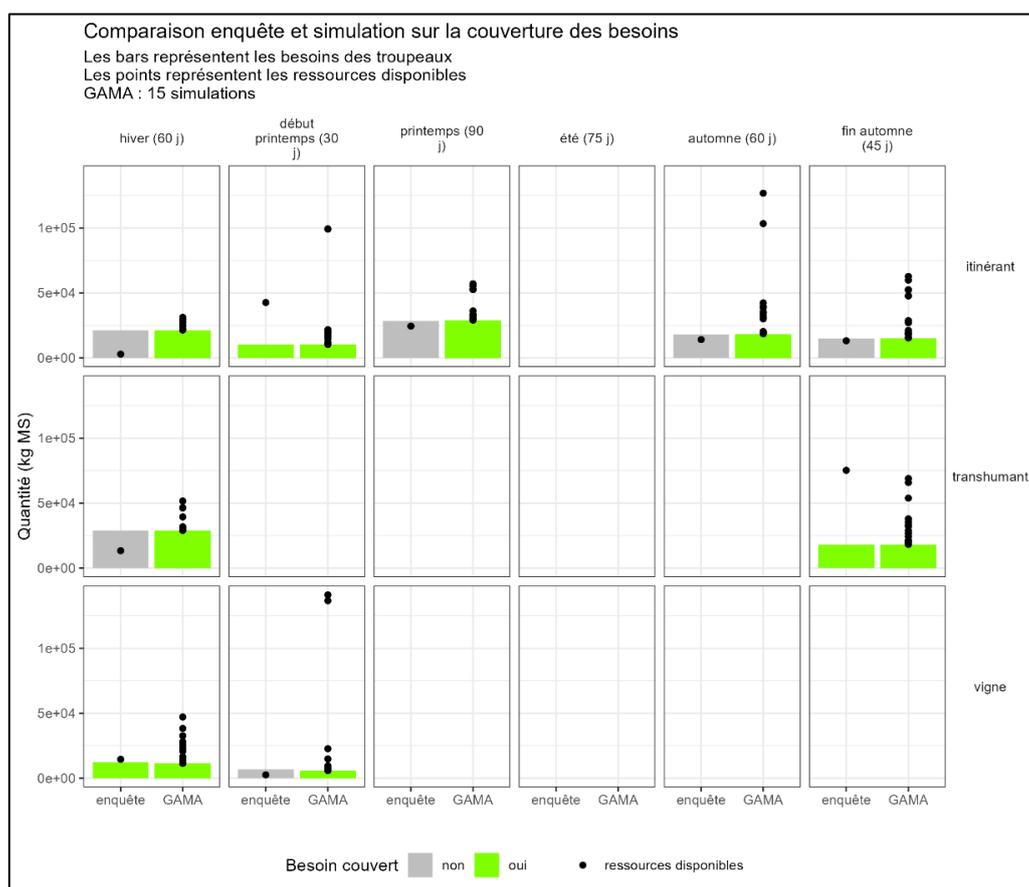


Figure 16: Graphique de la surface (ha) des îlots pâturés par les bergers lors des enquêtes et des simulations

- En hiver : la superficie moyenne des îlots pâturés dans les simulations est largement supérieure à la superficie des îlots des enquêtes pour les trois stratégies.
- Au début du printemps : les îlots des simulations et des enquêtes sont de même superficies pour la stratégie itinérante. Concernant la stratégie vigne, les îlots du simulateur sont plus grands que celui des enquêtes.
- Au printemps et à l'automne : la superficie des îlots pâturés par le berger itinérant lors des simulations est supérieure à la superficie des îlots issus de l'enquête (+ 40% et 50%).
- En fin d'automne : la stratégie itinérante pâture dans le simulateur des îlots d'une surface moyenne largement supérieure comparée à celui de l'enquête (+ 60%). Pour le berger transhumant l'îlot de l'enquête est plus grand que celui des simulations (+ 43%).

La Figure 17 représente le graphique de la couverture des besoins. Pour les simulations, à chaque saison, les besoins sont toujours couverts. En effet, dans le simulateur, les troupeaux cherchent des parcelles qui ont une quantité de ressource suffisante pour former un îlot qui couvre leurs besoins et ne sont pas limités pour l'accès aux parcelles. C'est pour cette raison que les îlots des simulations sont plus grands que les îlots des enquêtes car les troupeaux pâturent plus de surfaces pour couvrir leur besoin. Certains îlots des enquêtes ne sont pas assez grands pour fournir suffisamment de ressources pour couvrir les besoins théoriques des troupeaux.

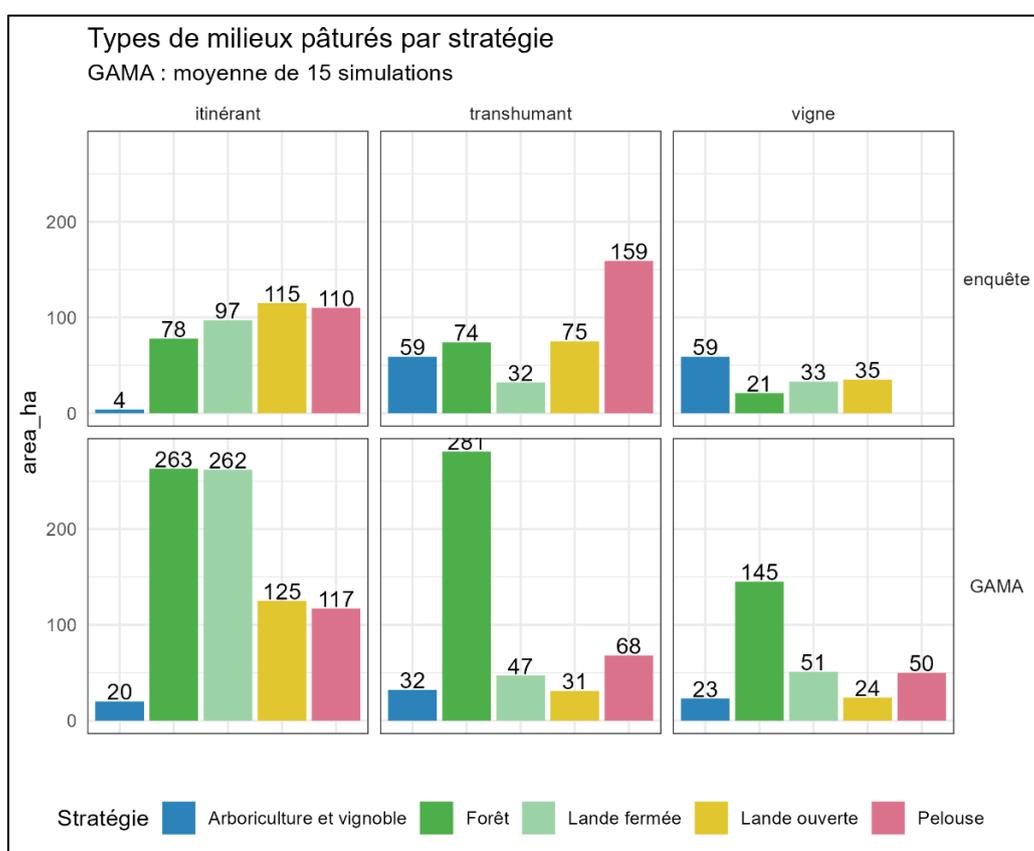


**Figure 17: Graphique de la couverture des besoins et de la quantité de ressource disponible (kg de MS)**

Toujours sur le graphique de la couverture des besoins, la quantité de ressource disponible (kg de MS) pour chaque îlot est représentée. Les îlots de **grande superficie** peuvent fournir de la **ressource en grande quantité** pour couvrir largement les besoins des animaux. A contrario, certains îlots sont de grandes tailles et la ressource disponible couvre juste suffisamment les besoins. Des îlots sont composés

de milieux qui fournissent **peu de ressource** durant les périodes de pâturage et ce manque de ressource est compensé par **une surface plus importante**.

La Figure 18 illustre la répartition des milieux pâturés sur une année (en ha) par les trois stratégies. Le milieu majoritairement pâturé par les bergers lors des simulations est la forêt. D'après la Figure 19, détaillant les milieux pâturés par période, la forêt est pâturée en hiver et fin automne, au moment de ses périodes de disponibilité. Le graphique en Annexe 9, issu de la carte OSO 2021, montre la répartition des surfaces sur le territoire de Clape. La forêt ressort comme étant le milieu le plus présent sur le massif de la Clape. 53% de la surface de la Clape est couverte par la forêt. Or, après discussion avec la chargée de mission agriculture du PNR de la Narbonnaise (25 août 2023), la surface totale des forêts serait surestimée, et représenterait en réalité au moins la moitié de la surface trouvée. Cette erreur proviendrait d'un mauvais classement des niveaux de catégories de sol de la carte OSO 2021. Des milieux ont été considérés comme étant des forêts alors qu'ils rentrent dans la catégorie landes fermées. D'après la chargée de mission du PNR, les landes fermées sont plus difficiles d'accès que les forêts, limitant ainsi la disponibilité de la ressource.



**Figure 18: Graphique de la surface pâturée par type de milieu sur une année par les trois stratégies (ha)**

Pour la stratégie itinérante, la superficie moyenne de l'ensemble des milieux a augmenté lors des simulations : + 80% pour la vigne, + 70% pour la forêt, + 63% pour les landes fermées, + 8% pour les landes ouvertes et + 6% pour les pelouses. Le berger itinérant est le berger qui reste **le plus longtemps** sur la Clape (285 jours). De plus, avec **l'augmentation de la surface** des îlots pâturés, la surface des milieux pâturés augmente.

Des milieux sont **moins pâturés** dans les simulations du berger transhumant. La surface des vignes, des landes ouvertes et des pelouses a diminué. Le berger transhumant pâture sur les deux périodes de **disponibilité de la ressource** en forêt et malgré le **placement aléatoire** des troupeaux sur la carte, avec

**une forte présence** de ce milieu sur la Clape, le troupeau a une probabilité plus élevée de se rendre sur les **forêts**.

Pour le berger pâturant dans les vignes, la surface de **vignes** pâturées a diminué, alors que sa stratégie est définie par le pâturage des vignes. En effet, le berger pâture dans les vignes en hiver et au début du printemps. Hors **le simulateur ne fait pas pâturer** les vignes au début du printemps, diminuant ainsi la surfaces des vignes. La **pelouse** apparaît dans les milieux pâturés des simulations alors que ce milieu n'est pas pâturé d'après les enquêtes. Ceci s'explique par le choix de modélisation de rendre le **placement aléatoire** du berger sur le massif et le **déplacement du troupeau** au sein d'un îlot en fonction de la ressource disponible.

En résumé, avec la couverture systématique des besoins lors des simulations, les îlots ont une surface plus élevée que les îlots définis à partir des enquêtes. La quantité de ressource des îlots dépend, indépendamment, de la disponibilité de la ressource par période du Rami Pastoral et de la surface et composition des îlots en termes de milieu. La répartition des milieux dans les îlots dépend, inversement, de la disponibilité de la ressource par période ainsi que du placement aléatoire des troupeaux sur la Clape.

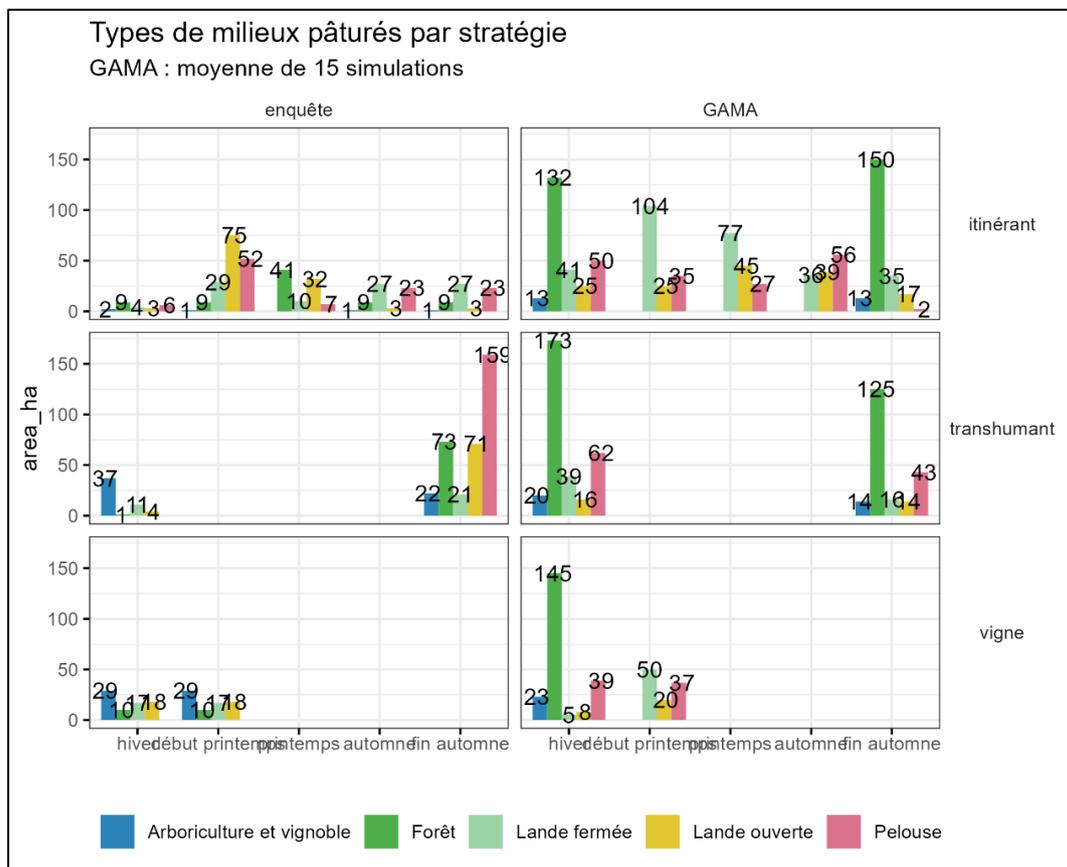


Figure 19: Graphique de la surface pâturée par type de milieux par saison et stratégie (ha)

## 4. Discussion

### 4.1. Limites du modèles

#### 4.1.1. Limites et perspectives du modèle biophysique

Les données de références du Rami Pastoral ont été utilisées tout au long de la construction du modèle et du simulateur pour plusieurs raisons. Il a permis d'attribuer des périodes et besoins aux troupeaux par stades physiologiques. Lors des enquêtes les bergers n'ont mentionné que les périodes d'agnelage, de lutte et d'abattage des animaux. Pour le reste des stades physiologiques, le calendrier de troupeau a été divisé en quinzaine de jours afin d'estimer leur période. Cela nous a amené à créer des lots fictifs de brebis et à faire des approximations sur les périodes des stades physiologiques. En réalité, les brebis n'ont pas une telle répartition de stades physiologiques. L'évolution et la répartition des stades physiologiques dépendent de plusieurs facteurs comme la génétique ou la fécondation de la brebis.

Les quantités de ressources disponibles du Rami Pastoral ont conduit à simplifier les calendriers de pâturage. La surface totale des îlots par période a été déterminée afin de calculer leur quantité de ressource. Dans les enquêtes, plusieurs îlots étaient pâturés durant une même période. Il a été choisi de regrouper ces îlots. Cependant, certains îlots ne sont pas pâturables physiquement en même temps car la distance entre eux est trop importante. Le choix de modélisation par saison a abouti à une simplification du calendrier, et a abouti à des simulations éloignées de la réalité

La table de la disponibilité de la ressource par type de milieux pâturé suit les saisons du Rami Pastoral et varie en fonction de son utilisation, soit le pâturage dans notre cas. Il donne également la ressource disponible d'un milieu pouvant être pâturé à plusieurs reprises sur une année. Cependant, le Rami Pastoral ne fournit aucune donnée sur l'effet du pâturage sur les quantités de ressource d'une année à l'autre, contraignant ainsi les simulations sur une année. Afin de simuler des scénarios sur plusieurs années, des experts peuvent apporter des informations complémentaires afin de déterminer un coefficient lié à l'effet du pâturage sur la disponibilité de la ressource d'une année à l'autre.

Peu de références existent sur les ressources pâturables comme la vigne. Le diagnostic sur le domaine viticole nous a amené à faire des approximations sur les périodes d'accès aux ressources dans les vignes, en limitant leurs utilisations sur seulement deux périodes, fin automne et début printemps. La période de pâturage peut être rallongée de fin octobre à fin mars, en fonction de la période de débourrement (Marty, s.d.). Des expertises, comme celles réalisées pour la Pastothèque (Dodier et al. 2023), reste à effectuer pour déterminer la quantité de ressource réellement disponible par période, en fonction des pratiques des viticulteurs sur leur vigne, la composition de l'enherbement des vignes.

De nouvelles techniques de détection de la biomasse ont vu le jour comme la télédétection Sentinel-2 (Dusseux et al. 2021). Avec l'acquisition de données tous les cinq jours, cette technique permettrait de déterminer la quantité de ressource à une échelle de temps plus fine, permettant ainsi d'affiner notre simulateur. En récupérant des données de biomasse disponible sur la Clape d'années antérieures, une base de données pourrait être créée. La base de données serait complétée par des données météorologiques pour caractériser une année « sèche », une année « humide » et une année « normale ». Ainsi cette base donnée anticiperait la ressource disponible en fonction du climat. Cette technique permettrait également de déterminer les milieux réellement disponibles par saison. L'inconvénient de cette méthode est que Sentinel-2 n'inclut pas l'effet des pratiques sur la quantité de ressource disponible. Elle doit être également alimentée par des expertises sur l'effet des pratiques (pâturage ou fauche) sur les quantités de biomasse. Pour la vigne, le berger avec une stratégie vigne pâture les vignes en hiver et au début du printemps. Le berger reste vigilant sur le débourrement, prévu en avril (Deloire, Pellegrino 2022), afin que les brebis ne consomment pas les feuilles. Or il a été considéré qu'au début du printemps, les vignes ne sont pas accessibles, diminuant ainsi l'accès à des milieux pâturables et la quantité de ressource disponible.

#### 4.1.2. Critiques des choix de données d'entrée et d'implémentation du modèle

Pour les enquêtes, il a été choisi de privilégier la diversité de berger à la quantité de bergers enquêtés. Pour cela, deux bergers pâturant sur des territoires différents ont été enquêtés. La stratégie altitudinale n'a pas été conservée pour sa représentation sur le massif de la Clape. La stratégie vigne a été conservée et représentée sur la Clape. Cette stratégie de berger n'a pas été définie sur la Clape, impliquant ainsi des différences d'indicateurs de vérifications entre les enquêtes et les simulations.

Lors de la construction du modèle conceptuel, de nombreuses simplifications ont été apportées aux circuits de pâturage, ne représentant pas les boucles de pâturage réelles des bergers. Les stratégies pastorales avaient pour but de définir une boucle de pâturage par berger, qui aurait permis de modéliser le déplacement des troupeaux. Les bergers ont précisé lors des enquêtes qu'un circuit de pâturage type n'existait pas. C'est pour cela qu'il a été choisi de faire pâturer les troupeaux en fonction des ressources disponibles. La raison de ces différences est **l'accès aux parcelles**. Il peut arriver qu'un propriétaire donne accès à ses parcelles une année et refuse l'accès l'année suivante. Cela peut arriver notamment lorsqu'un accord oral est passé entre berger et propriétaire. Rien ne stipule un pâturage à long terme des parcelles, fragilisant ainsi le foncier pâturé. Ce cas de figure peut arriver si le propriétaire souhaite simplement faire nettoyer la parcelle par le troupeau pour un futur usage ou alors lorsque des conflits apparaissent entre le berger et le propriétaire. Les bergers ayant pour objectif d'agrandir leur troupeau n'ont également pas de circuit de pâturage type car ils agrandissent simultanément leur parcellaire. Le berger vigne est installé depuis seulement trois ans et cherche à agrandir son troupeau. Cette année, le berger a récupéré des îlots pour l'année prochaine qui ont intégré son circuit de pâturage représenté dans le modèle. Pour les autres bergers les circuits de pâturage sont issus de l'année dernière.

Afin de déterminer un circuit de pâturage type par berger, un suivi des parcelles pâturées peut être réalisées sur plusieurs années pour déterminer des îlots avec des compositions de milieux les plus pâturés par période. Une autre méthode pour déterminer un circuit type serait de recenser toutes les parcelles pâturées sous contrat de pâturage à long terme (bail rural ou convention de pâturage) pour construire une boucle de pâturage. Malheureusement cette méthode diminue la surface totale de pâturage car de nombreuses parcelles pâturées sont sous accords oraux.

Pour le fonctionnement du modèle multi-agents, des choix d'implémentation ont été définis notamment pour le déplacement des troupeaux. Les troupeaux sont placés aléatoirement sur la Clape et se déplacent en fonction de la ressource disponible autour de la parcelle de départ. Aucune contrainte d'accès n'est définie dans l'implémentation du modèle à part la disponibilité de la ressource. En réalité les parcelles appartiennent à des propriétaires. C'est pour cela qu'une phase de discussion doit avoir lieu avec des experts de la gestion du territoire ou directement avec des propriétaires privés pour vérifier réellement la disponibilité des parcelles. La discussion peut avoir lieu avec le PNR de la Narbonnaise concernant la gestion du territoire et avec des viticulteurs pour les propriétaires. Les vignes sont une opportunité pour les bergers et elles sont fortement présentes sur la Clape (Annexe 9).

La Carte OSO 2021 a été utilisée comme support de déplacement des troupeaux dans le simulateur. Comme mentionné dans la partie résultat 3.4, la surface en forêt est surestimée suite à un mauvais calibrage des milieux, faussant ainsi les quantités de ressources disponibles par période. De plus, les données 2021 sont anciennes et des milieux ont sûrement évolué vers un autre type de milieu. Par exemple, des landes ouvertes sont devenues des landes fermées, ou encore, des pelouses sont devenues des landes ouvertes. Une nouvelle carte de la Clape a été mise à jour avec des méthodes de télédétection à partir d'image satellitaire. Une fois la carte créée, celle-ci a été vérifiée directement sur le massif de la Clape pour apporter des précisions sur la caractérisation de certaines parcelles. Ainsi cette nouvelle carte est précise et donc plus fiable pour être utilisée dans le modèle et des mises à jour peuvent être faites d'une année à l'autre grâce aux images satellites.

## 4.2. Des scénarios de simulations pour répondre aux enjeux du territoire

L'objectif final du modèle multi-agents est en effet de pouvoir simuler des scénarios répondant aux enjeux du massif de la Clape. Pour rappel, les enjeux sont de lutter contre l'embroussaillage et de pérenniser l'activité pastorale sur la Clape.

Pour le premier enjeu, l'entretien des forêts et des landes fermées sur le massif apparaît comme une priorité d'après la chargée de mission agriculture du PNR de la Narbonnaise. En modifiant l'implémentation du modèle sur l'accès aux ressources, **un scénario entretien du territoire** peut alors être créé. Au moment, des disponibilités de la ressource en forêt ou sur landes fermées, une priorisation d'accès à ces milieux peut avoir lieu avec une probabilité d'accès plus importante sur les forêts ou les landes fermées. Pour les pelouses et les landes ouvertes l'enjeu est de les maintenir à leur stade. Ainsi de la même manière que les forêts et les landes fermées, au moment de la forte disponibilité de la ressource sur les pelouses et les landes ouvertes, le pâturage doit être priorisé sur ces deux milieux. Pour avoir un effet positif sur l'entretien des milieux, le chargement UGB/ha doit être compris entre 3 et 6 UGB/ha (Rouhet 2018). En fonction de la capacité d'accueil des îlots, le nombre d'animaux par troupeau doit être adapté de sorte que le chargement UGB/ha soit compris dans cet intervalle.

Pour constater l'impact du pâturage des troupeaux sur la réouverture des milieux, l'objectif serait de lancer des simulations sur plusieurs années et de constater l'effet du pâturage sur l'ouverture des milieux. Les données manquantes pour ce scénario sont les données sur les ressources disponibles, sur plusieurs années, tenant compte de l'effet du pâturage sur la disponibilité de la biomasse.

D'après le PNR et les bergers, les viticulteurs de la Clape sont de plus en plus demandeurs du pâturage des troupeaux dans les vignes, dans l'intérêt de réduire le coût des intrants en diminuant le désherbage mécanique et l'utilisation d'engrais synthétiques. Un **scénario pâturage dans les vignes** peut être envisagé. Ici l'intérêt serait de connaître le potentiel d'accueil de troupeaux dans les vignes de la Clape, durant leur période pâturage, en fonction de la ressource. Le point de vigilance du pâturage des vignes est la période de débourrement. Le débourrement des vignes dépend à la fois du climat et du cépage (Garcia de Cortazar Atauri I. et al., s.d.). Grâce à l'implémentation du modèle avec la méthode Sentinel-2, le débourrement peut être anticipé car il est capable de capter la pousse des feuilles de vigne.

Les variabilités climatiques d'une année à l'autre, ont un impact sur la quantité de ressource disponible. Dans un objectif d'anticiper des situations de manque ou d'abondance de ressources, l'idée serait de simuler les différents scénarios sur des années propices à la pousse de la biomasse et inversement, peu propice, enfin d'adapter la gestion de la ressource. Les simulations sur différentes années climatiques permettraient par exemple de diminuer la pression du pâturage lors d'une année « sèche » ou de l'augmenter lors d'une année « humide ».

## 4.3. Généricité du modèle

Les résultats en sortie de modèle sont en grande partie dépendants de la carte OSO. Ainsi pour utiliser le modèle sur un autre territoire, la première modification à apporter au modèle est la carte OSO du nouveau territoire d'étude. Ensuite, à l'aide des données d'enquêtes des bergers du territoire, des stratégies de bergers pourraient être définies. Ces stratégies configureront par la suite les données d'entrées des troupeaux du modèle multi-agents. Grâce aux données références du Rami Pastoral adaptées aux systèmes pastoraux français (Farrié et al. 2015), les besoins et les quantités de ressource par période sont déjà configurées.

Après les enquêtes, trois stratégies sur quatre ont été choisies pour intégrer le modèle conceptuel et multi-agents, étant jugées comme applicable au massif de la Clape.

La quatrième stratégie, pour rappel, n'a pas intégré les modèles car le berger suit la ressource en fonction des strates altitudinales alors que le massif de la Clape est une zone de plaine. La deuxième raison était qu'il pâture des cultures fourragères, comme la luzerne, en hiver. Hors les cultures fourragères ou céréalières représentées seulement 23 ha, d'après notre carte OSO 2021. En insérant la carte OSO de son territoire et en implémentant le modèle avec les données de son troupeau et les références associées aux ressources que son troupeau pâture, alors sa stratégie peut être représentée dans le modèle.

Toujours en termes de généralité, la modélisation se portait uniquement sur les troupeaux ovins. Le berger pâture dans les vignes, lors de l'entretien, a précisé qu'il avait une trentaine de chèvres en plus des brebis. D'après le berger c'est une complémentarité efficace pour faire de l'écopâturage. Pour Eycheune, Bories, Noûs en 2020, la chèvre est l'une des espèces les plus adaptées à la réouverture des milieux, de par sa capacité à consommer de la ressource ligneuse. Pour correspondre au territoire et à la conduite de troupeau de la stratégie vigne, le modèle peut couvrir le territoire du PNRNM, dans lequel pâture le berger, et intégrer des chèvres à la configuration du troupeau avec leurs différents besoins par stades physiologiques.

#### 4.4. Réflexions sur le rôle du numérique

Tout au long de la démarche de construction du modèle, des éléments numériques ont été mobilisés. Cependant des axes d'amélioration sont à apporter à cette démarche notamment dans l'utilisation de nouveaux outils numériques.

Concernant la collecte de données, il est nécessaire pour le modèle de représenter l'occupation du sol de la Clape, complétée par les quantités de ressources disponibles. C'est pour cela que la couche OSO 2021 et les données de référence du Rami Pastoral ont été choisies. Dans un but d'affiner ces données, de nouveaux outils peuvent être utilisés comme Sentinel-2 pour la télédétection NDVI de quantité de biomasse par milieu ou pour la télédétection d'occupation du sol croisé avec Spot 6-7. Ces méthodes permettent une mise à jour régulière des données, afin de suivre l'évolution de l'assolement des parcelles et des quantités de ressources et par conséquent l'effet du pâturage sur les milieux présents les boucles de pâturage. Avec ces outils, les données sont plus précises et l'échelle de temps est plus fine. Ils permettent également d'observer les effets du changement climatique, un facteur à prendre en compte pour adapter les pratiques d'élevage aux attentes de la transition agroécologique. Durant la partie enquête, des supports papier ont été utilisés pour récolter des données, comme la carte RPG et le calendrier du troupeau. Afin de rendre la récolte de données plus interactive, des outils numériques tels qu'une tablette aurait pu être utilisée notamment pour déterminer des boucles de pâturage.

Lors de la démarche de construction du modèle, différents outils numériques sont mobilisés. Le logiciel de cartographie QGIS a permis de construire la carte d'occupation du sol du massif de la Clape. Le logiciel de traitement de données R est utilisé pour analyser et visualiser les données de sortie du modèle. Enfin, le modèle est construit avec le logiciel Gama, permettant de spatialiser le massif de la Clape et de simuler le déplacement des troupeaux. Les avantages de ces logiciels sont leur libre accès ainsi que la diffusion puis l'utilisation libres des codes une fois le modèle développé. Les scripts et les codes permettent également d'automatiser les tâches, comme la collecte et l'analyse de résultats. Un point important à considérer pour s'appropriier le modèle est la compréhension des codes car derrière chaque code se cache un choix, une décision.

Le modèle se présente également comme un outil de discussion et d'aide à la décision. En simulant les scénarios, l'objectif est de discuter avec les différents acteurs tels que les bergers, le PNR ou les viticulteurs pour étudier la faisabilité et les limites des scénarios mais également étudier la cohérence des données de sorties avec la réalité. Tout ne peut pas être modélisé car des paramètres ne sont pas quantifiables, c'est pour cela qu'en plus de la représentation, le modèle doit être appuyé par des

discussions. Le modèle a aussi un rôle de visualisation pour faciliter les discussions et les échanges avec les différents acteurs. En effet le modèle représente de manière simplifiée et visuelle le territoire de la Clape, sa diversité de milieux et de ressources et le déplacement ainsi que le pâturage des trois troupeaux sur ces milieux. Dans les perspectives de visualisation, le modèle pourra représenter les points d'eau pour l'abreuvement des animaux, les voies d'accès pour les déplacements des troupeaux d'une parcelle à l'autre ou encore des emplacements pour installer des parcs de nuit pour les animaux. Les discussions entre chercheurs, conseillers ou experts et les bergers ont pour objectif de prendre des décisions sur ce qui est applicable sur le terrain ou non. Au travers des discussions, des boucles de pâturages pourraient être définies, par exemple, en fonction de la ressource disponible, de l'accès aux parcelles, aux voies d'accès, à l'accès à l'eau, etc. Pour cela, de nouveaux outils de visualisation peuvent être proposés aux acteurs du territoire, sous forme d'atelier, comme la représentation 3D des simulations ou la projection du modèle sur une carte. Tout cela dans un but de rendre les échanges plus interactifs.

Enfin, le modèle permet d'explorer des scénarios. Ils sont imaginés dans l'objectif de répondre aux enjeux identifiés du territoire. Les deux scénarios imaginés pour le moment explorent les possibilités de pâturer uniquement dans les vignes ou les milieux ayant le besoin d'être entretenus. Au travers de ces scénarios, les bergers explorent le massif en suivant la ressource disponible par période. D'autres scénarios sont à imaginer et à explorer grâce à des algorithmes d'apprentissage.

## Conclusion

L'identification d'enjeux sur le massif de la Clape ont amené à la construction d'un modèle conceptuel et d'un modèle multi-agents. Le premier enjeu auquel doit répondre le modèle est la réouverture des milieux, par le biais du pastoralisme, pour limiter le risque d'incendie. Le premier enjeu répond à un deuxième enjeu car il permet de redynamiser l'activité pastorale, une activité en déclin sur la Clape. Pour rappel, l'objectif était de définir les choix de modélisation les plus adaptés pour représenter les systèmes pastoraux ovins de la Clape. Pour accomplir cet objectif, les données de références des besoins des ovins et des disponibilités de ressource par saison du Rami Pastoral ont été utilisées pour déterminer si elles pouvaient constituer le modèle biophysique du modèle multi-agent. Nous nous sommes également interrogés sur les choix de représentation du déplacement des troupeaux sur le territoire de la Clape.

La première étape de construction du modèle conceptuel a permis, dans un premier temps, de rassembler des données propres au territoire de la Clape et aux bergers méditerranéens audois. A l'aide des données d'enquêtes, une diversité de stratégies de berger méditerranéens a été définie, caractérisée par une conduite de troupeau et un circuit de pâturage propre à chaque stratégie. Ces stratégies ont été conceptualisées pour implémenter le modèle multi-agent. Pour les interactions territoire/troupeaux du modèle multi-agents des règles de décisions ont été définies. Le pas de temps du modèle est saisonnier et aucune contrainte ne limite l'accès aux parcelles, sauf les périodes de disponibilité des ressources. Les îlots pâturés n'ont pas de limites de surface afin que les troupeaux trouvent suffisamment de ressources pour couvrir leur besoin.

Une fois les simulations lancées, des indicateurs de vérification des données de sortie ont été comparés aux indicateurs des données d'enquêtes. Avec la couverture systématique des besoins, les îlots des simulations sont de plus grandes tailles que les îlots des enquêtes. Le placement aléatoire des troupeaux sur la Clape ainsi que la disponibilité de la ressource jouent sur la répartition des milieux pâturés dans les îlots.

La calibration de notre simulateur à partir de données du Rami Pastoral nous a amené à faire des simplifications pour le fonctionnement du modèle. Les données sur la quantité de ressource disponible ont abouti à un regroupement des îlots d'enquêtes qui ne sont physiquement pas pâturables au même

moment. Les disponibilités de ressource contraignent les simulations sur une seule année. L'avantage pour ces données est qu'elles tiennent compte de l'effet du pâturage sur les quantités de biomasse produites. De plus, le manque de données, sur les vignes notamment, nous a conduit à faire des estimations sur les quantités et les périodes de pâturage. Pour finir, le Rami Pastoral a tout de même permis l'attribution de besoins des brebis par stade physiologique malgré l'estimation de leur période. Le choix du déplacement du troupeau est issu d'une simplification de la réalité. Les troupeaux se déplacent en fonction de la ressource disponible, en estimant que toutes les parcelles sont accessibles. En réalité les parcelles ne sont pas toutes disponibles car elles appartiennent à des propriétaires qui ne sont pas forcément tous d'accord pour qu'elles soient pâturées.

Grâce à de nouveaux outils tels que la télédétection, l'implémentation des données d'entrées pourra être plus précise et à une échelle de temps plus fine. Mais il reste important d'avoir des avis d'experts sur les questions d'accès aux ressources notamment, en complément de l'utilisation des nouveaux outils. De plus, il est important de discuter autour des sorties du modèle avec des experts du territoire afin de garder le cap sur les enjeux du territoire et les contraintes d'accès aux fonciers. Pour répondre aux enjeux du territoire, il reste l'étape de création de scénarios. D'après les discussions avec des gestionnaires du territoire, les scénarios **entretien des milieux et pâturage dans les vignes** sont réalisables. Enfin, avec la genericité du modèle, le simulateur multi-agents pourra s'appliquer à de nouveaux territoires méditerranéens et répondre à leurs enjeux.

## Références Bibliographiques

BAUMONT, René et al., 2023. Valoriser une diversité de biomasses pour répondre aux enjeux techniques, environnementaux et sociétaux des élevages de ruminants. *INRAE Productions Animales*. Vol. 36, no 1, p. 15 p.-15 p. DOI 10.20870/productions-animales.2023.36.1.7478.

CHALLINOR, Andrew J. et al., 2018. Improving the use of crop models for risk assessment and climate change adaptation. *Agricultural Systems*. Vol. 159, pp. 296-306. DOI 10.1016/j.agsy.2017.07.010.

CROS, M. J, DURU, Michel et PEYRE, D., 2001. SEPATOU : un simulateur de conduites du pâturage, à l'épreuve des « menus » bretons. *Fourrages*. Vol. 167, pp. 365-383.

DDTM34, 2019. *Friches agricoles: Une chance pour questionner l'avenir de nos territoires* [en ligne]. Disponible à l'adresse : [https://www.herault.gouv.fr/content/download/32622/221628/file/Plaquette\\_friches\\_agricoles.pdf](https://www.herault.gouv.fr/content/download/32622/221628/file/Plaquette_friches_agricoles.pdf)

DELOIRE, Alain et PELLEGRINO, Anne, 2022. L'INSTITUT AGRO , FRANCE. .

DODIER, Hermann et al., 2023. *La Pastothèque - Tome 1 Montagne : Référentiel des milieux pastoraux du Sud de la France dans un contexte de changement climatique*. Cardère.

DUBOSC, Nelly et al., 2022. *Le pastoralisme en Occitanie* [en ligne]. Les dossiers 2. Disponible à l'adresse : [https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/le\\_pastoralisme\\_en\\_occitanie\\_vfinale.pdf?fbclid=IwAR3AZHTTuOn18tR0waXuC5ve\\_\\_LqLqd4z0MGIpl3PtEYfqFdW1HPuAbqvQ](https://draaf.occitanie.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/le_pastoralisme_en_occitanie_vfinale.pdf?fbclid=IwAR3AZHTTuOn18tR0waXuC5ve__LqLqd4z0MGIpl3PtEYfqFdW1HPuAbqvQ)

DUSSEUX, P et al., 2021. Utilisation des données satellites Sentinel-2 pour quantifier la production d'herbe et de biomasse. .

EDMONDS, Bruce et al., 2019. Different Modelling Purposes. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. Vol. 22, no 3, pp. 1-30. DOI 10.18564/jasss.3993.

EYCHENNE, Corinne, BORIES, Olivier et NOÛS, Camille, 2020. (Éco)pâturage, (éco)pastoralisme : la gestion de l'espace par les troupeaux, éléments d'analyse et de compréhension. *Carnets de géographes*. No 14. DOI 10.4000/cdg.6086.

FARRIÉ, B. et al., 2015. Rangeland Rummy – A board game to support adaptive management of rangeland-based livestock systems. *Journal of Environmental Management*. Vol. 147, pp. 236-245. DOI 10.1016/j.jenvman.2014.08.018.

FERBER, Jacques, 1997. Les systèmes multi-agents : un aperçu général. . Vol. 16, no 8, pp. 979-1012.

GARCIA DE CORTAZAR ATAURI I. et al., s.d. *SIMULATION OF BUDBREAK DATE FOR VINE. THE BRIN MODEL. SOME APPLICATIONS IN CLIMATE CHANGE STUDY* [en ligne]. Disponible à l'adresse : [https://www.researchgate.net/profile/Inaki-Garcia-De-Cortazar-Atauri/publication/237391769\\_Simulation\\_of\\_budbreak\\_date\\_for\\_vine\\_The\\_BRIN\\_model\\_Some\\_applications\\_in\\_climate\\_change\\_study/links/57d81cd208ae0c0081edf0fa/Simulation-of-budbreak-date-for-vine-The-BRIN-model-Some-applications-in-climate-change-study.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Inaki-Garcia-De-Cortazar-Atauri/publication/237391769_Simulation_of_budbreak_date_for_vine_The_BRIN_model_Some_applications_in_climate_change_study/links/57d81cd208ae0c0081edf0fa/Simulation-of-budbreak-date-for-vine-The-BRIN-model-Some-applications-in-climate-change-study.pdf)

HUBER, Robert et al., 2018. Representation of decision-making in European agricultural agent-based models. *Agricultural Systems*. Vol. 167, pp. 143-160. DOI 10.1016/j.agsy.2018.09.007.

ICKOWICZ, Alexandre et MOULIN, Charles-Henri, 2022. *Élevages au pâturage et développement durable des territoires méditerranéens et tropicaux*. éditions Quae. ISBN 978-2-7592-3486-8.

INN'OVIN et INTERBEV, 2019. *Thème 6 : L'ALIMENTATION* [en ligne]. Inn'ovin. Disponible à l'adresse : <https://www.inn-ovin.fr/wp-content/uploads/2019/04/Fiche-alimentation-2019.pdf>

LAMANDA, Nathalie et al., 2012. A protocol for the conceptualisation of an agro-ecosystem to guide data acquisition and analysis and expert knowledge integration. *European Journal of Agronomy*. Vol. 38, pp. 104-116. DOI 10.1016/j.eja.2011.07.004.

LÉCRIVAIN, E., LASSEUR, Jacques et ARMAND, D., 2004. Diversité des systèmes d'élevage ovin et diversité de comportements des troupeaux sur parcours : Un atout pour la gestion des milieux hétérogènes. In : DUBEUF, J.-P., *L'évolution des systèmes de production ovine et caprine : avenir des systèmes extensifs face aux changements de la société*, pp. 161-169. Zaragoza : CIHEAM. Options Méditerranéennes.

LEGEARD, Jean-Pierre et al., 2010. Où en sont les bergers aujourd'hui ? In : MEURET, Michel, *Un savoir-faire de bergers*, p. 43. Versailles : Editions Quæ. Beaux Livres. ISBN 978-2-7592-0860-9. DOI 10.3917/quae.meure.2010.01.0043.

MARTIN, Guillaume et al., 2016. Crop–livestock integration beyond the farm level: a review. *Agronomy for Sustainable Development*. Vol. 36, no 3, pp. 1-21. DOI 10.1007/s13593-016-0390-x.

MARTY, Gérald, s.d. *Guide pratique du pâturage: des ovins dans les vignes*. . Chambre d'agriculture du Gard.

MARVUGLIA, Antonino et al., 2022. Agent-based modelling to simulate farmers' sustainable decisions: Farmers' interaction and resulting green consciousness evolution. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 332, p. 129847. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.129847.

MICHEL, Fabien, 2004. Formalisme, outils et éléments méthodologiques pour la modélisation et la simulation multi-agents. .

MICOLA, Sylvain et GENEVET, Emmanuelle, 2022. *Pastoscopie : Un panorama du pastoralisme en région Occitanie* [en ligne]. Chambre d'agriculture d'Occitanie. Disponible à l'adresse : [https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user\\_upload/National/FAL\\_commun/publications/Occitanie/Productions\\_techniques/pastoscopie-crao2022.pdf?fbclid=IwAR2gRffe6vaywkISD5W72HLDLWWQEM\\_6UNGKO3qzflTuAAndiIORdkeLRCs](https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Productions_techniques/pastoscopie-crao2022.pdf?fbclid=IwAR2gRffe6vaywkISD5W72HLDLWWQEM_6UNGKO3qzflTuAAndiIORdkeLRCs)

MOULIN, Charles-Henri, LASSEUR, Jacques et VALARIE, Pierre, 2015. LA TRANSHUMANCE HIVERNALE : DYNAMIQUE DES INTERACTIONS ENTRE ELEVEURS DE L'ARRIERE-PAYS ET ACTEURS DES TERRITOIRES LITTORAUX (ETUDE DE CAS DANS LE VAR, FRANCE). In : . . 2015.

NAPOLÉONE, Martine et al., 2021. La reconnexion élevage pastoral - agriculture : retour aux sources ou voyage vers le futur, pour l'agriculture et les territoires méditerranéens ? *Fourrages*. Vol. 245, pp. 13-22. tex.ids= ReconnexionElevagePastoral2021

PERTUZIO, Raphael, 2022. *Diagnostic pastoral du domaine Villepeyroux-Forest, Malves en Minervois (11)*.

PIN, Clément, 2023. *L'entretien semi-directif* [en ligne]. Fiches méthodologiques du LIEPP . Disponible à l'adresse : <https://sciencespo.hal.science/hal-04087897> [consulté le 24 juillet 2023].

PNRNM, 2023a. *Diagnostic de territoire du Parc National Régional de la Narbonnaise en Méditerranée*.

PNRNM, 2023b. *Bilan Evaluation de la mise en oeuvre de la charte 2015-2020 du Parc Naturel Régional de la Narbonnaise en Méditerranée.* .

PRACHE, S. et THERIEZ, M., 1988. Production d'agneaux à l'herbe. *INRAE Productions Animales*. Vol. 1, no 1, pp. 25-33. DOI 10.20870/productions-animales.1988.1.1.4432.

ROUHET, Flavie, 2018. Reconquête pastorale des friches agricoles sur l'île d'Oléron. .

SCOPELA et INRA, 2017. *Les ressources ligneuses* [en ligne]. SCOPELA. Disponible à l'adresse : <https://www.paturajuste.fr/parlons-technique/ressource/ressources-generiques/les-ressources-ligneuses>

TAILLANDIER, Patrick et al., 2019. Building, composing and experimenting complex spatial models with the GAMA platform. *GeoInformatica*. Vol. 23, no 2, pp. 299-322. DOI 10.1007/s10707-018-00339-6.

VINCK, Dominique, 2009. De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière: Vers la prise en compte du travail d'équipement. *Revue d'anthropologie des connaissances*. Vol. 3, no 1. DOI 10.3917/rac.006.0051.

VOINOV, Alexey et al., 2016. Modelling with stakeholders – Next generation. *Environmental Modelling & Software*. Vol. 77, pp. 196-220. DOI 10.1016/j.envsoft.2015.11.016

# Annexes

## Annexe 1: Guide d'entretien

### Guide d'entretien des bergers

➤ Présentation du projet SAGITERRES :

➤ Description de l'exploitation :

Date d'installation :

Statut juridique :

GAEC          Nombre d'associés :

EARL          Nombre d'associés :

Individuel

Autres : ...

Main d'œuvre :

Salarié annuel :

Salarié saisonnier :

Aide familiale :

Autres : ...

Nombre d'UMO/UTH :

➤ Historique de l'exploitation :

Quels sont vos finalités et objectifs en tant qu'éleveur ?



Éléments à mentionner sur le calendrier



Éléments à mentionner sur la carte

- Comment conduisez-vous votre troupeau (reproduction, alimentation) ?  
Comment commercialisez-vous votre production ? :

Descriptif global du troupeau :

Taille du cheptel :

Race :

Pourquoi ?

Allaitante

Laitière

Nombre de béliers et race :

Nombre d'agneaux nés :

Nombre d'agneaux au sevrage :

Taux de mortalité : %

Les animaux ont-ils accès à un bâtiment ?

- Oui
- Non

Si oui : sur quel site ? à quelle période rentrent-ils ? sortent-ils ? Pourquoi ?

Conduisez-vous votre troupeau en lot ?

- Oui
- Non

Pourquoi (lot pour la reproduction, pour la conduite des antenaises ou pour les agneaux) ? Combien de lots ? Taille des lots ? Comment ?

Reproduction :

Nombre d'animaux mis à la reproduction :

Age de mise à la reproduction :

Monte naturelle :

- Oui
- Non

Insémination animale :

- Oui
- Non



Période(s) de lutte :

En bâtiment ?

- Oui
- Non

A l'extérieur ? :

- Oui
- Non



Période(s) d'agnelage :

En bâtiment ?

- Oui
- Non

A l'extérieur :

- Oui
- Non

Taux de renouvellement :

Taux de réforme :

### L'alimentation des animaux :

Les animaux sont-ils affouragés ?



- Oui
- Non

Si oui, à quelle période? En bâtiment ? Au pâturage ? Pourquoi ?

Pour compléter la ration à certains moments de l'année

Avec quoi, quelle quantité (kg de MS) ?

Quelle est la part du fourrage/pâturage dans la conduite du troupeau : %

Etes-vous autonome en fourrage ? Toute l'alimentation est-elle produite sur la ferme ?

- Oui
- Non

Si non, achetez-vous du fourrage :

- Oui
- Non

La quantité achetée : kg (ou t) de MS

Part d'autonomie : %

Les animaux sont-ils complémentés en concentré ?

Si oui, pourquoi ? avec quoi ? quelle quantité ?

Pensez-vous que les besoins du troupeau sont couverts ? Acceptez-vous que les besoins ne soient pas couverts ?

Production :

Engraissez-vous vos agneaux ?

- Oui
- Non

Pourquoi ?

Age au sevrage :

Age à l'abattage :

A quelle période ? Combien de temps ? sur quel site ?



Avec quel aliment, quelle quantité (kg de MS) ?

Quel est votre objectif de poids à la vente ?

Comment sont-ils commercialisés ?

Avez-vous un label sur votre production d'agneaux ?

- Oui
- Non

Si oui, lequel ?

➤ Quelle est la composition de votre assolement ? Quel est la surface de votre assolement ? Comment est-il organisé ? Quels sont ses usages ?:

SAU : ha

Répartition de l'assolement (culture, prairies, pâtures) :

Surface en propriété : ha

Prestation de service pour la zone compensatoire du BRL (type de contrat ?)

Comment avez-vous accédé aux terres pâturables ?



Où se situent les surfaces pâturées par les animaux et/ou fauchées (itinérant, estive, transhumance inverse)? A quelle période sont pâturées les différentes surfaces ? Quels types de surface pâturent les animaux (bois, landes, pelouses, garrigues, prairies et surface en ha) ?



Sur combien d'îlots pâturent-elles ?

Connaissez-vous les caractéristiques des îlots (catégories de surfaces, voies d'accès, accès à l'eau et abri) ?



Comment est organisé votre circuit de pâturage ? (Niveau d'anticipation, choix des surfaces, individuel, aidé, contraintes particulières, accès à l'eau, ...)

Est-il similaire d'année en année ?

- Oui
- Non

Si non, pourquoi ?

Avez-vous des espaces pastoraux collectifs ?

- Oui
- Non

Pourquoi ?

Avez-vous des clôtures (fixes ou mobiles) ?

- Oui
- Non

Si oui : sur quelles parcelles ? pourquoi ? quel intérêt ?

Pratiquez-vous le gardiennage ?

- Oui
- Non

Si oui, pourquoi ?

Faites-vous appel à un saisonnier ?

- Oui
- Non

Si oui, pourquoi ?

**Pour quelles raisons avez-vous choisi la Clape pour faire pâturer votre troupeau ? Pourquoi la Clape ? Souhaitez-vous faire perdurer le pâturage sur la Clape ou bien est-ce occasionnel ? Comment voyez-vous le pâturage sur le massif de la Clape à l'avenir ?**

➤ Typologie de berger :

- Itinérant ou sans terre
- Transhumant estival
- Transhumant hivernal

## Annexe 2 : Calendrier de troupeau du berger itinérant

	Saison	Hiver		Début Printemps	Printemps				Été			Automne			Fin Automne												
	Mois	Janvier	Février	Mars	Avril		Mai		Juin	Juillet	Août		Septembre	Octobre	Novembre	Décembre											
Stratégie itinérante	Calendrier du troupeau																										
	Nombre de brebis																										
	150																										
	19	627	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	570	570	570	627	684	684	684	627	627		
	19	627	627	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	570	570	570	627	684	684	684	627	627	
	19	627	627	627	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	570	570	570	627	684	684	684	627	627	
	19	684	627	627	627	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	570	570	570	627	684	684	684	627	627	
	19	684	684,0	627	627	627	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	570	570	570	627	684	684	684	627	627	
	19	684	684	684	627	627	627	513	513	513	513	513	513	513	513	513	513	570	570	570	627	684	684	684	627	627	
	19	627	684	684	684	627	627	627	513	513	513	513	513	513	513	513	513	570	570	570	627	684	684	684	627	627	
	19	570	627	684	684	684	627	627	627	513	513	513	513	513	513	513	513	570	570	570	627	684	684	684	627	627	
	Besoins des brebis par période Ramipasto (kg MS)	19950			9063		24966				20691			17955			14991										
	Nombre d'agneaux																										
	150																										
	10	150	150	150	150																						
	10		150	150	150	150																					
	10			150	150	150	150																				
	10				150	150	150	150																			
	10					150	150	150	150																		
	10						150	150	150	150																	
10							150	150	150	150																	
10								150	150	150	150																
10									150	150	150	150															
10										150	150	150	150														
10											150	150	150	150													
10												150	150	150	150												
10													150	150	150	150											
Besoins des agneaux par période Ramipasto (kg MS)	1500			1200		3600				2550			150			0											

	mise bas
	début gestation
	fin de gestation
	début de lactation
	fin de lactation
	entretien
	engraissement des agneaux
	vente des agneaux

### Annexe 3 : Calendrier de troupeau du berger itinérant

Saison	Hiver		Début Printemps	Printemps			Eté			Automne		Fin automne												
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre												
Calendrier du troupeau																								
Nombre de brebis																								
210																								
26	780	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663
26	780	780	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663
26	780	780	780	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663
26	858	780	780	780	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663
26	741	741	741	780	858	858	858	780	780	780	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663
26	663	741	741	741	780	858	858	858	780	780	780	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663
26	663	663	741	741	741	780	858	858	858	780	780	780	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663
26	663	663	663	741	741	741	780	858	858	858	780	780	780	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663	663
Besoins des brebis par période Ramipasto (kg MS)	23283			11661			34983						26871				22854			17940				
Nombre d'agneaux																								
280																								
47	634,5	634,5	634,5	634,5																				
47		634,5	634,5	634,5	634,5																			
47			634,5	634,5	634,5	634,5																		
47																								
47																								
47																								
47																								
Besoins des agneaux par période Ramipasto (kg MS)	5710,5			1903,5			3807						9517,5				1903,5			0				

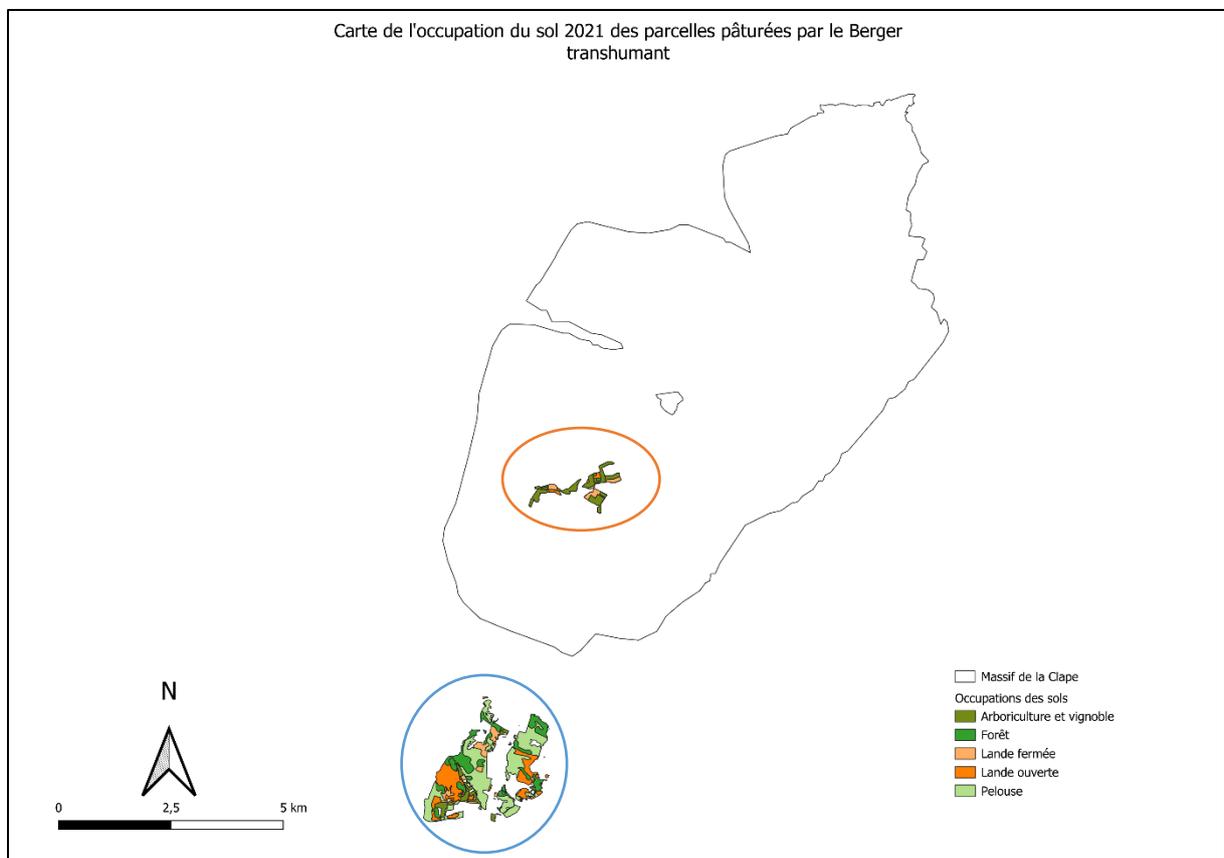
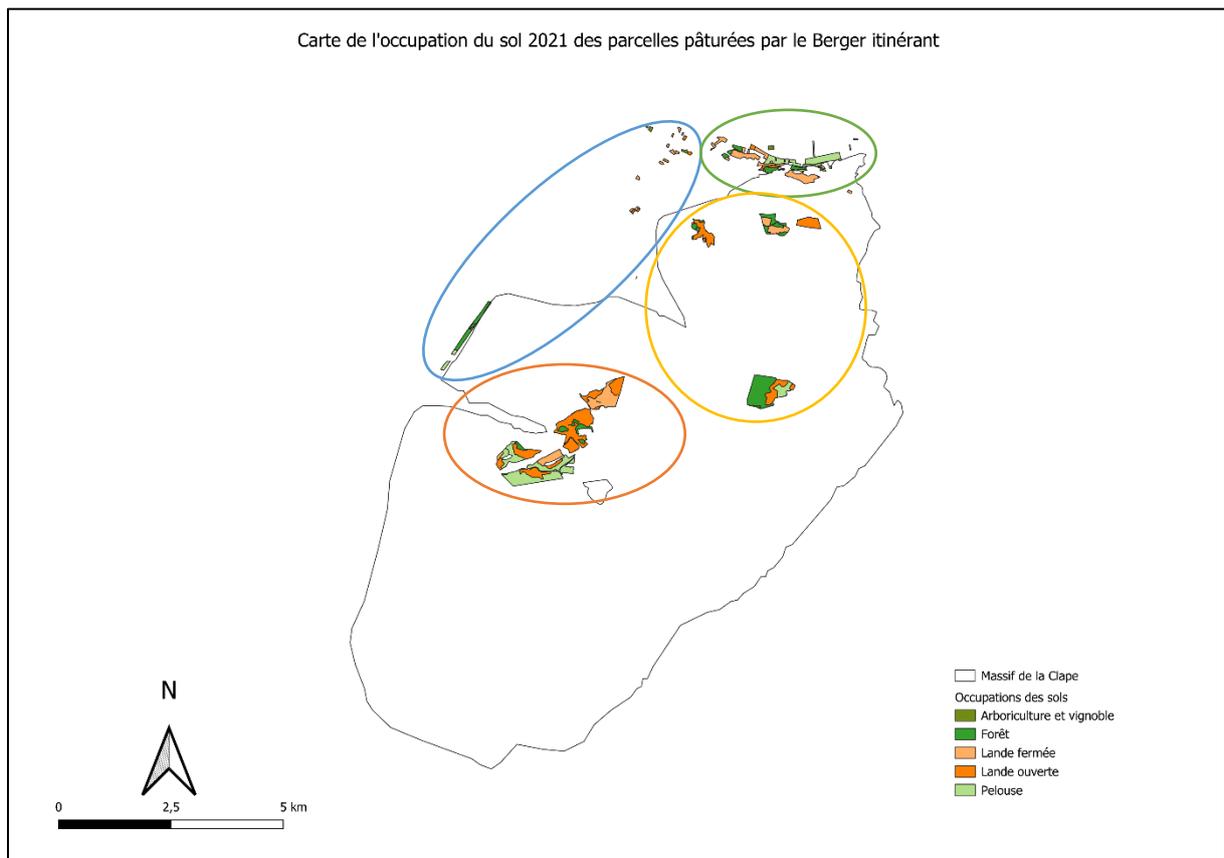
	mise bas
	début gestation
	fin de gestation
	début de lactation
	fin de lactation
	entretien
	engraissement des agneaux
	vente des agneaux

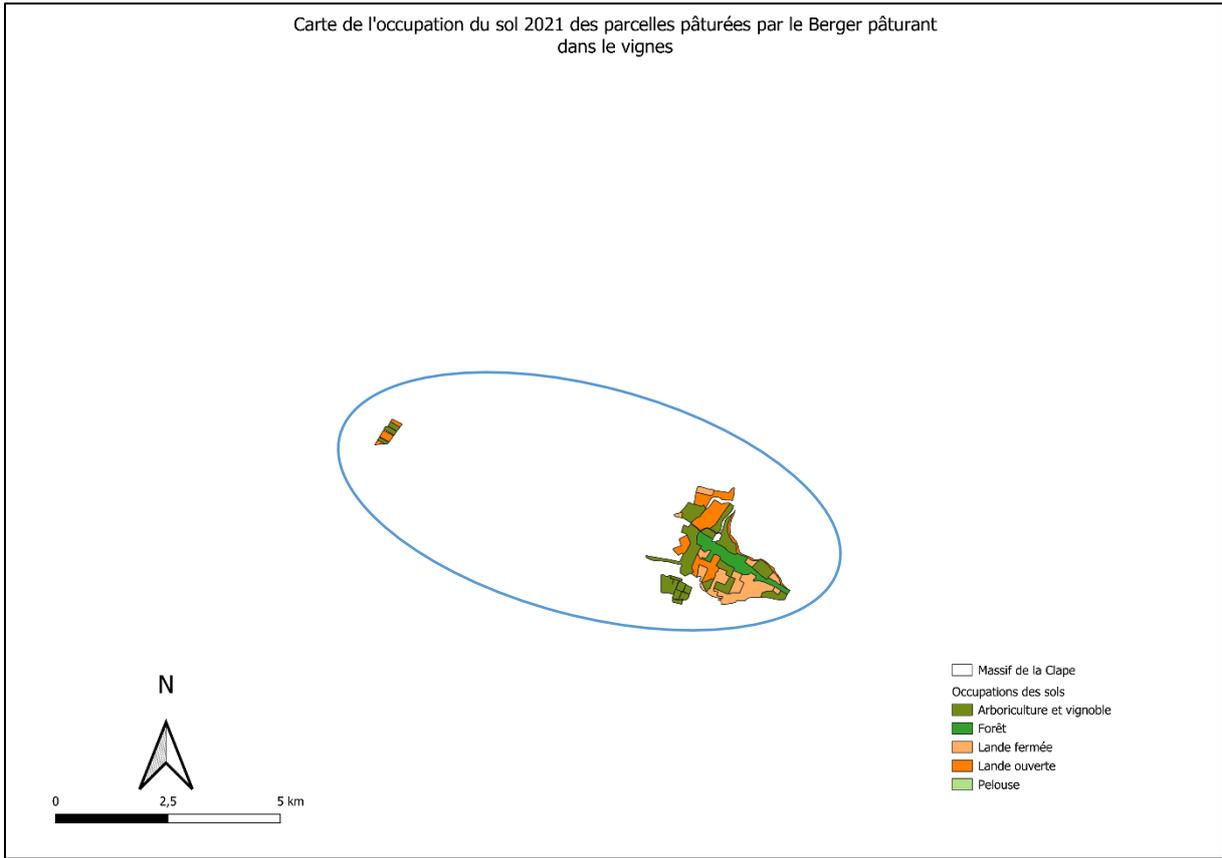
## Annexe 4 : Calendrier de troupeau du berger vigne

	Saison	Hiver		Début Printemps		Printemps						Eté			Automne			Fin Automne									
	Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre														
Stratégie vigne	Calendrier du troupeau																										
	Nombre de brebis																										
	80																										
	13	409,5	409,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	409,5	448,5	448,5	448,5	409,5	
	13	409,5	409,5	409,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	409,5	448,5	448,5	448,5
	13	448,5	409,5	409,5	409,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	409,5	448,5	448,5	
	13	448,5	448,5	409,5	409,5	409,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	409,5	448,5		
	13	448,5	449	449	409,5	409,5	409,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	409,5			
	13	409,5	448,5	448,5	448,5	409,5	409,5	409,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5	370,5		
	Besoins des brebis par période Ramipasto (kg MS)	10062			4641			13377						11115			9048			7449							
	Nombre d'agneaux																										
	70																										
	10	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165													165	
	10	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165													
	10		165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165													
	10			165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165												
	10				165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165											
10					165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165	165											
Besoins des agneaux par période Ramipasto (kg MS)	2310			2145			6765						2475			0			165								

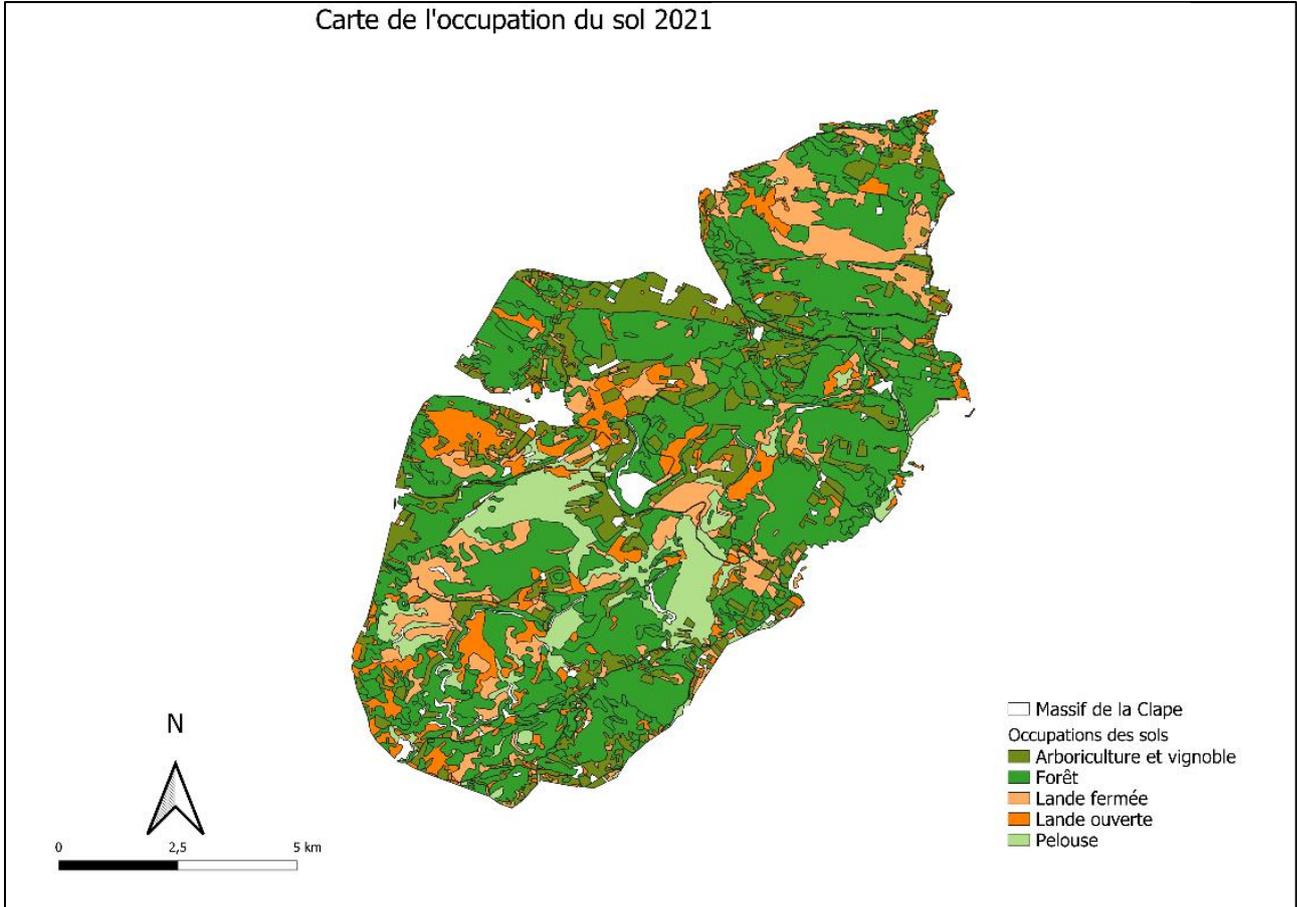
	mise bas
	début gestation
	fin de gestation
	début de lactation
	fin de lactation
	entretien
	engraissement des agneaux
	vente des agneaux

## Annexe 5 : Cartes des flots pâturés par les bergers enquêtés

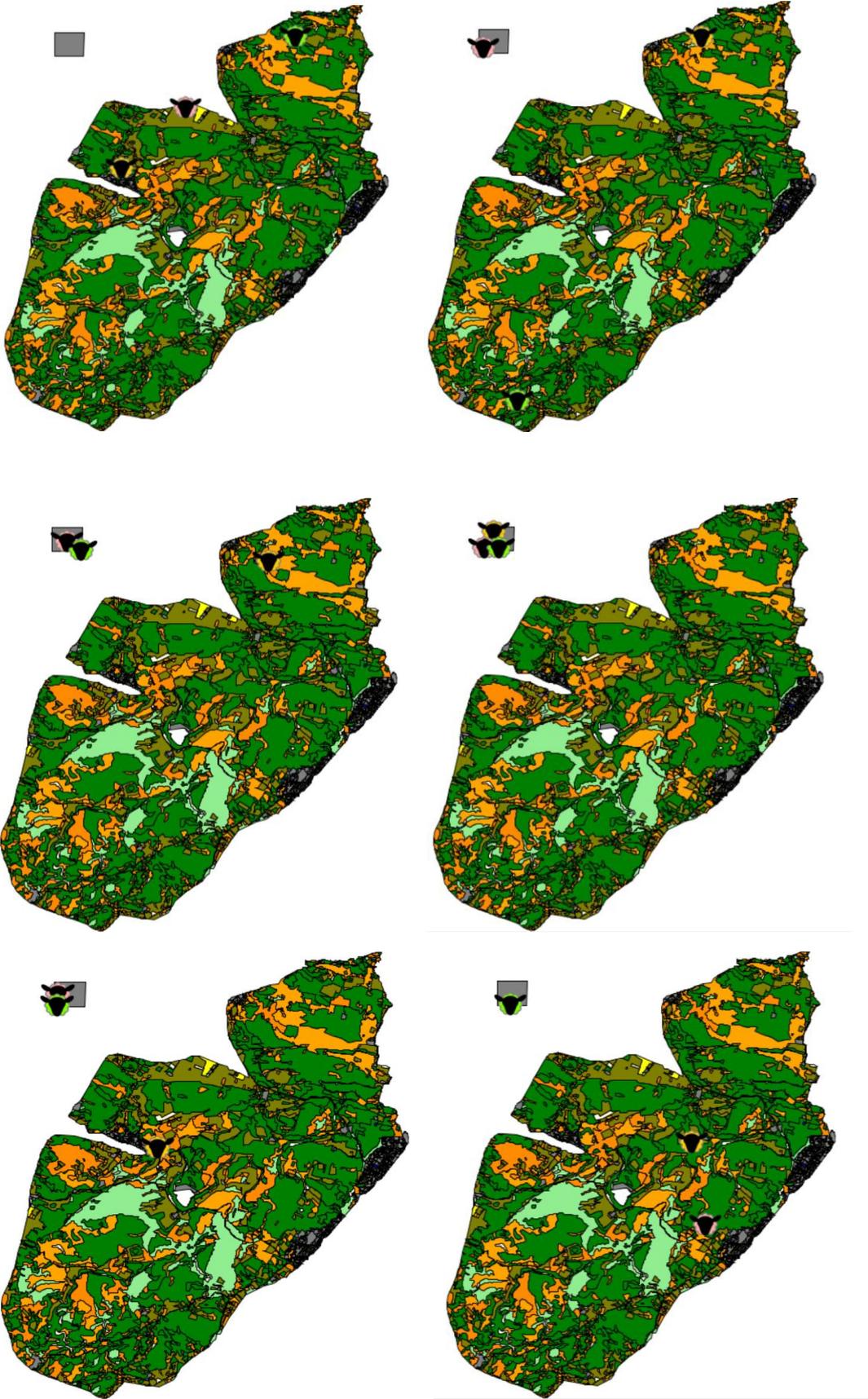




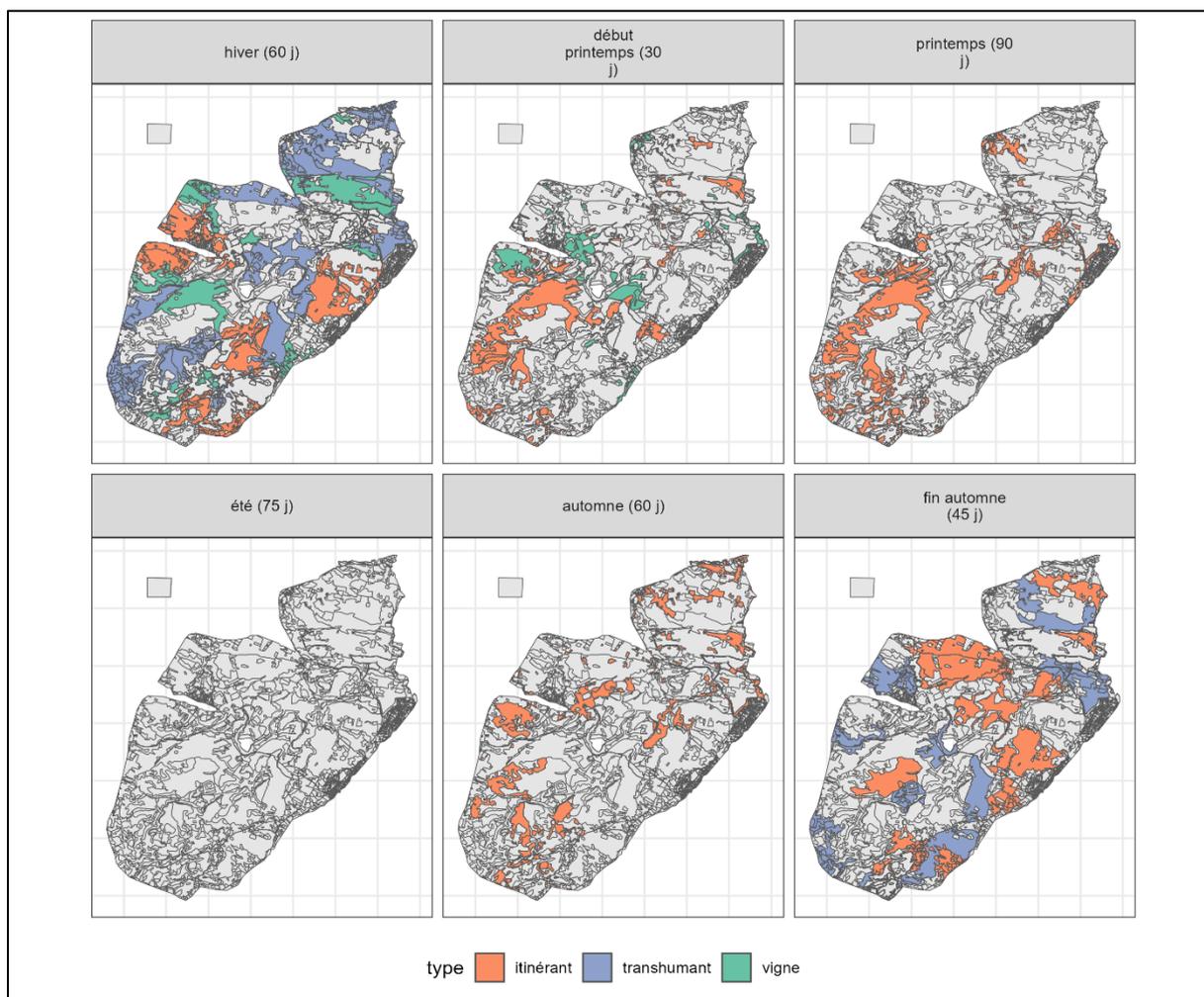
Annexe 6 : Carte OSO 2021 de la Clape



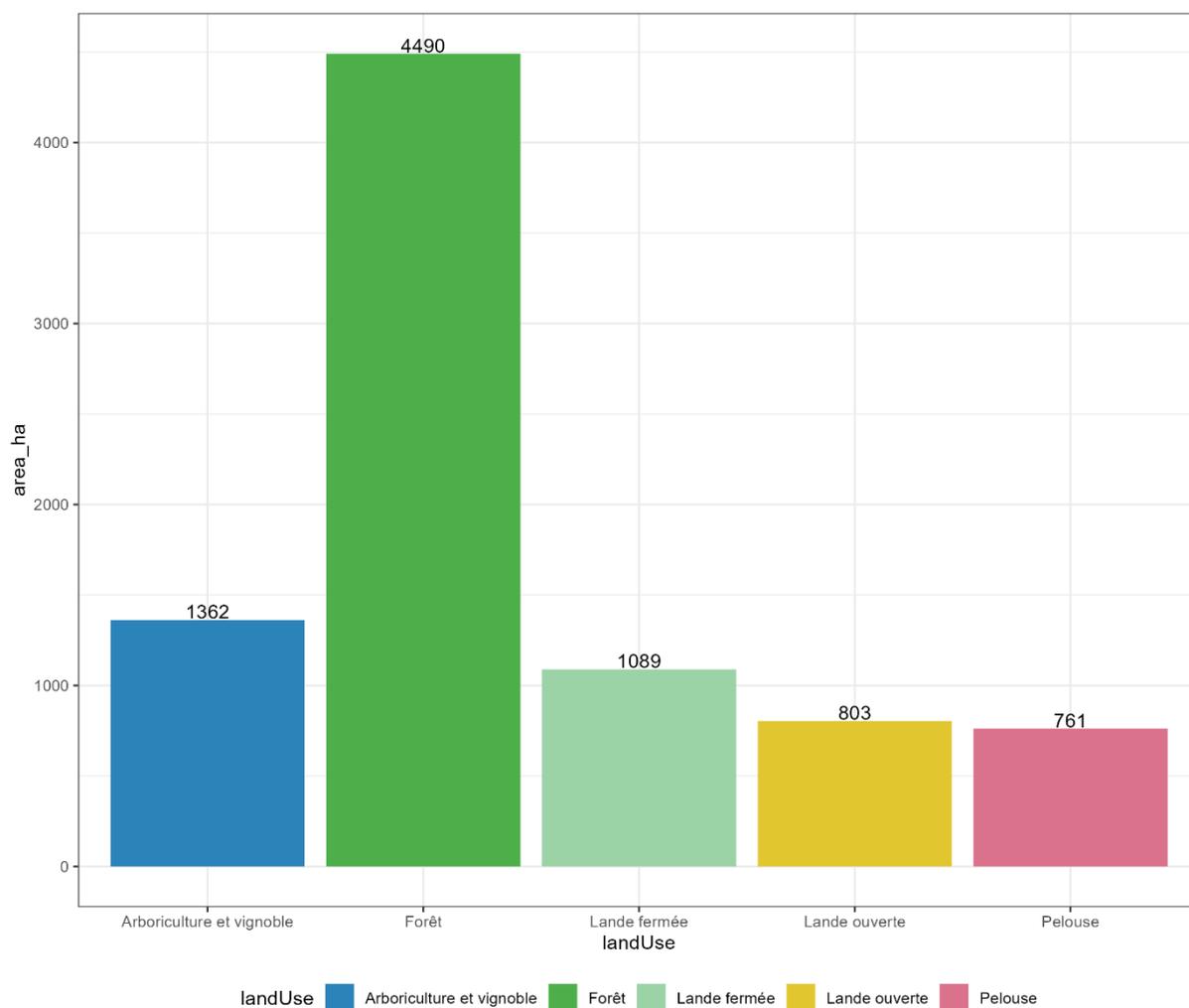
Annexe 7: Captures d'une simulation sur GAMA



## Annexe 8: Cartes des îlots pâturés lors des simulation



## Annexe 9: Graphique de la surface des différents milieux pâturables sur la Clape (ha)





FALCOU, Théo, 2023, Modéliser des stratégies de bergers sur le massif de la Clape avec des troupeaux ovins mobiles, 45p, mémoire de fin d'études, Clermont-Ferrand, 2023.

**STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIEES:**

- ◆ Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation Agronomie et l'Environnement

**ENCADRANTS :**

- ◆ Maître de stage : GRILLOT, Myriam (INRAE), LURETTE, Amandine (INRAE)
- ◆ Tuteur pédagogique : BRUNSCHWIG, Gilles

**OPTION :** Adapter l'Elevage aux nouveaux Enjeux

**RESUMÉ**

Sur le littoral audois est situé le massif de la Clape, un territoire au paysage diversifié. Dynamisé essentiellement par la viticulture, il accueillait autrefois des bergers locaux ou d'autres horizons pour pâturer les ressources fourragères présentes sur le massif. Le pastoralisme sur la Clape a pendant longtemps façonné son paysage et fût un moyen d'entretenir le territoire. Aujourd'hui le massif fait face à la problématique de l'embroussaillage, causé par la déprise agricole et la diminution des bergers. Cette problématique engendre une augmentation accrue des risques incendies.

Une méthode de modélisation, la Simulation Multi-Agents (SMA), est proposée dans l'optique de répondre aux enjeux de limiter l'embroussaillage en redynamisant le pastoralisme sur la Clape. La SMA est un outil capable de représenter un système complexe, le pastoralisme, en interaction avec des agents, les troupeaux, dans un environnement, la Clape. Elle répond aux enjeux par la simulation de scénarios, reprenant les caractéristiques du territoire et de ces composants, comme les bergers.

L'étude propose de suivre la construction d'un modèle multi-agents, de la conceptualisation aux premières simulations, en passant par l'implémentation du modèle. Le modèle représente la diversité de stratégies de bergers de la Clape et des territoires alentours, sur le massif. Ces stratégies de bergers sont déterminées à partir d'enquêtes et définies par une conduite de troupeau et un circuit de pâturage propre à chaque berger. Les données de références des besoins des brebis et des quantités de ressources disponibles par saison du Rami Pastoral viennent implémenter le modèle. Des règles de décisions sur le déplacement des troupeaux sont ajoutées à l'implémentation du modèle. Plusieurs simulations sont lancées par le modèle afin de vérifier si les données de sortie du SMA sont cohérentes avec des données du terrain, issues d'enquêtes auprès des bergers. Par ailleurs avec les simulations, les règles de décision du déplacement des troupeaux et les données du Rami Pastoral sont vérifiés.

Des scénarios, répondants aux enjeux du territoire, sont proposés suite à une discussion avec le PNR de la Narbonnaise en Méditerranée, gestionnaire des espaces naturels de la Clape. C'est également l'occasion d'avoir une expertise sur les données de sortie du modèle.

**Mots clés : Massif de la Clape, Pastoralisme, Berger, Méditerranée, Modélisation, SMA.**