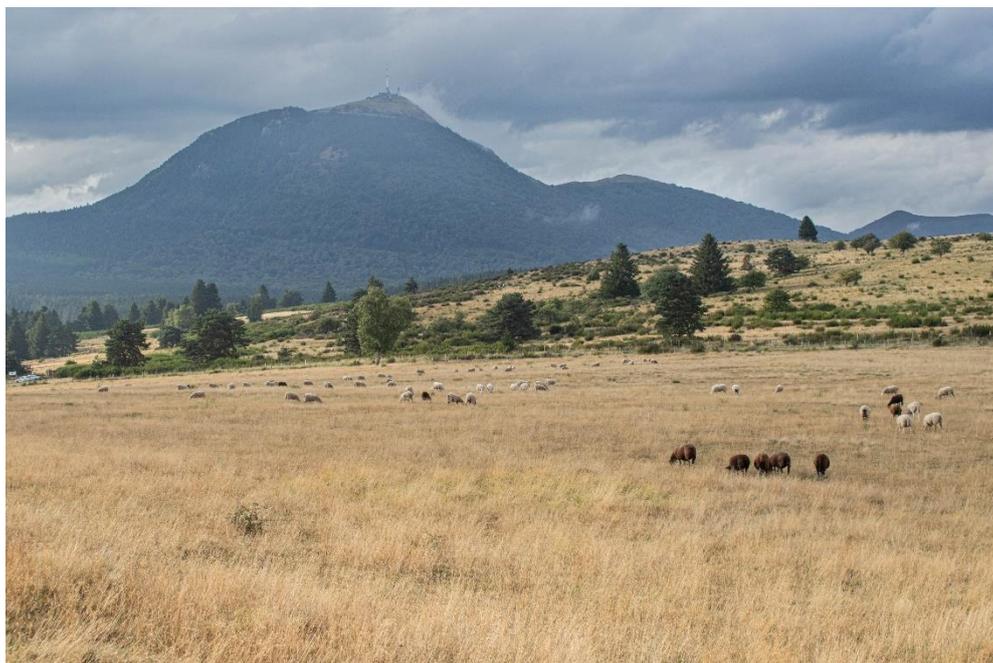


**Mesure de la résilience des systèmes d'élevages bio
herbagers du Massif Central face aux aléas climatiques**



Mémoire de Fin d'Etudes

Promotion 2017

Soutenu le 26 septembre 2022 à l'ESA, Angers

BOIVENT Célia

Elève ingénieure ESA

Patronne du mémoire : Claire MANOLI

Remerciements

Ce livrable est un peu plus qu'un simple rapport. Il représente pour moi, la finalisation des cinq années d'école d'ingénieur en agriculture qui ont fait de moi, en grande partie, la jeune professionnelle des productions animales que je suis aujourd'hui. Alors, bien-sûr, nombreuses seraient les personnes à remercier. Pour elles, je vous adresse ma profonde reconnaissance.

Néanmoins, ce rapport c'est aussi une belle expérience. Pour l'avoir vécu, je tiens d'abord à remercier Patrick pour sa pédagogie, ses encouragements et la crédibilité qu'il m'a accordé. Tu m'as permis de faire grandir des précieuses compétences de synthèse, d'analyse et mon esprit critique.

Merci aussi aux responsables de production du réseau Inosys sur la zone du Massif Central, Yannick Pechuzal, Christèle Pineau, Catherine De Boissieu et Marie Miquel de l'Institut de l'élevage ainsi qu'aux porteuses du projet BioRéférences, Myriam Vallas et Julie Grenier du Pôle agriculture biologique Massif Central pour le temps réservé aux réponses à mes questionnements. Le projet dans lequel s'est inséré ce travail est un projet financé dans le cadre de la Convention Massif Central par l'Etat (FNADT), les Régions Languedoc Roussillon, Auvergne, Rhône-Alpes, Nouvelle Aquitaine, les Départements de l'Aveyron et de la Corrèze.

Merci également à Claire Manoli, pour son attention à mon égard, ses relectures et la pertinence de ses remarques.

Je remercie également les parties prenantes du projet Adaptation des Pratiques Culturelles au Changement Climatique (AP3C) pour m'avoir fait bénéficier de leurs acquis et leur expertise. J'adresse plus spécifiquement des remerciements à Vincent Cailliez, climatologue à la chambre d'agriculture de la Creuse pour le soin qu'il a réservé à mon accueil à Guéret.

Je souhaite également remercier l'équipe COMETE, dans laquelle j'ai pris place pendant six mois pour réaliser ce travail. Merci pour leur accueil, leurs conseils, les moments de détente que l'on a partagé. Plus particulièrement, merci à Jean-Joseph et Anne qui ont mis leur expertise d'économètre et de statisticienne à contribution de ce travail. Merci à Anaïs, Abdel et Lucie pour les cafés, les gâteaux, les rigolades et la bonne humeur dans laquelle ils m'ont fait passer ce stage. Je leur souhaite du courage une bonne continuation pour la fin de leur stage et thèses.

Enfin, merci à mes amis agro de Montpellier, de l'ESA et de l'ISTOM avec qui j'ai pu randonner, grimper, me baigner, jouer, faire beaucoup de barbecues, et découvrir un peu plus cette belle région qu'est l'Auvergne. Ce stage n'aurait pas été pareil sans vous.

Sommaire

Remerciements

Sigles et abréviations

Avant-propos

Introduction..... 1

Partie I : Etat de l'art

1 Le projet BioRéférences : produire des références d'élevages durables et résilients en agriculture biologique 3

1.1 Objectifs du projet Bioréférences..... 3

1.2 Parties prenantes de la mission..... 3

2 Les exploitations d'élevage spécialisées ruminants en agriculture biologique sont soumises à des aléas 4

2.1 Elevages ruminants en AB dans le Massif Central 4

2.1.1 L'élevage de ruminants en agriculture biologique spécialisés..... 4

2.1.2 Les exploitations de ruminants biologiques du Massif Central..... 6

2.2 Le contexte d'évolution des filières ruminants du Massif Central 8

2.2.1 Aléas climatiques 8

2.2.2 Aléas de prix 19

2.2.3 Et d'autres aléas 11

3 Le concept de la résilience au service des élevages face à ces perturbations..... 11

3.1 Le système étudié 12

3.2 La résilience en théorie 12

3.2.1 Caractérisation de la résilience 12

3.2.2 Modalités d'adaptation des élevages..... 13

3.3 Evaluation de la résilience ; en pratique 13

4 Indicateurs étudiés, stratégies et facteurs résilients identifiés..... 15

4.1 Indicateurs mobilisés pour l'étude de la résilience 15

4.2 Pratiques d'élevage et éléments structurels favorisant la résilience 16

5 Problématisation..... 17

5.1 Conclusion de la revue bibliographique 17

5.2 Reformulation des objectifs 18

Partie II : Matériel et méthodes

1 Données météorologiques..... 19

1.1 Réception des données..... 19

1.2 Traitement des données..... 19

1.2.1 Procédure de reconstitution des données manquantes 19

1.2.2 Calcul des évaporations potentielles (SIDAM 2018)..... 20

1.3	Calcul des indicateurs climatiques et agro-climatiques	20
2	Données d'élevage.....	21
2.1	Caractéristiques des exploitations du réseau d'élevage	21
2.2	L'échantillon de fermes mobilisé.....	22
2.2.1	Constitution du réseau Bioréférences.....	22
2.2.2	Description de l'échantillon.....	23
2.3	Données mobilisées	24
3	Analyses statistiques.....	24
3.1	Appariement des données climat et exploitation.....	24
3.2	Modèle d'explication de l'adaptation aux aléas climatiques	25
3.2.1	Modélisation par approche PLS	25
3.2.2	Principes de fonctionnement de l'approche PLS	26
3.3	Application au cas d'étude.....	28
3.3.1	Transformation des variables : une standardisation originale	28
3.3.2	Choix des variables intégrées au modèle : le modèle de mesure	29
3.3.3	Choix des relations entre variables latentes : le modèle structurel.....	30
3.4	Classification	30
3.4.1	Production de connaissances techniques.....	30
3.4.2	Principes des analyses.....	31
Partie III : Résultats		
1	Analyse descriptive des variables.....	33
1.1	Observation des trajectoires générales des fermes et du climat entre 2014 et 2020 33	
1.1.1	Evolutions moyennes des variables concernant les exploitations.....	33
1.1.2	Evolutions climatiques moyennes subies par les exploitations	37
2	Description du modèle d'approche PLS de la résilience	39
2.1	Le modèle de mesure : « Inner model »	39
2.2	Le modèle structurel : « Outer model ».....	41
3	Résultats de la classification selon les composantes de la PLS	42
3.1	Résultats de l'analyse en composante principale (ACP).....	42
3.2	Résultats de la classification ascendante hiérarchique.....	42
3.3	Description des classes.....	43
Partie IV : Discussion		
1	Interprétation des résultats	46
1.1	Caractérisation et fonctionnement des systèmes	46
1.1.1	Système fourrager : production et modes de consommation	46
1.1.2	Production et mode de consommation des concentrés	46

1.1.3	Résultats technico-économiques.....	46
1.2	Incidence des aléas climatiques.....	47
1.2.1	Sur l'herbe et la gestion des prairies	47
1.2.2	Sur les cultures annuelles et l'alimentation du troupeau	48
1.3	Adaptations des pratiques agricoles et facteurs de production	49
1.3.1	Adaptations relevées.....	49
1.3.2	Regard critique sur ces adaptations	50
1.4	Différents profils et différences de résilience	51
2	Limites et perspectives.....	53
2.1	Limites d'interprétations et méthodologiques.....	53
2.2	Perspectives.....	54
	Conclusion.....	56
	Liste bibliographique.....	58
	Table des figures et tableaux.....	61

Annexes

Sigles et abréviations

°C : Degré Celsius

AB : Agriculture Biologique

ACP : Analyse en Composante Principale

AOP : Appellation d'Origine Protégée

AP3C : Adaptation des Pratiques Culturelles au Changement Climatique

BHP : Bilan Hydrique Potentiel

BHR : Bilan Hydrique Réel

BL : Bovins Lait

BV : Bovins Viande

CAH : Classification ascendante hiérarchique

CNE : Confédération National de l'Elevage

COMETE : COncption, Modélisation et Evaluation des SysTèmes d'Elevage

DRAAF : Direction Régionale de l'Agriculture, l'Alimentation et de la Forêt

EARL : Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée

ETP : Evapo-Transpiration Potentielle

ETR : Evapo-Transpiration Réelle

GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun

ha : hectare

IDELE : Institut de l'élevage

INAO : Institut National de l'Origine et de la Qualité

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

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (Groupe Intergouvernemental des Experts sur le Changement Climatique : GIEC)

MS : matière sèche

OL : Ovins Lait

OV : Ovins Viande

PBS : Produit Brut Standard

PLS : Partial Least Square

RFU : Réserve Facilement Utilisable

RICA : Réseau d'Information Comptable Agricole

RS : Réserve de Survie

RU : Réserve Utile

SAU : Surface Agricole Utile

SES : Systèmes socio-écologiques

SFP : Surface Fourragère Principale

SIDAM : Service Interdépartemental pour l'Animation du Massif Central

UGB : Unité Gros Bétail

UMO : Unité de Main d'Œuvre

UMRH : Unité Mixte de Recherche Herbivores

VL : Variable latente

VM : Variable manifeste

Avant-propos

Afin de faciliter la lecture de ce rapport, il a été décidé d'utiliser le genre masculin pour désigner l'ensemble des genres lorsqu'il n'était pas possible d'utiliser de mots épicènes, c'est-à-dire « non genrés ». Ainsi, l'éleveur par exemple, utilisé de façon générique, ou les éleveurs renvoient aux éleveuses et aux éleveurs.

Introduction

Les systèmes d'élevages de ruminants sont confrontés à une multiplicité de risques et de défis. Les systèmes d'élevages ont toujours dû évoluer, ou même se transformer, pour faire face aux défis que la société ou son environnement lui ont imposé au cours des siècles (Jussiau 1999). Aujourd'hui, les systèmes d'élevage sont à la croisée de nombreux enjeux qui dépassent largement l'unique fonction de production d'alimentation. Il faut maintenant concevoir des systèmes en associant les contraintes techniques (physiologie, agronomie, foncier, prix, rémunération ...), les contraintes imposées par les sujets de controverses (bien-être animal, sanitaire et organisation géographique) et les contraintes environnementales (Béranger 2005; Delanoue et Roguet 2015). Pour les éleveurs, l'enjeu de l'évolution de leur système est d'appréhender cette accumulation de contraintes pour rester pérenne, c'est-à-dire de continuer à pouvoir vivre de leur activité sur le long terme (Dimon et al. 2017). Autrement dit, ils doivent être, ou à défaut, devenir, résilients.

Parmi les grands bouleversements qui attendent les systèmes agricoles, le contexte climatique fait l'objet d'une inquiétude grandissante auprès de tous les acteurs des filières, et à raison. D'ici 2040, non seulement la température moyenne annuelle sur la surface globale de la Terre va augmenter, mais la fréquence et l'intensité des aléas climatiques augmentera également. Le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat (IPCC) préconise donc d'agir non seulement pour l'atténuation des impacts humains, mais aussi de travailler sur les adaptations des systèmes agricoles pour maintenir la sécurité alimentaire et éviter les conflits sociaux. (IPCC 2022)

Les bouleversements induits par le changement climatique observés au niveau local et saisonniers sont variables (SIDAM 2021; IPCC 2022). En effet, le projet Adaptation des Pratiques Cultures au Changement Climatique (AP3C), dans le cadre d'une prospective à l'aide de modèles climatologiques, s'est attaché à décrire un climat type 2050 appliqué à la zone du Massif Central et a mis en évidence une évolution locale du climat. Ces évolutions prévoient une complexification des pratiques culturelles, notamment celles de l'herbe et des autres fourrages (SIDAM 2019a). Ces éléments indiquent bien que les systèmes d'élevage ruminants, particulièrement les systèmes herbagers, seront pénalisés s'ils ne sont pas adaptés à ces évolutions climatiques (Mosnier et al. 2014).

Le Massif Central, zone importante d'élevage herbager en France, recouvre un peu moins de 15% de la surface agricole utile (SAU) nationale mais concentre respectivement près de 25 et 33% des cheptels bovins et ovins nationaux (IDELE et CNE 2021a; 2021b; Agence Bio 2021; Auvergne-Rhône-Alpes 2022; Data.gouv.fr s. d.).

Les systèmes d'élevages de ruminants du Massif Central s'appuient donc fortement sur une ressource herbagère (Cerles et al. 2017). Ceci est d'autant plus vrai pour les élevages en agriculture biologique (AB). En effet, les nouvelles réglementations de la bio au 1^e janvier 2022 ont pour objectif de renforcer le lien au sol des élevages bio (INAO 2022a).

Les évolutions des pratiques d'élevages de ruminants face aux enjeux des dernières décennies ont pu fragiliser les systèmes face aux aléas climatiques. Pourtant, au vu des prédictions de l'IPCC mais aussi celles fournies par AP3C, la gestion des ressources alimentaires des élevages ruminants bio sera complexifiée. C'est potentiellement encore plus vrai pour l'AB, déjà soumis à des contraintes sur les modes de production et d'approvisionnement de son alimentation. Dans la zone du Massif Central, les élevages constituent de forts enjeux économiques et sociaux, par l'emploi qu'ils génèrent, sociétaux, par l'image qu'ils ont (pâturage, SIQO), mais également environnementaux, pour les services rendus. Il est donc nécessaire de trouver des leviers de résilience de ces élevages. Dans le cadre du projet BioRéférences porté par le Pôle AB Massif Central, on cherche à comprendre quelles adaptations techniques les exploitations herbagères mettent en place face aux aléas climatiques des dernières années, notamment les sécheresses. Qualifier ces adaptations permettrait de comprendre lesquelles seront les plus favorables à leur pérennité. C'est donc l'objectif que se donne ce rapport.

Pour atteindre cet objectif, une bibliographie est d'abord présentée sur les sujets spécifiques aux élevages de ruminants bio du Massif Central, des aléas climatiques auxquels ils sont soumis, du concept de résilience et des techniques d'adaptations étudiés. Ensuite, la mise en place d'une méthode d'analyse statistique originale, en mobilisant à la fois des données climatiques et des données structurelles et zootechniques sur sept années, permettra d'analyser la résilience des élevages. Les parties suivantes permettront de présenter les résultats mis en évidence, puis de les discuter.

Partie I : Etat de l'art

1 Le projet BioRéférences : produire des références d'élevages durables et résilients en agriculture biologique

1.1 Objectifs du projet Bioréférences

Cette mission s'inscrit dans le cadre du projet Bioréférences. Bioréférences est un projet qui a démarré en 2015, porté par le Pôle Bio Massif Central, à la suite d'un projet qui visait déjà à produire des références technico-économiques. Ce dernier projet a pour ambition un enjeu majeur des productions animales, et plus précisément des productions ovines, bovines et caprines bio ; la production de références en bio pour sensibiliser, informer, accompagner et former les acteurs de l'AB. Parmi les objectifs incontournables du projet il y a la caractérisation des systèmes et de leur durabilité, leur capacité à valoriser des ressources naturelles, leur capacité à s'adapter face aux aléas et leur rôle dans le développement durable des territoires (Pôle Bio Massif Central 2021). Pour produire des références, BioRéférences s'appuie sur un réseau d'élevages suivi selon la méthodologie Inosys-Réseaux d'Élevage (Chambres d'Agriculture et IDELE 2014). Le fonctionnement de ce réseau d'élevage sera davantage détaillé dans la partie II, Matériel et méthodes. L'utilisation de ce réseau s'inscrit dans une démarche de diffusion de notions de multi-performance, de résilience et de vivabilité pour des systèmes d'élevage porteurs d'avenir (IDELE s. d.; Chambres d'Agriculture et IDELE 2014).

Ces projets s'inscrivent donc dans des travaux de longue haleine puisqu'il faut produire des références, mais aussi les actualiser et les enrichir pour les diffuser.

1.2 Parties prenantes de la mission

Le projet **Bioréférences**, porté par le Pôle AB Massif Central (Pôle AB MC), regroupe une vingtaine d'acteurs : l'INRAE de Theix, l'Institut de l'élevage, Arvalis l'institut du végétal, l'Institut Technique de l'Agriculture Biologique, onze Chambres d'Agricultures du Massif Central mais aussi d'autres acteurs de la bio et de l'élevage du Massif Central. Dans le cadre de ce travail, ce sont surtout le Pôle AB MC, en tant que porteur du projet, et les ingénieurs de l'IDELE, responsables du réseau d'élevages Inosys au niveau Massif Central (bovins, ovins, ovins, caprins lait ou viande) qui ont pris part aux réflexions.

Dans le cadre de ce travail, le projet **Adaptations des pratiques culturelles au changement climatique** (AP3C) porté par le Service Interdépartemental pour l'Animation du Massif Central (SIDAM) sera mobilisé. Ce projet, lancé en 2015 a pour objectif de fournir des vues prospectives sur le changement climatique aux acteurs du monde agricole.

Ce projet permet de fournir des indicateurs agro climatiques concrets pour les pratiques culturales dans les scénarios d'évolutions du climat. Ces indicateurs permettent d'obtenir une analyse fine des phénomènes climatiques à venir et de diffuser des innovations agronomiques à mettre en place sur les exploitations. Les travaux réalisés pour ce projet sont mobilisés dans cette présente étude, comme la méthodologie climatique mise en place par Vincent Cailliez, le climatologue du projet.

Aussi, cette étude sur l'adaptation aux aléas climatiques et la résilience des systèmes d'élevage ruminants bio spécialisés s'inscrit plus largement dans les thématiques de recherche de l'équipe **COMETE** (COncption, Modélisation et Evaluation des sysTèmes d'Elevage) de l'UMRH (Unité Mixte de Recherche Herbivores) de l'INRAE. A ce titre, les experts de l'équipe, en modélisation et en analyse multivariée sont intervenus en appui sur la méthodologie mise en place.

2 Les exploitations d'élevage spécialisées ruminants en agriculture biologique sont soumises à des aléas

2.1 Elevages ruminants en AB dans le Massif Central

2.1.1 L'élevage de ruminants en agriculture biologique spécialisés

Dans cette étude, seules les filières **bovins et ovins lait, bovins et ovins viande** en agriculture biologique (AB) dites spécialisées à dominante herbagère ont été étudié. Etant donné le manque de données disponibles en filière caprine (faible échantillon et peu d'exploitations en échantillon constant sur la durée du projet) pour l'analyse menée, il a été choisi de l'exclure de ce travail.

La **spécialisation des élevages** se définit de manière différente selon les acteurs et leurs objectifs. Pour le réseau d'information comptable agricole (RICA), la spécialisation d'une exploitation renvoie à l'atelier dont le produit brut standard de ce dit atelier, sur le produit brut standard total de l'exploitation est supérieur à 75%. Le calcul du produit brut standard suit une méthodologie précise qui renvoie à un potentiel chiffre d'affaires hors aides et subventions. Cela permet de standardiser l'approche du produit brut au niveau national et entre les différentes productions agricoles (RICA 2020). Selon ce critère, les exploitations sont ensuite classées en Orientation Technico-Economique (OTEX). Pour le projet Bioréférences, la sélection des élevages spécialisés s'est réalisée sur la base des dires d'experts du réseau, en suivant une logique similaire.

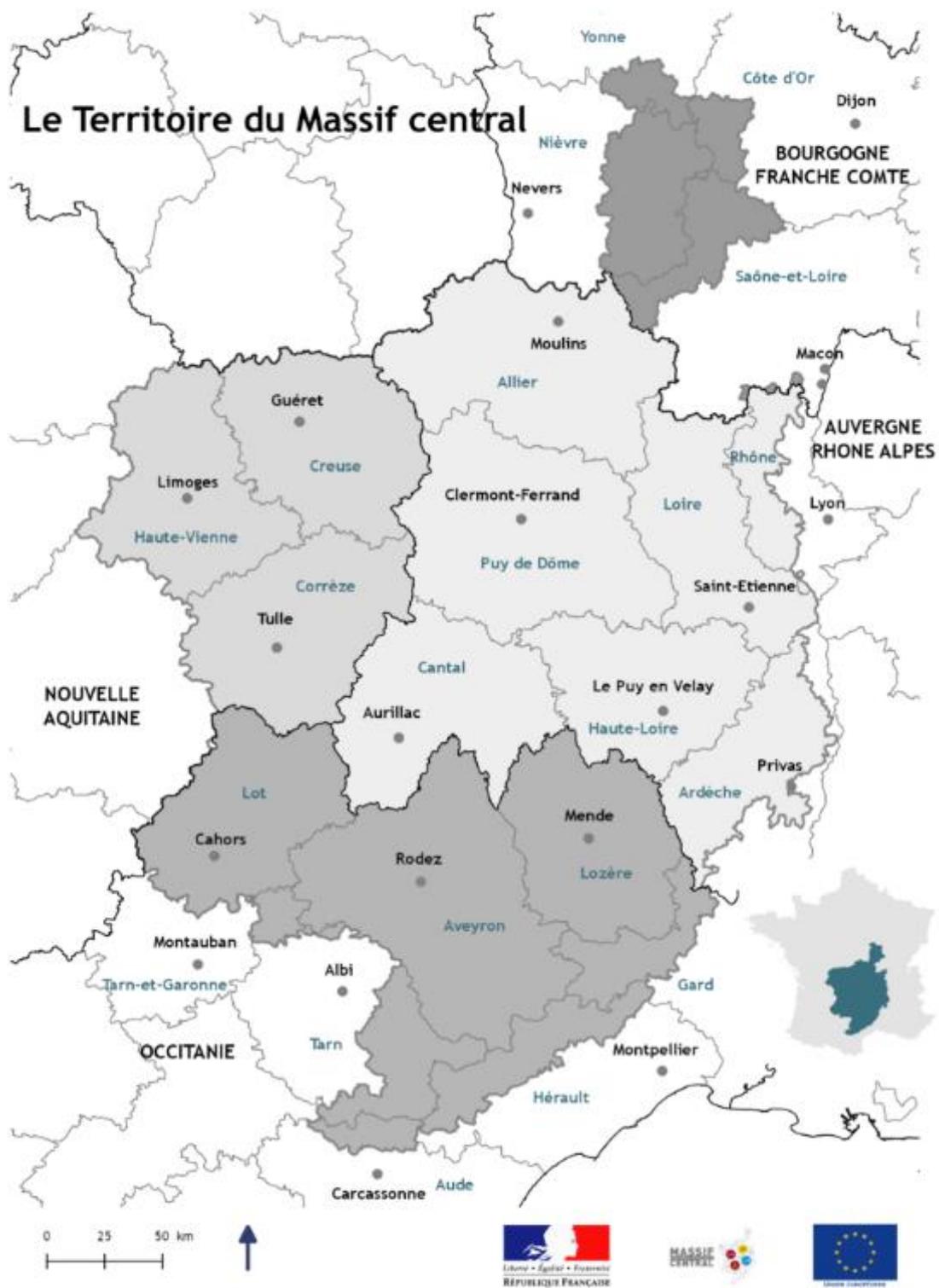
Tableau 1 : Cheptel bovins et ovins en AB et en conventionnel en France

<i>En France</i>	<i>Vaches laitières (têtes)</i>	<i>Vaches allaitantes (têtes)</i>	<i>Brebis laitières (têtes)</i>	<i>Brebis allaitantes (têtes)</i>
Total (IDELE et CNE 2021a; 2021b)	3 652 000	3 827 000	1 605 000	3 797 000
AB (Agence Bio 2021)	261 381	219 300	155 855	245 664
Rapport	7.57%	5.46%	12.82%	7.26%
	6.4%		7.4%	

L'**agriculture biologique (AB)** garantit avant tout un lien au sol, des pratiques environnementales optimales, un respect de la biodiversité, la préservation des ressources naturelles ainsi qu'un niveau élevé de bien-être animal (INAO 2016). C'est pourquoi l'une des lignes directrices est l'interdiction d'utilisation d'intrants chimiques, de synthèse ou génétiquement modifiés (INAO 2022a). En 2020, environ 12% des exploitations françaises produisent en AB sur 9,5% de la SAU française, toutes productions confondues. C'est un chiffre en progression, avec cependant des tendances variées selon les productions. Parmi ces exploitations en AB, on compte 17 204 élevages, ce qui représente près d'un tiers des exploitations agricoles en AB (Agence Bio 2021). En nombre de tête, les cheptels français bio bovins et ovins représentent respectivement 6,4% et 7,4% des cheptels nationaux tout espèces. La distribution de ce rapport entre les cheptels laitiers et allaitants est présentée dans le tableau 1. Au 1^e janvier 2022, la réglementation biologique a évolué. Désormais, les élevages devront maximiser la part d'aliments autoproduits, à hauteur minimale de 60% des aliments distribués aux animaux. Cette part passera à 70% d'ici à 2024. Aussi, un accès permanent aux pâturages lorsque les conditions le permettent ou aux fourrages grossiers le cas échéant est nécessaire pour les élevages de ruminants. De plus, le règlement cadre de l'agriculture biologique est maintenant défini au niveau européen, et s'applique uniformément dans les pays d'Europe depuis le 1^e janvier 2022. Chaque filière de production établit ensuite un cahier des charges qui répond aux exigences de ce règlement cadre (INAO 2022a).

Enfin, les élevages de ruminants français ont dû adopter une certaine **trajectoire** ces dernières années pour faire face aux défis imposés à la profession agricole. Il a été constaté que les exploitations ont agrandi leur surface et leur cheptel à main d'œuvre constante. En 2020, la taille moyenne des élevages spécialisés d'herbivores tout mode de production confondu (Orientation Technico-Economique (OTEX) bovins lait, bovins viandes, ovins ou caprins), atteint 90 ha dans le Massif Central, soit 20 ha de plus en moyenne qu'il y a 10 ans. Ce sont surtout les systèmes spécialisés bovins allaitants qui ont d'une part, diminué en nombre (5 000 exploitations en moins), et d'autre part augmenté en surface (22 000 ha en plus) (Auvergne-Rhône-Alpes 2022). La taille des élevages spécialisés ruminants bio suit sensiblement la même dynamique ; environ 90 ha en augmentation ces dernières années (Veysset et al. 2014; Ripoche 2020).

La **taille économique** des filières agricoles sur le Massif Central est mesurée par la production brute standard (PBS) dans le recensement agricole de 2010. Elle est inférieure à la moyenne nationale. La variabilité de cet indicateur économique est presque distinctement liée aux différents bassins de production, principalement l'élevage dans le Massif Central, aux conditions pédoclimatiques et donc aux types de productions en tant que tel (Agreste 2019).



Carte réalisée par le GIP Massif central dans le cadre du projet Dynamiques Territoriales, projet cofinancé par l'Union européenne. L'Europe s'engage dans le Massif central avec le fonds européen de développement régional.

Figure 1: Carte des régions et départements appartenant au Massif Central

De plus, de nombreux travaux ont bien mis en évidence la **dégradation de l'efficacité technique et de la productivité du capital** pour les filières ovines et bovines du Massif Central au cours des dernières décennies. Cette perte d'efficacité s'explique en partie par une simplification des pratiques d'élevage (Veysset et al. 2004; 2014). Cela est davantage marquée pour les filières allaitantes et conventionnelles, bien que les filières de ruminants bio n'y échappent pas (Veysset et al. 2013; 2018). Ainsi, le revenu des agriculteurs peut se trouver déstabiliser (Piet et al. 2020; Veysset et Boukhriss 2021).

2.1.2 Les exploitations de ruminants biologiques du Massif Central

2.1.2.1 Le territoire

Le Massif Central s'étale sur 85 000 km² au total (Territoire du Massif Central s. d.). La zone du Massif Central n'est pas représentée par une unique administration, puisque son territoire s'étale sur 4 régions, 22 départements, dont 11 départements seulement en partie (figure 1). C'est pourquoi les chiffres de recensements agricoles appliqués à cette zone sont difficiles à obtenir. A défaut, nous avons choisi de présenter les chiffres des onze départements dont le territoire entier est compté dans le Massif Central (MC11) si nous ne disposons pas de chiffres appliqués au territoire (MC le cas échéant).

D'après le recensement agricole de 2010, le Massif Central assure 8% de la production agricole de la France métropolitaine en valeur. Du aux spécificités pédoclimatiques du territoire, c'est l'élevage extensif d'herbivores qui domine l'activité agricole du Massif Central (Agreste 2019). En effet, 96% des exploitations agricoles se situent en zone défavorisée ; de montagne ou de piémont (Cerles et al. 2017). D'après le recensement agricole de 2020, près de 70% des exploitations agricoles du territoire ont une activité d'élevage et plus de 80% de la SAU du territoire est en prairie (Auvergne-Rhône-Alpes 2022).

2.1.2.2 Les bassins de production et les élevages bio

La distribution des exploitations bovines et ovines, lait et viande, suit très logiquement la délimitation de quatre bassins de production majeur du Massif Central : le Limousin, le Charolais, le bassin laitier et le bassin ovin laitier ou sud séchant (Cerles et al. 2017). Ainsi, le **Limousin**, bassin de bovins allaitants majoritairement naisseurs, correspond à la Haute-Vienne, la Corrèze et la Creuse. Le **Charolais**, bassin de bovins allaitants majoritairement naisseurs, correspond aux départements de la région Bourgogne ainsi que l'Allier et la Loire. Le **bassin laitier**, regroupant de nombreuses AOP fromagères, renvoie au Puy-de-Dôme, au Cantal, à la Haute-Loire, l'Ardèche, la Loire et au Rhône. Enfin le **bassin ovin laitier du sud séchant**, très marqué par la production sous AOP Rocquefort, correspond au Lot, à l'Aveyron, la Lozère, l'Hérault, le Tarn et l'Aude (IDELE 2013; Cerles et al. 2017). Les exploitations bio sont distribuées de manière similaire dans les différentes zones des bassins de production.

Tableau 2: Cheptel bovins et ovins en AB et en conventionnel dans le Massif Central (MC)

<i>Dans le MC total</i>	<i>Vaches laitières (têtes)</i>	<i>Vaches allaitantes (têtes)</i>	<i>Brebis laitières (têtes)</i>	<i>Brebis allaitantes (têtes)</i>
Total (Auvergne- Rhône-Alpes 2022)	384 194	1 415 115	704 628	1 060 623
AB (Data.gouv.fr s. d.)	34 345	47 047	105 644	58 030
Rapport AB/conventionnel Massif Central	8,9%	3,3%	15%	5,5%
Rapport national	7.57%	5.46%	12.82%	7.26%

La distribution des cheptels ruminants toutes productions et en AB selon les onze départements du Massif Central sont à retrouver en annexe I.

Plus particulièrement, il est intéressant de constater le nombre d'exploitations biologiques dans l'Aveyron. En effet, celui-ci est assez élevé par rapport aux autres départements. L'Aveyron est déjà la région regroupant le plus de têtes, bovines et ovines confondues, du Massif. Pourtant, en proportion, les exploitations bio aveyronnaise (9% des exploitations d'Aveyron) ne sont pas largement plus nombreuses que les bios du Massif Central. Sans surprise, il y a également une surreprésentation des élevages ovins laitiers dans l'Aveyron par rapport aux autres départements et parmi ces élevages ovins, 17% sont biologiques. Cela est non seulement supérieur à la proportion du Massif, mais c'est aussi supérieur à la proportion nationale. En effet, les brebis laitières bio françaises sont majoritairement aveyronnaises (55%).

2.1.2.3 Spécificités des élevages bio du Massif Central

La Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt (DRAAF) Auvergne-Rhône-Alpes (2022) référence 48 240 exploitations de bovins et d'ovins au total sur le territoire du Massif Central (MC). Dans le Massif Central (MC11), environ 2 895 élevages, productions bovines et ovines confondues, sont référencées par l'Agence Bio en 2020 comme étant en agriculture biologique ; soit déjà certifiées, soit en conversion (Data.gouv.fr s. d.). L'élevage de bovins et ovins sous agriculture biologique dans le Massif Central (MC11) représente donc un peu plus de 7% des exploitations ovines et bovines du même territoire.

En regardant à présent par type de production, on remarque qu'il y a proportionnellement plus de productions laitières en bio sur le Massif qu'au niveau national comme le présente le tableau 2. A l'inverse, il y a proportionnellement moins d'allaitants bio sur le Massif qu'au niveau national. Pourtant, le cheptel allaitant du Massif représente 36,9% et 27,9% des mères de France (respectivement bovins et ovins). Le Massif Central reste tout de même très impliqué dans l'agriculture biologique puisque 19% de sa SAU est en bio (toutes productions confondues), contre 15% au niveau national (Agreste 2019).

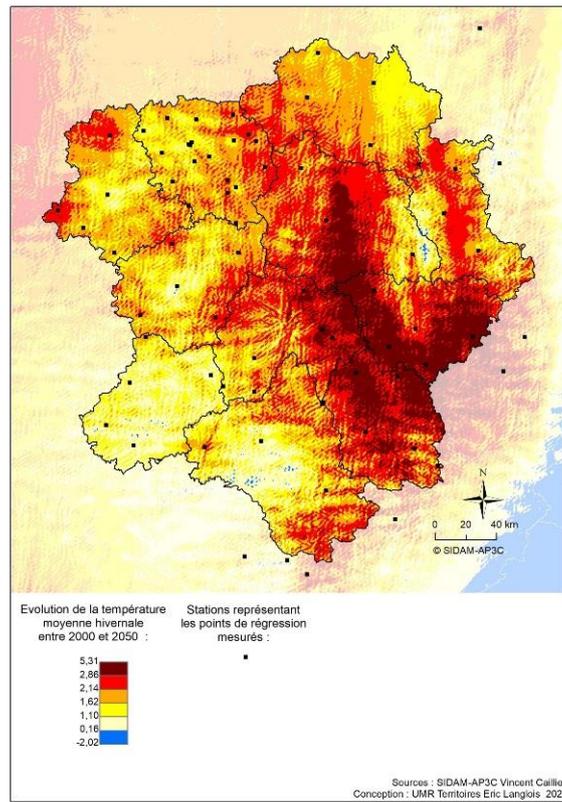


Figure 2: Carte de l'évolution de la température moyenne hivernale entre 2000 et 2050

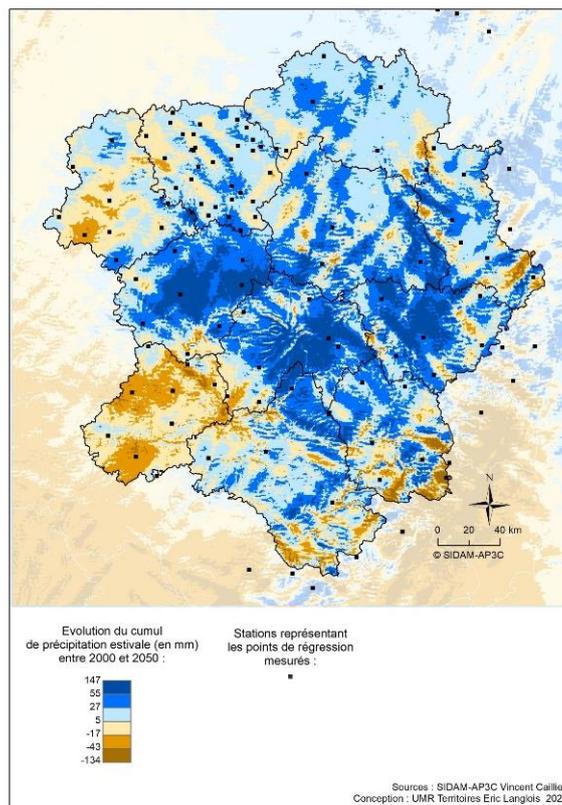


Figure 3: Carte de l'évolution du cumul de précipitations estivales entre 2000 et 2050

2.2 Le contexte d'évolution des filières ruminants du Massif Central

2.2.1 Aléas climatiques

2.2.1.1 *Evolutions tendanciennes mondiales*

L'IPCC fournit depuis les années 90 des expertises sur l'évolution du climat à l'échelle mondiale. Ces rapports ont pour objectif d'alarmer les politiques et les communautés scientifiques sur les conséquences liées aux évolutions qu'impliquent le changement climatique. Ils se structurent en trois volets ; les phénomènes physiques du changement climatique, le risque et la vulnérabilité des systèmes (anthropiques notamment) et enfin les pistes d'atténuation envisageables.

Le dernier rapport d'évaluation fourni par le panel d'experts confirme encore davantage l'impact de l'Homme sur le climat ; augmentation de la température moyenne, acidification et réchauffement des océans, fonte des glaciers, ... (IPCC 2021). De plus, la vulnérabilité des écosystèmes et des populations sont très liées. Les problèmes sociaux et géopolitiques sont donc renforcés par la crise climatique.

Maintenant, l'évolution du climat doit être envisagé sous deux angles ; l'atténuation et l'adaptation des pratiques pour limiter les risques liés à l'augmentation de la fréquence et de la force des aléas climatiques (IPCC 2022).

2.2.1.2 *Qualification de l'aléa climatique*

Dans l'un de ses groupes de travail, l'IPCC étudie les impacts, les risques et la vulnérabilité du changement climatique sur les écosystèmes, la biodiversité et les sociétés humaines. Dans ce rapport, les experts différencient la notion d'aléas climatiques par son aspect intense et extrême. C'est un phénomène ponctuel mais de plus en plus fréquent. Il se différencie donc de la tendance. Les aléas climatiques causés par le changement climatique provoquent des dommages aux personnes et à la nature au-delà de ce que peut engendrer la variabilité naturelle du climat (IPCC 2022).

Un aléa climatique se différencie d'un climat par son caractère aléatoire. La définition du climat renvoie à une normale sur trente ans ou à une espérance climatique, c'est-à-dire la météo que l'on peut normalement espérer à une époque donnée. L'aléa climatique, d'un autre côté, correspond à ce que l'on n'attend pas dans le contexte de ce climat (Cailliez 2015). Pour le secteur agricole, l'aléa climatique est considéré lorsqu'il impacte négativement n'importe quelle composante du système de production (SIDAM 2021).

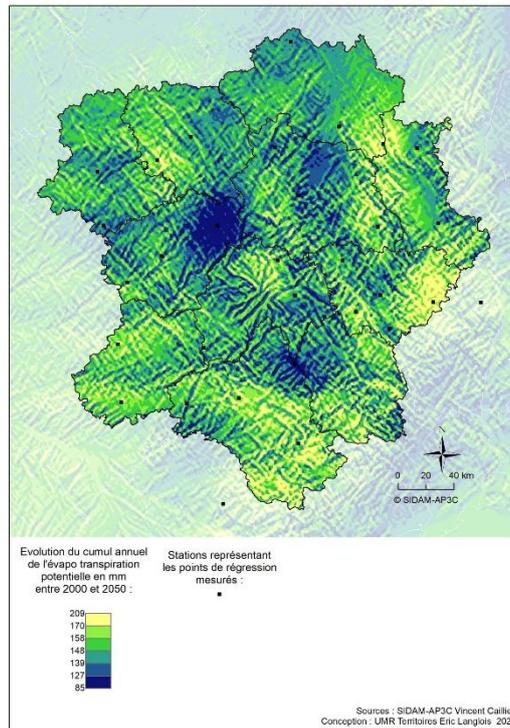


Figure 4: Carte de l'évolution du cumul annuel d'évapo-transpiration potentielle entre 2000 et 2050

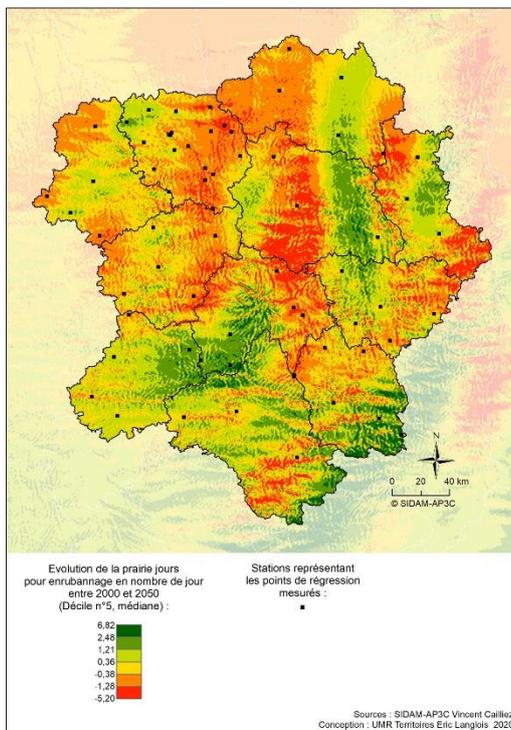


Figure 5: Evolution du nombre de jours pour enrubanner entre 2000 et 2050 (à gauche)

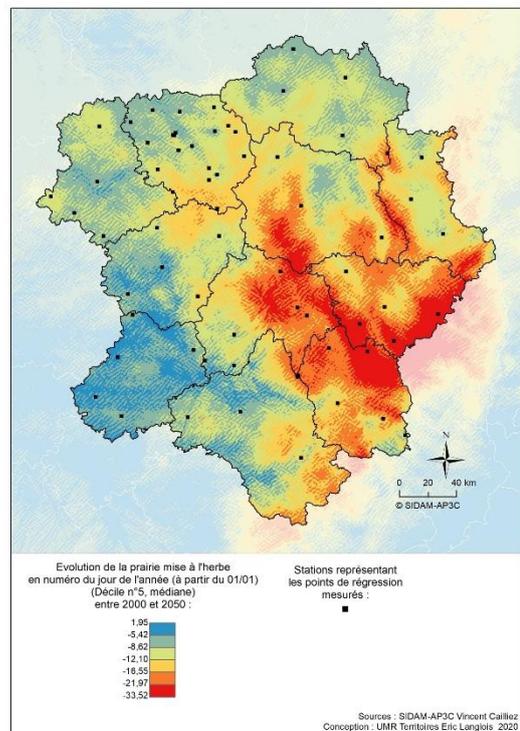


Figure 6: Evolution de la mise à l'herbe entre 2000 et 2050 (à droite)

2.2.1.1 Evolutions dans la zone du Massif Central

Le projet AP3C fournit un cadre de réflexion local sur les évolutions du climat dans le Massif Central, pour les acteurs des filières agricoles. Le travail compte deux piliers majeurs ; décrire les évolutions climatiques et décrire les impacts agronomiques pour comprendre quelles adaptations sont possibles. Les experts du projet ont décrit ces évolutions sur l'hypothèse de l'absence d'accélération de l'évolution climatique en cours.

D'abord, les évolutions climatiques prédites par AP3C mettent en évidence une **augmentation de la température moyenne annuelle** d'environ 2°C entre 2000 et 2050, sans grand contraste selon les zones du Massif sur l'année. En revanche, en hiver, il y aura des hausses de température soudaines sur quelques journées (figure 2). Aussi, les printemps seront en moyenne plus chauds, ceci davantage encore pour les vallées que pour les zones de montagne.

Les **précipitations annuelles** n'évolueront pas ou peu. En revanche, la distribution des précipitations sur l'année et sur les zones est très fortement bouleversée. Les étés seront marqués par une très forte augmentation de pluie, surtout pour la zone nord/nord-ouest du Massif, soit le bassin Limousin (figure 3). Les pluies de printemps diminueront. En automne, il y aurait des épisodes de fortes pluies surtout dans les Cévennes, dans le bassin lait brebis. Durant l'hiver, il y aura une diminution modérée sur la zone allant du Lot à l'Allier mais une augmentation modérée au nord-ouest (Limousin) et au sud-est (Brebis laitières).

Avec l'augmentation des températures moyennes, l'**évapotranspiration** (ETP) augmentera sensiblement sur l'année (figure 4). Également sans surprise, ce sera surtout en été et au printemps que l'ETP augmentera le plus vite. (SIDAM 2021)

Ces évolutions climatiques auront donc des impacts agronomiques conséquents. Comme la ressource principale des systèmes étudiés est l'herbe, le focus agronomique est fait sur l'herbe. Le **cycle de végétation** de l'herbe est modifié par les aléas climatiques. En effet, les stades majeurs de la culture et de son utilisation, redémarrage de la végétation, mise à l'herbe des animaux, récolte en ensilage, enrubannage, des foins précoces et tardif, seront tous plus précoces (figure 5 et 6). Certains de ces stades le seront davantage selon l'altitude.

Les **conditions hydriques** permettant la pousse de l'herbe seront également très évolutives. Globalement, sur le territoire et sur les différents stades au long de l'année, l'état hydrique, illustré par le ratio des précipitations sur l'ETP, sera en baisse. Cela signifie que la pousse de l'herbe sera impactée, voire arrêtée, selon les réserves du sol et les localités. En été, la diminution du ratio pluviométrie/ETP est liée surtout à une forte augmentation de l'ETP.

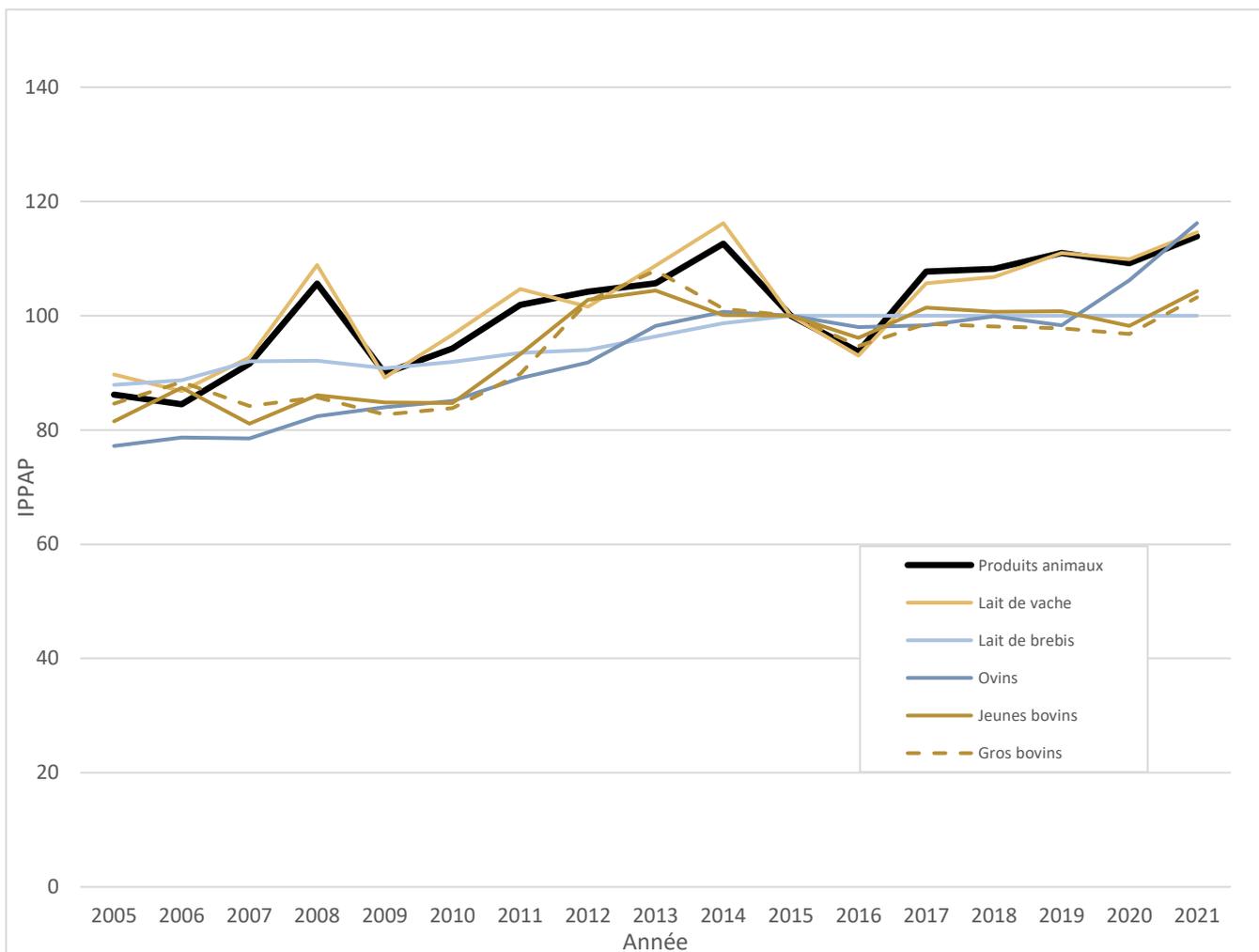


Figure 7: Evolution de l'indice des prix des produits agricoles à la production entre 2005 et 2021 (INSEE 2022c)

En hiver, c'est surtout la Corrèze et l'ouest du Cantal qui seront pénalisés, alors que l'évolution du ratio dépend surtout des précipitations. Cependant, en automne, la tendance de l'évolution de ce ratio est plutôt à la hausse, surtout dans les Cévennes. Cette augmentation est surtout causée par les précipitations.

Un autre point agronomique majeur pour l'herbe renvoie aux **conditions de semis** des prairies. Les prairies s'implantent au printemps ou en automne ; ce sont ces périodes qui rassemblent le plus de conditions favorables pour le semis et la levée. Néanmoins, l'inconvénient des semis de printemps réside dans la prolifération d'adventices qui concurrencent les espèces semées si elles ne s'implantent pas assez vite. A l'automne, ce sont surtout les conditions du sol, parfois très humides, qui peuvent impacter l'action mécanique du semis, et donc la bonne réalisation de celui-ci. Ainsi, en automne, une hausse des précipitations sur les périodes de semis est à prévoir, surtout dans les Cévennes et en Haute-Vienne.

Enfin, les séquences favorables aux **récoltes** d'enrubannage diminuent majoritairement sur le territoire. Pour les récoltes de foin, la diminution du nombre de jours favorables est également plutôt marquée (figure 5).

Aussi, ces grandes tendances sur le Massif Central n'empêche pas des évolutions inverses très localisées (SIDAM 2019a).

2.2.2 Aléas de prix

Les indices de prix des produits agricoles à la production (IPPAP) mesurent l'évolution des prix payés aux agriculteurs pour les produits qu'ils fournissent. Il s'agit d'un indice calculé par l'Institut National de la statistique et des études économiques (INSEE) (INSEE 2022b). Sur le graphique en figure 7, on y voit les évolutions majeures de prix entre 2005 et 2014, sur une base 100. Cette base correspond aux prix des produits payés pour l'année 2015. Bien qu'il s'agisse des produits agricoles conventionnels, ils illustrent la volatilité des prix des produits animaux mais également les années de crise comme en 2016. Cependant, le marché agricole des produits bio, s'il reste minoritaire en volume, est soumis à moins de variabilité de prix perçus. Ceci s'explique par la plus-value créée par les acteurs de la filière bio, attestée par un SIQO, et perçue par les consommateurs (Jeanneaux et al. 2019). Aussi, il existe des aides à l'AB, notamment pour encourager les conversions des exploitations et leur maintien (Produire bio 2022).

2.2.3 Et d'autres aléas

Les élevages peuvent être soumis à bien d'autres aléas, comme les aléas humains (maladies, décès, ...) ou sanitaires (boiteries, épizooties, ...). Cordier et al. (2008) recensent les principaux risques auxquels une exploitation doit faire face :

- Climatiques et sanitaires ; *sécheresses, épizooties, ...* qui affectent la quantité et la qualité des produits animaux
- Marché et fluctuation des prix ; *prix des intrants, ...*
- Institutionnels ; *politiques publiques, ...* qui influencent la production agricole
- Financier ; *variation du taux de change, des taux d'intérêts ...*
- Humains et professionnels ; *maladies, vols, ...* inhérents à toutes les entreprises

Dans ce rapport, ces types d'aléas ne seront pas étudiés, il n'a donc pas paru nécessaire d'en définir les termes et mécanismes. Cependant, il n'empêche que le contexte d'évolution de toutes exploitations comprend ces risques.

3 Le concept de la résilience au service des élevages face à ces perturbations

Des notions comme celles de la robustesse, la résilience, et la flexibilité sont de plus en plus utilisées pour décrire un système. Elles permettent de caractériser le comportement d'un système lorsqu'il est confronté à un aléa (Sauvant et Martin 2010; Dedieu et Ingrand 2010). Ces notions relèvent un enjeu actuel majeur, celui de caractériser les réactions du système qui persiste face aux chocs, aux perturbations et ainsi promouvoir des systèmes durables (Dardonville et al. 2021). Dans ce contexte, la résilience peut donc être perçue comme un cadre d'analyse des systèmes d'élevage.

Le concept de résilience a été majoritairement utilisé par les écologues pour décrire des écosystèmes. C'est d'ailleurs l'écologue Holling (1973) qui a décrit de manière fondamentale les concepts de résilience et stabilité, appliqués à sa science. De même, le concept de flexibilité a plutôt émergé dans les sciences de gestion (Ingrand et al. 2009; Astigarraga et Ingrand 2011). Ainsi, ces différents concepts ont été transférés dans plusieurs disciplines et leur domaine d'utilisation peut être très large : de la physique des matériaux à la psychologie. Dans sa revue, Gallopín (2006) fait d'ailleurs état de la multiplicité des interprétations possibles appliquées à chaque discipline, mais aussi des liens entre la résilience, la sensibilité, la capacité d'adaptation. De cette manière, il est parfois difficile de bien déterminer les limites des définitions entre ces différents concepts (Urruty et al. 2016; Dardonville et al. 2021).

Donc, le travail de cette partie sera de définir le plus explicitement possible ce que la résilience appliquée aux systèmes agricoles signifie, et comment peut-on la mesurer.

3.1 Le système étudié

Pour comprendre la résilience dans ce cas, il faut avant tout comprendre à quoi elle s'applique. Initialement, la résilience d'un système, en écologie, considère la capacité d'un milieu, un écosystème, à surmonter les perturbations sans l'Homme. La résilience s'appliquait donc à un écosystème, un milieu naturel (Holling 1973). Ensuite, le qualificatif de système socio-écologique (SES) a été introduit pour rendre compte des relations interdépendantes entre l'Homme et le milieu naturel (Holling 2001; Walker et al. 2004; Lagadeuc et Chenorkian 2009). Le SES imbrique donc plusieurs unités de production ; biologiques (animaux), techniques (machinisme) et sociales (éleveur) aux propriétés et relations différentes (Sauvant et Martin 2010; Urruty et al. 2016). Les systèmes agricoles sont donc des systèmes socio-écologiques, puisqu'ils imbriquent une multitude d'unités de production différentes. Le système d'élevage a pour objet principal la production d'extrants (viande, lait) qui est permise par les relations entre les unités biologiques, techniques et sociales du système (Urruty et al. 2016).

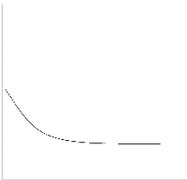
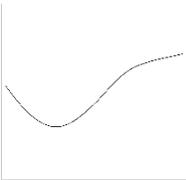
L'étude d'un SES implique intrinsèquement une dimension temporelle, en plus d'une dimension spatiale (Lagadeuc et Chenorkian 2009). A propos de la résilience d'un SES, de nombreux auteurs (Holling 2001; Walker et al. 2004; Darnhofer 2010; Urruty et al. 2016; Dardonville et al. 2021) font référence à une trajectoire dans le temps ou à la dynamique du système étudié. Un aléa donné peut impacter le système à court, moyen et/ou long terme. De l'autre côté, le système doit faire face aux perturbations en résolvant des problèmes à court terme, sans impacter l'accomplissement des objectifs de long terme (Urruty et al. 2016). Donc la notion de trajectoire, d'évolution dans le temps ou de dynamique est indissociable de la résilience.

3.2 La résilience en théorie

3.2.1 Caractérisation de la résilience

Lorsque le système est traversé d'une perturbation, plusieurs choses vont caractériser la trajectoire qu'il va prendre. Walker et al. (2004) proposent quatre aspects qui permettent de comprendre ce que la résilience apporte au système. Ainsi, lorsque la perturbation frappe le système, d'abord c'est **sa capacité de résistance aux changements** qui sera mise à l'épreuve. Elle renvoie à la capacité du système à traverser la perturbation sans avoir besoin de s'adapter, la capacité de résister. Dans la littérature, cela est associé à la rigidité et la robustesse (Sauvant et Martin 2010). Ensuite, il y a **la quantité maximale de changement** que le système peut absorber sans changer de nature (Ingrand et al. 2009).

Tableau 3: Modalités d'adaptation des systèmes d'élevage face aux perturbations (Sauvant et Martin 2010)

Modalités	Rigide	Elastique	Flexible	Plastique
Schéma de la trajectoire				
Capacité mobilisée	Robustesse	Adaptabilité		Transformabilité
Description	Pas d'adaptation	Modification transitoire de la structure	Modification de la structure en conservant la même finalité ou modification de la finalité en conservant la même structure	Modification de la structure et de la finalité

Cette notion est très en lien avec l'idée d'un retour à l'état initial du système. Néanmoins, elle peut être entendue comme le seuil de perturbations au-delà duquel le système rompt (Sauvant et Martin 2010). Walker et al. (2004) fait également référence à **la vulnérabilité** d'un système à une perturbation. C'est la sensibilité du système à une perturbation, liée également à son niveau d'exposition (Gallopín 2006). Enfin, une idée tout aussi importante que Gallopín (2006) a recensée, c'est **la panarchie**. Cette notion renvoie à la nécessaire cohérence du système entre ses unités de production. Lorsqu'une perturbation atteint un système, c'est l'ensemble des unités de production (animales, humaines, machines) qui doivent chacune s'adapter pour conserver la cohérence du système (Holling 2001). La résilience va donc correspondre aux modalités que prend le système pour perdurer, selon ses aspects caractéristiques décrit par Walker et al. (2004).

3.2.2 Modalités d'adaptation des élevages

Lorsqu'un choc frappe le système, il peut frapper les différentes unités qui le composent ; c'est l'idée de panarchie. Un choc peut affecter une seule unité, toutes ou seulement certaines. Ces unités ont des capacités de résistance, une quantité maximale de changement encaissable, des vulnérabilités et des relations de dépendances différentes. C'est pour cela qu'elles ne réagissent pas de la même manière à un choc. Ainsi, il est possible de distinguer différentes modalités d'adaptation (tableau 3). Ces modalités renvoient à des capacités du système : la robustesse, l'adaptabilité et la transformabilité (Walker et al. 2004; Meuwissen et al. 2019). Les facteurs du système d'élevage, attenants à ces capacités sont ensuite déterminés suivant le contexte d'analyse.

3.3 Evaluation de la résilience ; en pratique

L'opérationnalisation du concept de résilience est difficile à réaliser, dû à sa définition polysémique. Elle est d'ailleurs source de débats dans la littérature (Urruty et al. 2016; Dardonville et al. 2021). Finalement, Dardonville et al. (2021) ont dissocié deux types d'approches pour mesurer la résilience des systèmes agricoles dans une méta-analyse.

La première approche s'appuie sur l'évaluation de caractéristiques spécifiques d'un système. Dans cette première approche, les études réalisées prédéfinissent des caractéristiques du système, dits des proxys de la résilience (diversité, autonomie, ...), à partir de la littérature ou à dire d'experts (Gunderson 2000; Berkes 2007; Tiltonell 2020). Ensuite, les caractéristiques identifiées sont évaluées à l'aide de données technico-économiques ou par les perceptions des éleveurs. L'inconvénient de cette approche est qu'elle peut être limitée à certaines fonctions du système, car difficile à étendre totalement.

De plus, l'utilisation de certains proxys pour mesurer la résilience est débattue, en raison de trop peu de résultats concluants en expérimentation (Dardonville et al. 2021). En effet, les stratégies mobilisées pour maintenir les capacités de résilience du système d'élevage peuvent être très diverses et dépendantes du contexte. De nombreuses publications s'appuient sur Carpenter et al. (2001) qui situe la résilience de quoi, par rapport à quoi et dans quel but. Les auteurs relèvent également que des indicateurs de résilience considéré dans un système à une époque donnée, sous un fonctionnement donné peuvent être inadaptés si l'on change de référentiel. Ceci justifie donc l'intérêt d'une deuxième approche.

Une seconde approche consiste en l'analyse des dynamiques du système sous perturbations et des relations entre les perturbations et les caractéristiques du système. Plutôt que d'utiliser des proxys pour mesurer la résilience, des performances du système qui caractérisent ses fonctions de production sont mesurées (comme la production laitière ou de viande). Ces performances sont évaluées au travers de critères. Ces critères doivent résumer la dynamique de la performance ; le niveau, la tendance, la variabilité et d'autres critères. Les modes de calculs de ces critères sont variés et plus ou moins complexes, pour intégrer la notion d'évolution dans le temps ; calcul de moyenne, moyennes mobiles, séries temporelles, régressions linéaires, ... Ensuite, le modèle mathématique choisi doit permettre d'expliquer les dynamiques des performances (critères) face aux perturbations rencontrées (aléas climatiques) par des facteurs explicatifs. Ces facteurs explicatifs proviennent d'un panel choisi de caractéristiques du système (chargement, achats de fourrages, de concentrés, ...). Les facteurs qui expliqueront vraiment les dynamiques des performances pourront être identifiés comme des déterminants de la résilience, puis utilisé comme proxys de résilience pour la première approche. (Perrin et al. 2020; Zampieri et al. 2020; Dardonville et al. 2021)

Les deux types d'approches recensées par la méta-analyse de Dardonville et al. (2021) ne sont donc pas indépendantes. Lorsque la résilience des systèmes d'élevage est évaluée, elle l'est dans un contexte donné, autour d'une question donnée. Cela dit, ce contexte peut évoluer, c'est notamment l'objet des évolutions climatiques qui transforment l'environnement à plus long terme. Comme le souligne Carpenter et al. (2001), il est donc nécessaire de conjuguer les deux approches pour pouvoir à la fois avoir un regard sur la résilience actuelle des systèmes, mais aussi pour explorer les fonctions du système et actualiser les indicateurs.

Tableau 4: Evaluations de la résilience selon plusieurs auteurs

Résilience de quoi (système)	Résilience à quoi (aléas)	Proxy utilisé	Méthodologie de mesure du proxy	Type de production	Etudes
Agricole	Aléas variés (réglementations politiques, climat, volatilité marché)	Perception de l'éleveur sur sa propre résilience	Entretiens avec des éleveurs (résilience perçue/subjective)	Polyculture élevage bio	Darnhofer 2010;
				Bovins laitiers bio	Bouttes et al. 2019;
				Bovins allaitants	Astigarraga et Ingrand 2011
Elevage	Aléas variés (réglementations politiques, climat, volatilité marché)	Satisfaction professionnelle de l'éleveur	Entretiens avec des éleveurs (résilience perçue/subjective)	Bovins laitiers bio	Perrin et al. 2020
		Revenu disponible		Bovins allaitants	Dimon et al. 2017
	Aléas climatiques et de prix	Résultats économiques	Mesure dans la comptabilité, les résultats technico-économique	Bovins allaitants	Mosnier et al. 2010
		Coût alimentaire		Bovins laitiers	Martin et Magne 2015
Systeme fourrager	Aléas climatiques	Production fourragère		Bovins et ovins allaitants	Mosnier et al. 2013

4 Indicateurs étudiés, stratégies et facteurs résilients identifiés

4.1 Indicateurs mobilisés pour l'étude de la résilience

Dans le cas des analyses de la résilience du deuxième type, c'est la dynamique, souvent par la stabilité, le maintien d'une performance du système au-dessus ou en dessous d'un seuil fixé, qui est évalué. (Dardonville et al. 2021).

La nature des indicateurs de performances diffère cependant en fonction de l'objectif que se donne l'analyse et le contexte dans lequel elle s'établit ; par rapport à quoi la résilience est mesurée et quelle performance est considérée. C'est également l'une des raisons qui peut faire varier les résultats d'une telle analyse (Carpenter et al. 2001; Darnhofer et al. 2010). Le tableau 4 recense plusieurs évaluations de la résilience (ou d'un autre concept inhérent) et les indicateurs, ou proxies, utilisés pour chacune d'entre elles. Ces études ont été choisies au regard de leur pertinence et de la similarité de leur contexte au contexte du présent travail.

Ainsi, Darnhofer (2010), Bouttes et al. (2019) et Astigarraga et Ingrand (2011) ont réalisé des évaluations de la résilience des systèmes agricoles à partir d'entretiens avec les éleveurs. Les auteurs cherchent à déterminer la résilience de ces exploitations en tenant compte de l'entièreté et de la complexité du système agricole qu'ils étudient (élevage ou non). Ils considèrent que seuls les éleveurs peuvent avoir pleinement conscience des défis et de la gestion des aléas sur leur système.

De plus, ils considèrent que c'est aussi leur perception qui conditionnera en grande partie leur réponse, et donc in fine, leur résilience. Pour cette raison, Darnhofer (2010), Bouttes et al. (2019) et Astigarraga et Ingrand (2011) demandent directement aux éleveurs ce qui leur a permis de surmonter les aléas sur le pas de temps donné de chaque étude.

D'autres études mobilisent des données technico-économiques pour mener l'évaluation de la résilience ; ils mesurent la stabilité dans le temps du revenu disponible par UMO, la production fourragère ou encore l'autonomie fourragère comme proxies de la résilience (Dimon et al. 2017; Mosnier et al. 2013; Martin et Magne 2015). Ils analysent ensuite quels facteurs (structurels, de gestion, les pratiques d'élevage/agronomiques) sont corrélés avec la stabilité de l'indicateur choisi.

Perrin et al. (2020) ont eu une approche intermédiaire. En effet, ils ont utilisé un indicateur qualifié par eux-mêmes de subjectif : la satisfaction professionnelle des éleveurs. Les auteurs ont ensuite cherché dans la structure, la gestion ou les pratiques d'élevages de l'exploitation ce qui a pu expliquer l'évolution de la satisfaction professionnelle.

Tableau 5: Stratégies d'adaptations face aux aléas climatiques recensées dans la littérature

Type de stratégie	Stratégie	Etudes
<i>Gestion des facteurs de production</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Forte productivité du travail - Faible chargement du système - Maîtrise des coûts de production - Niveau de valorisation supérieur à la moyenne 	<p>Dimon et al. 2017 Mosnier et al. 2010</p>
<i>Fonctionnement du système</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Interactions entre cultures et élevage - Système pâturant - Augmentation de la redondance du système par la diversité 	<p>Dimon et al. 2017 Perrin et al. 2020 Martin et Magne 2015</p>
<i>Pratiques pour le système fourrager</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Augmenter la durée du pâturage - Avancement date de mise à l'herbe - Diminution de la part de maïs - Diversification des ressources fourragères (culture de maïs ensilage) - Modification de la part des surfaces fauchées 	<p>Perrin et al. 2020 Mosnier et al. 2013 Mosnier et al. 2010</p>
<i>Pratiques d'élevage</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Engraissement voie femelle - Maîtrise des performances 	<p>Mosnier et al. 2010 Dimon et al. 2017</p>

Enfin, il paraît intéressant de relever que dans les études citées, aucun indicateur proprement climatique n'a été utilisé pour rendre compte des aléas climatiques. Pour la majorité des études, le caractère aléatoire auquel les systèmes étaient soumis relevait alors du contexte général. Pour certaines études, les aléas climatiques étaient mesurés par des proxies basés sur la variation des rendements fourragers (Mosnier et al. 2010).

4.2 Pratiques d'élevage et éléments structurels favorisant la résilience

Les études présentées précédemment ont donc mis en évidence des stratégies favorisant la résilience. Un relevé non exhaustif mais synthétique des types de stratégies pour chaque catégorie est présenté dans le tableau 5.

Pour atteindre la résilience, des stratégies de gestion des facteurs de production sont mises en évidence par Dimon et al. (2017) et Mosnier et al. (2010). Ils préconisent, après avoir étudiés les systèmes bovins allaitants plus particulièrement, une certaine gestion des facteurs de production : une forte productivité du travail, un faible chargement du système et la maîtrise des coûts de production. Dimon et al. (2017) relève qu'un haut niveau de valorisation va également permettre d'être plus résilient.

Sur le système en tant que tel, ce même travail insiste surtout sur les interactions entre cultures et élevage. Perrin et al. (2020) met davantage en avant que le modèle résilient laitier étudié doit avant tout être pâturant, en ayant une SAU majoritairement dédiée aux prairies. D'un autre côté, Martin et Magne (2015) argumente que l'augmentation de la redondance du système participe à sa résilience. Cela signifie qu'en accentuant la diversité du système, animal ou de cultures, il y aura une multiplication des sources de production, donc in fine, des risques partagés. C'est l'illustration de « ne pas mettre ses œufs dans le même panier ».

Dans les études approchant les concepts autour de la résilience, le système fourrager est très souvent étudié, soit exclusivement, soit comme partie du système d'élevage. Perrin et al. (2020), en étudiant la résilience à l'échelle de l'élevage par la satisfaction des éleveurs, ont alors mis en évidence que l'augmentation de la durée de pâturage, l'avancement de la date de mise à l'herbe et la diminution de la part de maïs participaient à la résilience. D'un autre côté, Mosnier et al. (2013), en utilisant un proxy de sensibilité aux aléas climatiques plus centré sur le système fourrager, ont plutôt relevé que la diversification des ressources fourragères, notamment par la culture d'ensilage de maïs était pertinente. Enfin, l'adaptation de la part des surfaces fauchées aux aléas climatiques a été relevée comme une stratégie d'adaptation pour rester résilient (Mosnier et al. 2010).

Sur les pratiques d'élevage, les travaux s'intéressant surtout aux bovins allaitants ont mis en évidence que la maîtrise des performances était indispensable (Dimon et al. 2017). Aussi, l'engraissement de la voie femelle permet d'apporter de la redondance au système. Cela multiplie les possibilités de vente pour l'éleveur, selon les aléas climatiques (Mosnier et al. 2010).

5 Problématisation

5.1 Conclusion de la revue bibliographique

Les systèmes ruminants biologiques herbagers du Massif Central sont soumis à de nombreuses contraintes. Certaines contraintes sont plus spécifiques aux bios herbagers de zone de montagne. Les zones d'élevage du Massif Central sont soumises à des contraintes agronomiques importantes. De plus, la production en AB contraint le système fourrager, en le basant majoritairement sur l'herbe et en limitant les intrants chimiques. Dans le même temps, le changement climatique et les aléas climatiques impactent ces systèmes. Cette pression exercée sur les systèmes d'élevage s'annonce de plus en plus forte. Il est donc bien nécessaire de s'intéresser aux adaptations des élevages pour rester pérenne face aux aléas climatiques. La résilience comme cadre conceptuel semble adaptée pour réfléchir à cette question.

Dans les différentes études citées, relatives aux concepts de résilience aux aléas climatiques, la caractérisation de l'aléa climatique n'est pas réalisée par des mesures climatiques ou agro-climatiques. Souvent, on utilise le contexte général, ou un proxy des aléas. Ce proxy peut être discuté car il ne reflète pas uniquement les aléas climatiques, mais peut par exemple également refléter la conjoncture économique. Il est donc nécessaire d'objectiver les aléas climatiques par des apports de climatologie. La confrontation de données climatologiques avec des données zootechniques et structurelles éclairerait l'impact des aléas climatiques sur les systèmes d'élevage.

Aussi, les études présentées précédemment proposent des cadres d'analyse de la résilience assez variés ; le proxy ou encore l'échelle du système évalué diffèrent. C'est probablement ce qui explique en partie la divergence des stratégies entre les études. En effet, certains travaux ont plutôt préconisé la quasi-exclusivité du pâturage alors que d'autres assuraient une résilience en augmentant les types de fourrages conservés utilisés. Pour cette raison, il est difficile de comparer ces différentes stratégies. Aussi, aucune étude n'a pu confronter des données météorologiques aux données d'exploitation. Un travail méthodologique conciliant analyse technico-économique et climatologie mérite d'être fait.

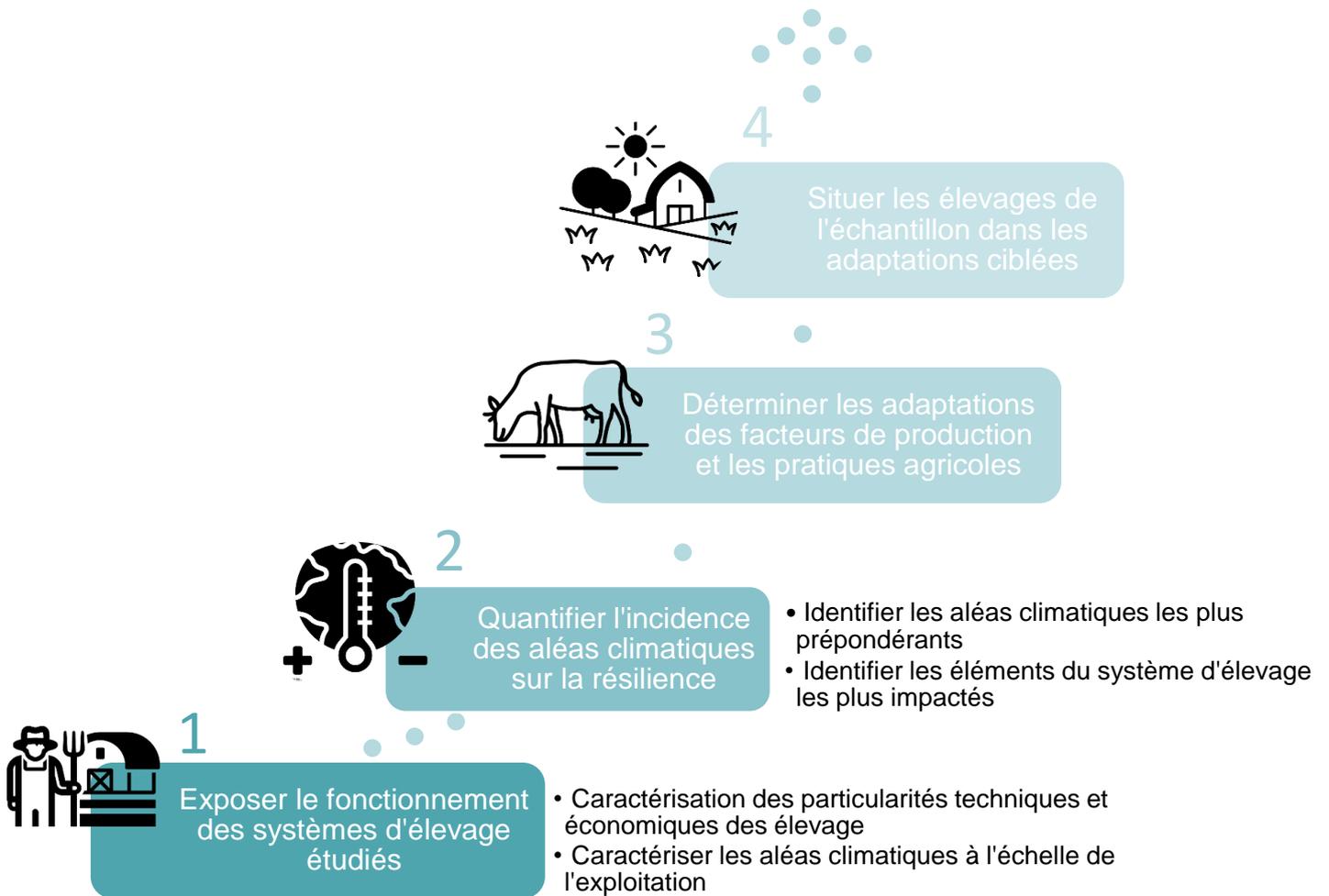


Figure 8: Objectifs du travail

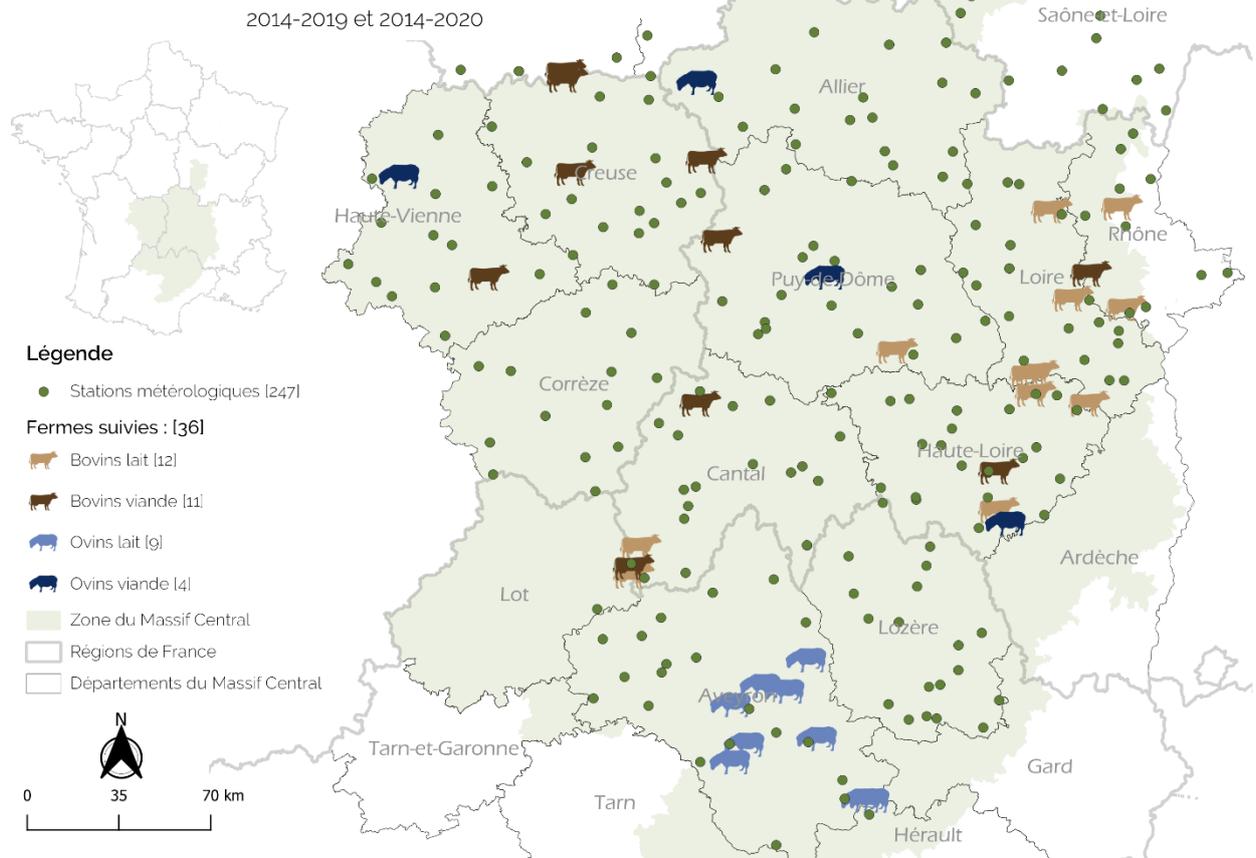
Les élevages spécialisés de ruminants bio du Massif Central sont confrontés à des contraintes grandissantes, dont les aléas climatiques. Dans ce contexte, le cadre conceptuel de la résilience des élevages permettrait d'analyser ces systèmes.

Il est donc nécessaire pour les acteurs des filières, dont les éleveurs, d'objectiver et de quantifier les impacts des aléas climatiques sur les systèmes d'élevage, de déterminer les éléments du système impactés et les adaptations techniques auxquels les élevages ont eu recours pour poursuivre leur activité.

5.2 Reformulation des objectifs

L'analyse réalisée aura quatre objectifs pour répondre à la question de recherche, illustrés par la figure 8. D'abord, il sera nécessaire de **présenter le fonctionnement des systèmes d'élevage de l'échantillon**, pour la mise en place d'une méthode d'analyse adaptée mais aussi pour comprendre ce qui influence le système. Ensuite, il faudra **quantifier l'incidence des aléas climatiques sur la résilience des exploitations** telle qu'elle est définie dans cette étude. Le troisième objectif sera de **déterminer les adaptations techniques sur les facteurs de productions et les pratiques associées** qui ont permis de rester résilients. Enfin, le quatrième objectif consistera à **comprendre comment les exploitations se situent** selon les adaptations ciblées.

Elevages de l'échantillon Bioréférences et stations météorologiques mobilisables



Sources : Ministère de l'Intérieur, disponible sur data.gouv.fr
 Alexandre Lexman, disponible sur data.gouv.fr
 Région Occitanie/Pyrénées Méditerranée, disponible sur data.gouv.fr

Célia Boivent - 2022

Figure 9: Répartition des élevages étudiés et des stations météorologiques disponibles

Partie II : Matériel et méthodes

1 Données météorologiques

1.1 Réception des données

Les données météorologiques utilisées pour cette analyse proviennent des stations Météo-France qui maillent le territoire du Massif Central. Les données de température minimum, de température maximum et de pluviométrie sont fournies par plus de 500 stations météorologiques postées dans 17 départements : l'Allier, l'Aveyron, le Cantal, le Cher, la Corrèze, la Creuse, l'Hérault, l'Indre, la Loire, la Haute-Loire, le Lot, la Lozère, le Puy-de-Dôme, le Rhône, la Saône-et-Loire, la Haute-Vienne et l'Yonne. Ces 540 stations fournissent normalement des données journalières de températures et pluviométrie. Cependant, certaines stations ont des données manquantes ponctuellement, ou sur des périodes données. Comme le nombre de stations disponibles (plus de 31 par département) était confortable pour la suite de l'analyse, il a été choisi d'éliminer d'emblée les stations dont le nombre de jours où il manquait des données (température minimum et/ou température maximum et/ou pluviométrie) était supérieur à 10 sur notre période d'analyse qui va du 01/01/2014 au 31/12/2020. Ainsi, la suite des opérations a pu être réalisée sur 247 stations dans les 17 départements, soit plus de 14 stations par département, assurant ainsi une bonne couverture du territoire. La répartition sur le territoire des 247 stations mobilisables est représentée sur la carte en figure 9.

1.2 Traitement des données

Plusieurs opérations de traitements et de préparations sur les données météorologiques fournies ont été nécessaires au calcul des indicateurs climatiques et agro-climatiques.

1.2.1 Procédure de reconstitution des données manquantes

Bien qu'une grande partie des stations dont il manquait des données ait été supprimée, les stations dont le nombre de jours où il manquait des données était inférieur à 10 jours ont été conservées. Cela concernait au total 20 stations dont le nombre de jours manquants était compris entre 1 et 10 avec une moyenne de 3 jours manquants par station.

Pour combler ces valeurs manquantes, une méthodologie appliquée dans le cadre du projet AP3C a été mise en œuvre. Pour chaque station et pour chaque variables (température minimum, température maximum, pluviométrie), une régression linéaire multiple a été réalisée à partir de potentiels prédicteurs (SIDAM 2020). Les potentiels prédicteurs sont des stations dont le jeu de donnée était complet pour les trois variables du 1/01/2014 au 31/12/2020, période sur laquelle nous disposons des données météorologiques.

Au total, ce sont 28 régressions qui ont été réalisées. Les stations permettant de prédire les variables climatiques pour chaque donnée manquante sont disponibles en annexe II. Ces régressions linéaires multiples ont donc permis de prédire les valeurs manquantes et ainsi compléter le jeu de donnée.

1.2.2 Calcul des évaporations potentielles (SIDAM 2018a)

L'évapotranspiration potentielle (ETP) renvoie à « l'évapotranspiration réelle d'un couvert herbeux suffisamment alimenté en eau pour ne pas subir de stress ». L'ETP peut être prédite de diverses manières, avec des degrés de complexité et de précision variés. Les experts prenant part au projet AP3C ont mis au point une nouvelle méthodologie de calcul de l'ETP. En effet, la formule d'usage de l'ETP, utilisée classiquement par Météo-France, dépend simplement de la température minimale et de la température maximale. Les experts du projet AP3C ont estimé cette formule insuffisante à la prédiction des ETP pour le Massif Central et dans le contexte du changement climatique. Dans ce cadre, une étude comparative de plusieurs formules de niveaux de complexité graduels a été réalisée. Cette recherche autour de l'ETP a permis de mettre au point une formule calibrée sur le Massif Central approchant plus précisément l'ETP journalier. La formule, qui est également la formule appliquée dans le cadre de cette étude, est disponible en annexe III.

C'est donc sur ce travail de calibrage de l'ETP au niveau du Massif Central que s'appuie les calculs des ETP pour cette analyse.

1.3 Calcul des indicateurs climatiques et agro-climatiques

Des indicateurs climatiques ont d'abord pu être calculé à partir des données météorologiques journalières de température maximum, minimum, de pluviométrie et d'ETP. Ils sont au nombre de 20 :

- Les cumuls des précipitations en hiver, au printemps, en été, à l'automne et dans l'année soit 5 indicateurs (en mm).
- Les cumuls des ETP en hiver, au printemps, en été, à l'automne et dans l'année soit 5 indicateurs (en mm)
- La moyenne des températures minimales en hiver, au printemps, en été, à l'automne et dans l'année soit 5 indicateurs (en °C)
- La moyenne des températures maximales en hiver, au printemps, en été, à l'automne et dans l'année soit 5 indicateurs (en °C)

Tableau 6: Indicateurs agro-climatiques et leur définition

Relatif à	Variable	Unité	Définition
<i>Généraux</i>	Ge01	jour	Date de dernière gelée de printemps à 0°C
	Ge02	jour	Date de première gelée d'automne à -5°C
<i>Prairies</i>	Pr00	°C	Cumul des températures en janvier
	Pr01	jour	Date de redémarrage de végétation
	Pr02	jour	Date de mise à l'herbe
	Pr03	jour	Date de fauche précoce
	Pr04	jour	Date de fauche intermédiaire
	Pr05	jour	Date de fauche tardive
	Pr06	Ratio RR/ETP	Etat hydrique après la mise à l'herbe
	Pr07	Ratio RR/ETP	Etat hydrique avant l'ensilage
	Pr08	Ratio RR/ETP	Etat hydrique de l'ensilage à la récolte en foin
	Pr09	Nombre de jours	Séquences favorables à la récolte en ensilage
	Pr10	Nombre de jours	Séquences favorables à la récolte en foin sec
	Pr11	Ratio RR/ETP	Etat hydrique en automne
	Pr12	Ratio RR/ETP	Etat hydrique estivale après récolte en foin
	Pr13	mm	Réussite hydrique des semis d'automne
	Pr14	Ratio RR/ETP	Etat hydrique hivernale
	Pr15	Nombre de jours	Séquences favorables à la récolte en enrubannage
	Pr16	Nombre de jours	Périodes favorables à la mise en place des semis de prairies de printemps
Pr17	mm	Précipitations entre mise à l'herbe et fauche précoce	
<i>Céréales</i>	Ce01	Nombre de jours	Risque de gel au stade épi 1cm
	Ce02	Nombre de jours	Intensité de l'échaudage
	Ce03	mm	Précipitations lors du remplissage en grain, en altitude
	Ce04	mm	Précipitations lors du remplissage en grain, en plaine
	Ce05	Nombre de jours	Réussite de l'apport azoté au stade épi 1cm, en altitude
	Ce06	Nombre de jours	Réussite de l'apport azoté au stade épi 1cm, en plaine
<i>Maïs</i>	Ms01	Nombre de jours	Echaudage thermique
	Ms02	jour	Risque de gel en fin de cycle ; première date
	Ms03	Nombre de jours	Risque de gel en fin de cycle bis ; nb de jours
	Ms04	°C	Choix variétaux, gamme d'indices
	Ms05	Nombre de décades	Stress hydrique de la floraison au remplissage du grain (bis) : cumul de précipitations de la décade > 20mm
	Ms06	Nombre de décades	Stress hydrique de la floraison au remplissage du grain (bis) : cumul de précipitations de la décade > 10mm
<i>Dérobés</i>	De01	°C	Faisabilité thermique des dérobés de printemps
	De02	°C	Faisabilité thermique des dérobés d'été

Les saisons sont ici définies par mois : l'hiver s'étend de décembre à février (du 1/12/ au 28-29/02), le printemps de mars à mai (du 1/03 au 31/05), l'été de juin à août (du 1/06 au 31/08) et l'automne de septembre à novembre (du 1/09 au 30/11).

Des indicateurs agro-climatiques ont également été calculé à partir des données météorologiques. Ces indicateurs ont été construits dans le cadre du projet AP3C, au sein d'un comité d'experts constitués d'ingénieurs et de conseillers de la Chambre d'Agriculture et de l'Institut de l'Elevage. Ces indicateurs peuvent être classés selon 5 types ; des indicateurs généraux, des indicateurs sur les prairies, sur les céréales en général, sur le maïs en particulier et enfin des indicateurs sur les dérobés. Chacun de ces indicateurs est défini dans le tableau 6 et leur calcul est détaillé plus précisément en annexe IV.

2 Données d'élevage

2.1 Caractéristiques des exploitations du réseau d'élevage

Les élevages mobilisés ont été suivi selon la méthodologie Inosys-Réseaux d'Elevage. Ce dispositif, piloté par l'Institut de l'Elevage (Idele) et les Chambres d'Agriculture est un réseau national d'élevages à dominante herbivores. Dès les années 90, l'expérience des conseillers régionaux a permis la constitution d'une base nationale de réseau d'élevage. Les finalités du fonctionnement de ce réseau sont de produire, valoriser et de diffuser des références technico-économiques, en intégrant les thématiques agro-environnementales et socio-territoriales pour construire les systèmes d'élevage de demain (Charroin et al. 2005; Chambres d'Agriculture et IDELE 2014).

Les exploitations de Inosys-Réseaux d'élevage correspondent à des élevages dont les chefs acceptent de prendre part à la récolte de données, qui se déroule en général sur plusieurs jours (Chambres d'Agriculture et IDELE 2014). Les enquêtes en élevages sont réalisées par des conseillers de la chambre d'agriculture ou de l'idele, et se déroulent tout au long de l'année. Ces informations sont ensuite enregistrées sur une base de données nommée Diapason. La production de références en routine à partir de ces données rend anonyme obligatoirement les exploitations participantes. Il faut tout de même noter que les exploitations acceptant de faire partie de ce réseau ont une certaine dynamique de développement, en partie puisqu'elles sont connues des chambres d'agriculture. Leur dimension économique, mesurée par le produit brut (PB) ramené à l'unité de travail annuel de la famille (UTAF) et leur efficacité économique moyenne, mesurée par l'excédent brut d'exploitation (EBE) ramené au PB, sont en moyenne supérieures à la moyenne nationale. Les exploitations du réseau ne sont donc pas tout à fait statistiquement représentatives des élevages français, mais offre une vision prospective (Charroin et al. 2005).

Tableau 7 : Indicateurs d'exploitation et leur définition

Variable	Unité	Intitulé	Définition
Vc	Qualitatif	Variable de contrôle	Filière de production : BL,BV,OL,OV
Va	€/ha ST*	Valeur ajoutée brute exploitation	La richesse créée sur l'exploitation dans l'année, détail en annexe V, exprimée en € 2020 (IPC de l'INSEE)**
Ve01	tMS/UGB	Quantité aliments acheté	Achats d'aliments (fourrages et concentrés)
Ve02	tMS/UGB	Quantité concentré acheté	Concentrés achetés, en les considérant à 88% MS
Ve03	tMS/UGB	Quantité fourrages acheté	Fourrages achetés (dont paille)
Ve04	tMS/UGB	Quantité concentrés produits	Céréales d'automne, de printemps, dont blé et maïs grain récoltés en les considérant à 88% MS
Ve05	tMS/UGB	Quantité fourrages produits	Quantité de fourrages conservés produits (dont paille)
Ve06	tMS/UGB	Quantité de fourrages consommés	Tout fourrages utilisés par le troupeau, achetés et intraproduits (dont paille)
Ve07	tMS/UGB	Quantité de concentrés consommés	Tout concentrés utilisés par le troupeau, achetés et intraproduits, en les considérant à 88% MS
Ve08	% d'ha de ST*	Surface en cultures annuelles	Somme des surfaces en céréales d'automne, de printemps, blé et maïs cultivées
Ve09	% d'ha de ST*	Surface fourragère développée totale	Somme de toutes les surfaces fourragères récoltées (hors paille)
Ve10	% d'ha	Surface de 1 ^e fauche d'herbe	Part de la surface de 1 ^e fauche d'herbe sur la somme des surfaces fauchées d'herbe
Ve11	tMS/UGB	Herbe valorisée au pâturage	Estimation de l'herbe ingéré au pâturage à partir de la quantité de fourrages conservés consommés (Ve06)
Ve12	%	Part de maïs ensilage dans les fourrages récoltés	Quantité de maïs ensilage sur la quantité de fourrages récoltés sur la ferme (hors paille)
Ve13	tMS/ha	Rendements fourragers première coupe d'herbe	Rendements 1 ^e coupe herbe
Ve14	q/ha	Rendements cultures annuelles	Moyenne des rendements de céréales d'automne, de printemps, blé et maïs, pondérée par leur surface
Ve15	% d'ha de ST*	Surfaces valorisables en cultures annuelles	Surfaces labourables et récoltables
Ve16	% d'ha de ST*	Surfaces irriguées	Surfaces irriguées dans l'année
Ve17	UMO/ha ST*	Main d'œuvre (MO)	MO totale par unité de surface agricole
Ve18	€/ha ST*	Produits animaux	Productions animales totales hors aides, exprimée en € 2020 (IPC de l'INSEE)**
Ve19	€/ha ST*	Produits végétaux	Productions cultures annuelles hors aides, exprimée en € 2020 (IPC de l'INSEE)**
Ve20	L/VL, kgvv/UGB, L/BL, kgc/UGB	Productivité animale	En unité de production propre à la filière
Ve21	€/UGB	Consommations intermédiaires	Achats de biens et services auprès d'un tiers, détails en annexe V, exprimée en € 2020 (IPC de l'INSEE)**
Ve22	UGB	Cheptel	Total d'UGB
Ve23	%	Animaux productifs	UGB nb femelle
Ve24	UGB/ha SFP+SP*	Chargement	Chargement ramené à la SFP et la SP pondérée

(*) ST correspond à la surface totale : SAU + surfaces pastorales (SP) pondérées

(**) IPC : indice des prix à la consommation

2.2 L'échantillon de fermes mobilisé

2.2.1 Constitution du réseau Bioréférences

Les exploitations utilisées dans Bioréférences ont été recruté spécifiquement pour le projet, puis suivies selon la méthodologie Inosys-Réseaux d'élevage. Ces élevages sont des élevages biologiques dits spécialisés de 5 types de productions différentes ; ovin lait (OL), ovin viande (OV), bovin lait (BL), bovin viande (BV) et caprins (C). La spécialisation de ces élevages a été déterminée à dire d'experts connaissant les exploitations (des Chambres d'Agriculture et de l'Idèle). Plus particulièrement pour cette étude, ces exploitations devaient également avoir été suivies sur les 6 ou 7 ans consécutifs entre 2014 et 2019/2020. Les quatre ingénieurs Idèle, animateurs des réseaux INOSYS bovins, ovins, caprins, lait et viande sur la zone du Massif Central, basés à l'Idèle d'Aubière et de Toulouse, ont donc fournis les données des exploitations répondant aux critères.

Tableau 8 : Effectifs des exploitations de l'échantillon par production et par période

	2014-2019	2014-2020
Ovin Lait	9	4
Ovin Viande	4	4
Bovin Lait	12	11
Bovin Viande	11	9
Total	36	28

Les données fournies ont concerné 36 exploitations au total, 8 exploitations ayant été suivies entre 2014 et 2019 et 28 entre 2014 et 2020. Le tableau 8 spécifie le nombre d'exploitations par production et par période.

Aucune ferme caprine ne répondant aux exigences fixées par ce travail d'analyse sur 7 ans, c'est pourquoi il n'y a pas d'élevages caprins dans cet échantillon.

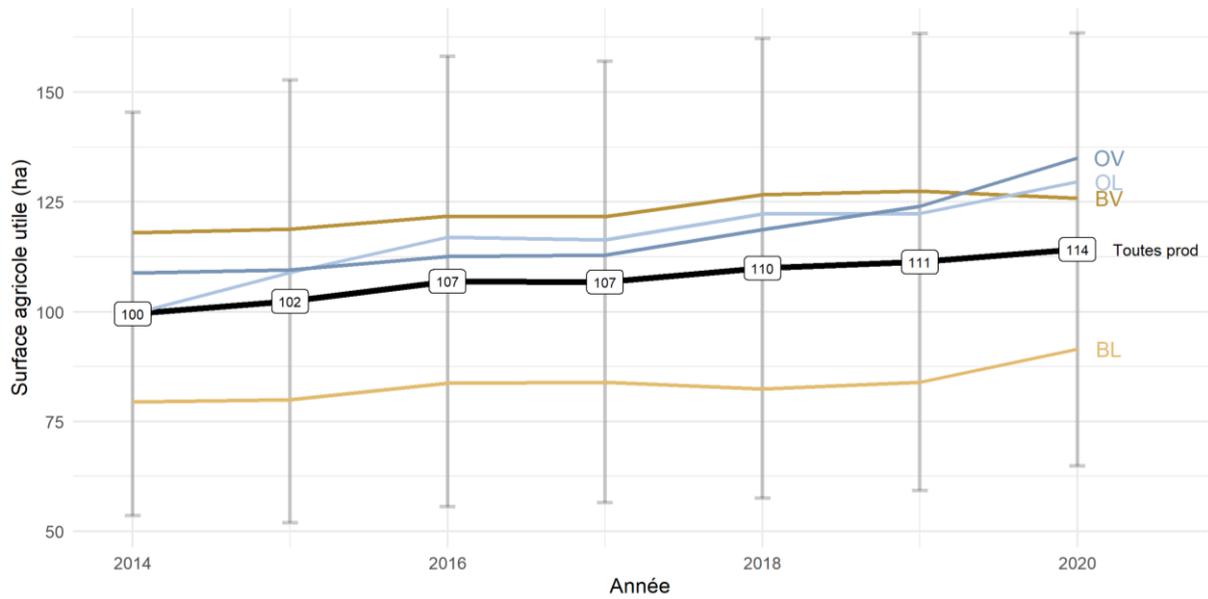


Figure 10: Evolution de la SAU des exploitations entre 2014 et 2020

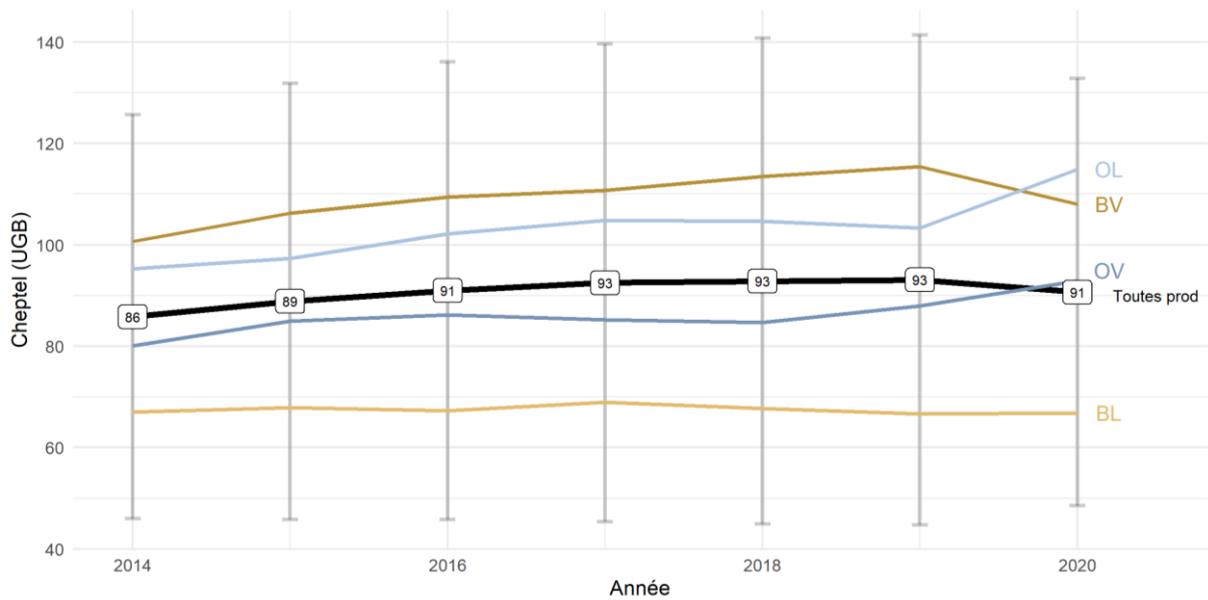


Figure 11: Evolution de la taille du cheptel des exploitations entre 2014 et 2020

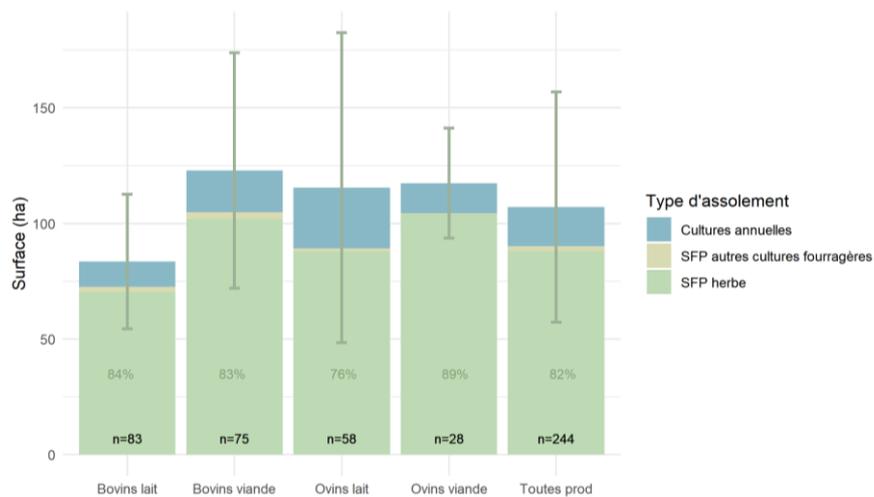


Figure 12: Surfaces moyennes cultivées hors parcours des exploitations-années

2.2.2 Description de l'échantillon

Les exploitations qui seront étudiées ont différentes formes juridiques : GAEC familiaux, GAEC entre tiers, individuels ou EARL. Les fermes sont situées presque exclusivement en zone ICHN de montagne et sont converties en bio en moyenne depuis 2003.

La main d'œuvre totale mobilisée par exploitation est assez peu variable d'une production à l'autre puisqu'il y a en moyenne 2 unité de main d'œuvre totale (UMO), bien qu'un peu moins pour les ovins allaitants (1,6 UMO) et un peu plus pour les ovins laitiers (3,2 UMO). Les exploitations de l'échantillon ont en moyenne $91 \pm 44,5$ UGB pour $107 \pm 49,9$ ha de surface agricole utile (SAU, hors parcours) sur les 7 ans observés. Comme illustré dans les graphiques des figures 10 et 11, par production, cela revient en moyenne à :

- 67 UGB pour 83 ha SAU pour les bovins laitiers
- 109 UGB pour 123 ha SAU pour les bovins allaitants
- 102 UGB pour 115 ha SAU pour les ovins laitiers
- 86 UGB pour 117 ha SAU pour les ovins allaitants

La variabilité de la taille des troupeaux est assez élevée chez les éleveurs de bovins allaitants et d'ovins laitiers, avec des coefficients de variation des tailles de cheptel des exploitations-années, calculés par l'écart-type divisé par la moyenne, de 44% et 55% respectivement. Ce sont également ces mêmes éleveurs qui ont la plus grande variabilité de taille de SAU, puisque leur coefficient de variation est de respectivement 41% et 58%. Ce qu'il est intéressant de retenir sur cet échantillon d'exploitations, c'est surtout l'agrandissement quasi constant entre 2014 et 2020 des tailles des exploitations en surface. Ceci est conforme aux observations nationales pour chacune des filières. Comme spécifié lors du contexte de cette étude, l'analyse se porte sur des élevages principalement herbagers. Le graphique de la figure 12 permet de confirmer que les surfaces des exploitations-années sont majoritairement composées d'herbe : au minimum 76% et en moyenne 82% de la SAU toutes productions confondues.

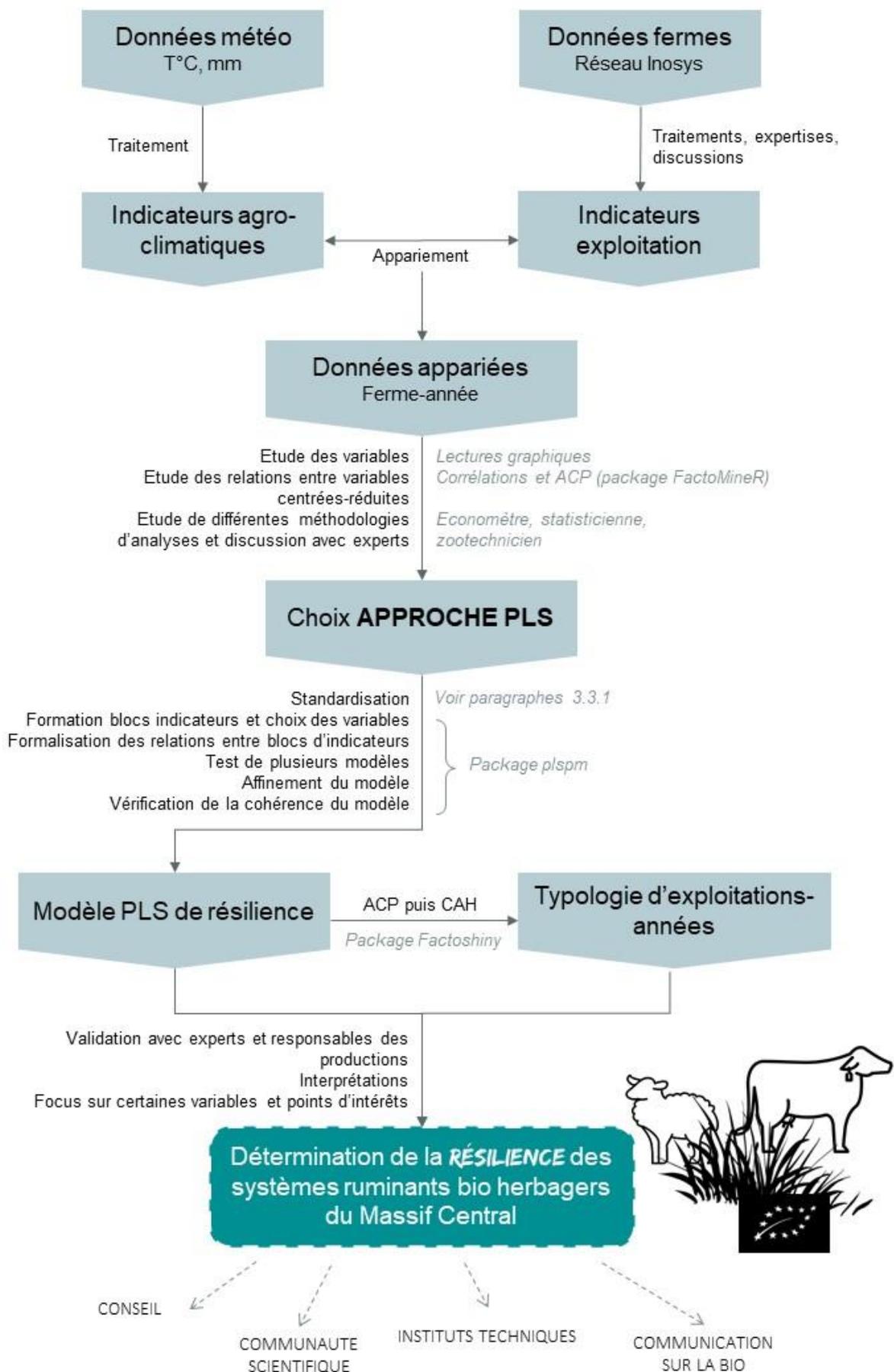


Figure 13: Démarche méthodologique de l'analyse

2.3 Données mobilisées

Les indicateurs concernant l'exploitation (qui seront appelés variables exploitation) choisis pour la suite de l'analyse sont le fruit d'une réflexion partagée par les acteurs du projet BioRéférences et plus particulièrement, de cette étude. Ces variables exploitation ont pour ambition de représenter le fonctionnement technico-économique et la structure de l'exploitation dans le cadre de l'analyse de la résilience année par année. Le tableau 7 fait état de chacune des variables exploitation. Le calcul de ces variables est précisé en annexe V. Avant tout, chacun de ces indicateurs sont exprimés par année. Certains indicateurs sont ramenés à la surface totale en ha de l'exploitation. Cela signifie que les surfaces pastorales des exploitations en possédant ont été pondérées selon leur potentiel agronomique estimé. Le détail de ces pondérations est présent en annexe VI. Les indicateurs relatifs à des coûts, des prix ou des valeurs en € ont été déflatés grâce à l'Indicateur des prix à la consommations mis à disposition par l'INSEE (2022). Ils sont donc exprimés en € 2020. Enfin, l'expression de tous les aliments, concentrés et fourrages, se fait en tonnes de matière sèche (MS). Les valeurs en MS étaient directement renseignées dans Diapason pour les fourrages, mais pas pour les céréales, concentrés et co-produits concentrés. On a alors considéré tous les concentrés, céréales et co-produits à 88% de MS, en y appliquant ce coefficient multiplicateur (Beaumont et al. 2018).

3 Analyses statistiques

Le cheminement de l'analyse est représenté par le schéma en figure 13. Les grandes étapes sont ensuite expliquées par les paragraphes qui suivent.

3.1 Appariement des données climat et exploitation

L'un des intérêts de cette étude était de travailler avec des données climat qui transcrivent le plus fidèlement possible les aléas climatiques à l'échelle des exploitations. Une fois les jeux de données des deux types (climat et exploitation) constitués, il a fallu appairer les données. Cette première étape clé a permis d'attribuer à chaque individu (c'est-à-dire une exploitation-année) des variables climatiques et agro-climatiques issues d'une station météo. Deux méthodes pour appairer étaient possibles. Ces deux méthodes permettaient d'appairer une station météorologique pour chacune des fermes à partir de critères bien définis ; la pluviométrie annuelle type climat 2000 de la station météorologique devait être égale ± 50 mm à la pluviométrie annuelle type climat 2000 de la ferme et la température moyenne annuelle type climat 2000 de la station devait être égale $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$ à la température moyenne annuelle type climat 2000 de la ferme.

Elevages de l'échantillon Bioréférences et stations météorologiques mobilisées

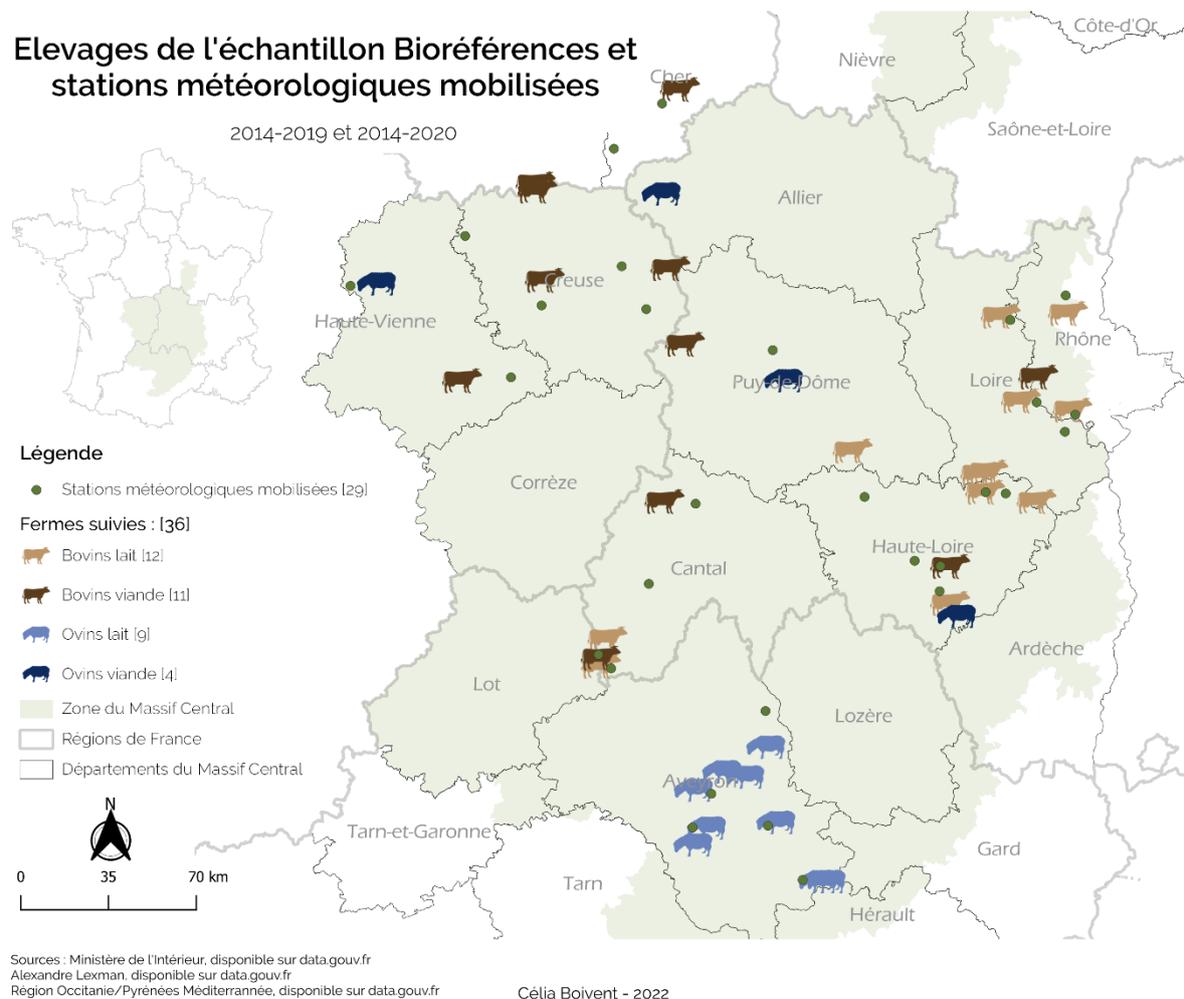


Figure 14: Répartition des exploitations étudiées et les stations météorologiques qui leur ont été attribuées

Les températures et pluviométries en question, c'est-à-dire type climat 2000, ont été obtenues à partir des cartes générées dans le cadre du projet AP3C, présentes en annexe VII.

Une première méthode consiste en une itération par un algorithme des critères sur toutes les stations dont nous disposons (247) pour chacune des fermes. L'avantage de cette méthode est l'automatisation de la procédure, mais l'inconvénient pouvait être l'éloignement géographique de la station par rapport à la ferme qu'elle devait représenter.

Une deuxième méthode permettait un appariement par cartographie selon un spectre représentant les critères de températures et de pluviométrie. Les stations susceptibles d'être sélectionnées étaient dans un rayon d'environ 100 km autour de l'exploitation. Ce mode d'appariement permettait d'arbitrer le choix de la station la plus appropriée non seulement grâce aux critères météorologiques, mais aussi grâce à l'orientation de la station par rapport à la ferme (nord, sud, est, ouest). Selon la situation, les critères de pluviométrie et de températures pouvaient être élargis si une orientation paraissait plus pertinente par rapport à une autre. Cette pertinence est surtout réfléchi par rapport au déplacement des phénomènes météorologiques selon le vent. Cette deuxième méthode a donc été jugée plus adéquate aux objectifs de l'étude, et a été réalisée grâce à l'expertise du climatologue d'AP3C, Vincent Cailliez. Au final, ce sont 29 stations qui ont été conservées pour refléter les aléas climatiques sur une exploitation (certaines fermes ayant la même station météorologique appariée), voir carte de la figure 14.

3.2 Modèle d'explication de l'adaptation aux aléas climatiques

L'intégralité de l'analyse statistique, mais aussi des étapes de manipulation et de préparation des données, ont été réalisés sur R version 4.1.3.

3.2.1 Modélisation par approche PLS

Le modèle d'analyse de la résilience face aux aléas climatiques des systèmes ruminants bio herbagers a été estimé par une approche PLS (Partial Least Square), aussi appelé PLS path modeling. Elle a été effectuée sur R grâce au package plsrm (Sanchez et al. 2014).

Herman Wold et al. ont commencé à développer des techniques d'analyses par les moindres carrés qui ont fini par donner naissance à l'approche PLS telle qu'elle est connue aujourd'hui (Sanchez 2013). L'approche PLS s'est fait connaître d'abord par son utilisation en sciences sociales puis en chimie. Mais depuis les années 90 et dans les vingt dernières années, l'approche PLS bénéficie d'un regain d'attention dans divers domaines, pour toutes les possibilités qu'elle offre (Tenenhaus 1998; Sanchez 2013).

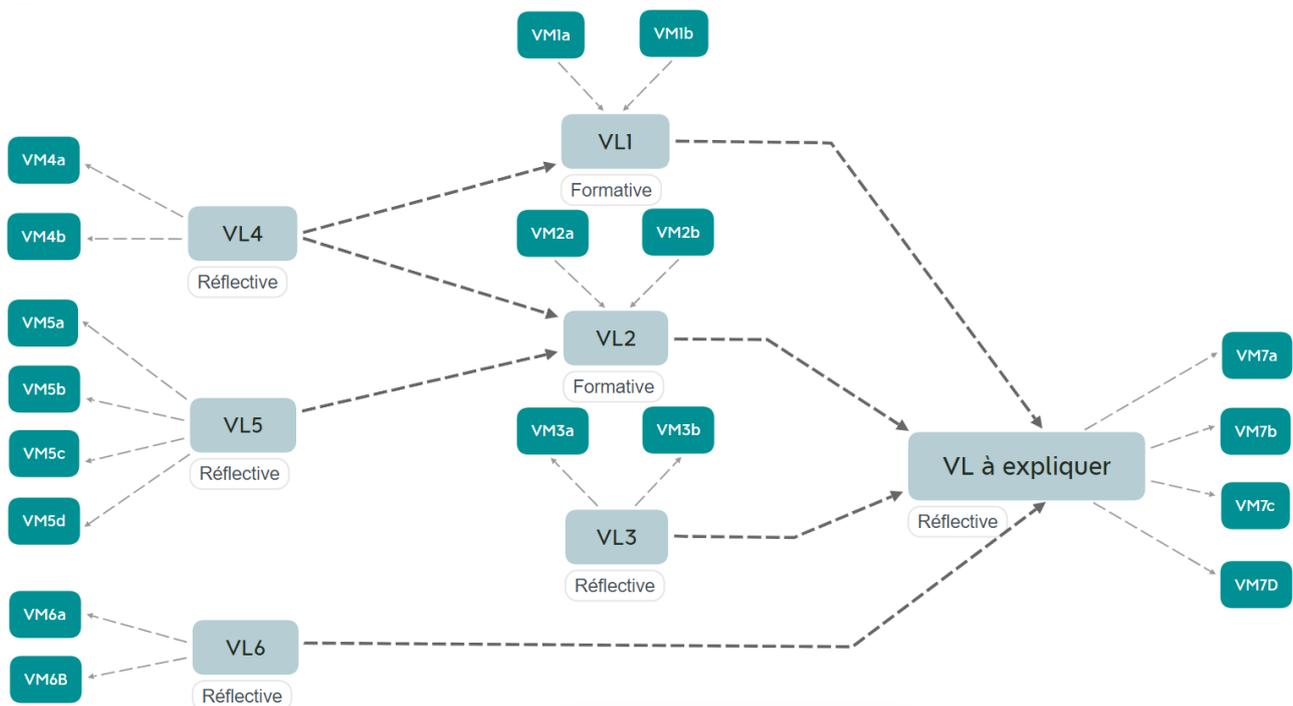


Figure 15 : Schématisation des relations entre variables manifestes et variables latentes

Pour les blocs de variables réfléchives :

$x_{kh} = \pi_{kh}\xi_k + \varepsilon_{kh}$, où k le numéro du bloc et h le numéro de la variable manifeste de ce bloc

Pour les blocs de variables formatives :

$\xi_k = \pi_{kh}x_{kh} + \varepsilon_{kh}$, où k le numéro du bloc et h le numéro de la variable manifeste de ce bloc

Équation 1 : Modèle de mesure

$\xi_k = \beta_{k1}\xi_1 + \beta_{k2}\xi_2 + \beta_{k3}\xi_3 + [\dots] + \beta_{k(k-1)}\xi_{k-1}$, où k le nombre de variables latentes

Équation 2 : Modèle structurel

Où :

- x_{kh} , la variable manifeste
- π_{kh} , le paramètre d'équation, appelé weight
- ξ_k , la variable latente
- ε_{kh} , l'erreur résiduelle
- $\beta_{k(k-1)}$, les coefficients de régression

L'approche PLS est un outil statistique qui peut être utilisé afin d'expliquer des relations complexes entre diverses variables (directement mesurées ou non) (Xlstat s. d.). Cette approche est classiquement mobilisée lorsque le jeu de données est constitué d'un nombre important de variables observées qui peuvent être corrélées entre elles. C'est le cas de la satisfaction des clients, du succès ou encore de la motivation (Sanchez 2013). Concrètement, il s'agit d'un modèle qui explique les relations de causalité entre les variables mesurées, **dites manifestes**, et les variables non mesurées, **dites latentes**, et ainsi expliquer et prédire un phénomène non palpable.

3.2.2 Principes de fonctionnement de l'approche PLS

3.2.2.1 Le modèle de mesure et le modèle structurel

Les variables manifestes sont regroupées dans des blocs de variables qui font sens ensemble. La combinaison linéaire des variables manifestes d'un bloc renvoie à un construit non palpable : la variable latente. Le modèle d'approche PLS est divisé en deux modèles. D'abord, le **modèle de mesure** qui explicite les relations entre les variables manifestes et la variable latente à laquelle elles participent. Ces relations sont présentées sous forme d'équations ci-contre (équation 1). Il existe deux types de variables latentes ; celles formées par un bloc d'indicateurs formatif et celles formées par un bloc d'indicateurs réflectif. Les équations sont différentes d'un type à l'autre. Pour un bloc d'indicateurs réflectif, la variable latente formée par ces indicateurs est la cause des variables manifestes. Cela signifie concrètement que les variables manifestes mesure la même chose mais différemment et donc que ces variables doivent être très corrélées. Pour un bloc d'indicateurs formatif, la logique est différente. Dans ce cas, ce sont les variables manifestes qui sont la cause de la variable latente. Cela signifie que les variables manifestes mesurent différents aspects de la variable latente, et ainsi, forment ensemble la variable latente. Il se peut alors que les variables manifestes dans ce cas de figure ne soient pas corrélées. Pour le modèle de mesure, le package utilisé fourni principalement deux choses, au travers de la fonction `pls` ;

- Les *weights*, π_{kh} , ou poids, c'est-à-dire les coefficients des combinaisons linéaires des variables manifestes qui forment leur variable latente.
- Les *loadings*, ou corrélations, c'est-à-dire la valeur de la corrélation entre la variable manifeste et sa variable latente.

Le deuxième modèle est le **modèle structurel** qui exprime les relations entre les variables latentes. L'équation type est présentée ci-contre (équation 2). (Tenenhaus 1998; Sanchez 2013). Le modèle d'une approche PLS se schématise comme dans la figure 15.

La fonction `plspm`, pour le modèle structurel, fournit les coefficients de régression $\beta_{k(k-1)}$ des relations entre variables latentes.

Le travail de l'analyste consiste d'abord à regrouper les variables manifestes en bloc d'indicateurs qui formeront la variable latente (le **modèle de mesure**). Ensuite, il doit indiquer les relations attendues entre les variables latentes (le **modèle structurel**) ; cela conditionne un certain fonctionnement de l'ensemble du modèle. C'est pourquoi cette méthode nécessite une solide connaissance du contexte de la problématique mais également des variables. L'étude des corrélations des variables deux à deux, l'ACP, et des lectures graphiques complètent donc obligatoirement l'expertise du sujet.

La fonction `plspm` (package `plspm`) associe les *weights*, les coefficients de régression et définit les *loadings* en tenant compte du supposé fonctionnement du modèle. Cette fonction est un algorithme itératif ; l'algorithme de l'approche PLS, dont le détail est exposé dans le livre de Tenenhaus (1998).

3.2.2.2 Conditions sur les variables manifestes, selon le bloc d'indicateurs

L'approche PLS mobilise des blocs d'indicateurs qui sont censés avoir un sens et fonctionner ensemble, soit de manière réflexive ou de manière formative. Suivant la nature du bloc d'indicateurs, les conditions à respecter sur les variables manifestes sont légèrement différentes. Cela oriente donc la constitution et la signification des variables latentes.

Pour les **blocs d'indicateurs réflexifs**, ce dernier doit vérifier l'unidimensionnalité, c'est-à-dire d'un point de vue géométrique, que les variables manifestes peuvent être représentées dans une seule dimension et donc pointer vers la même direction. L'unidimensionnalité est mesurée selon trois indicateurs ; Cronbach's alpha ($C\alpha$), Dillon-Golstein's Rho (DG) et la première valeur propre (1VP). Les conditions sont vérifiées lorsque $C\alpha$ et DG sont supérieurs à 0.7, et que la 1VP est supérieure à 1, avec la deuxième valeur propre inférieure à 1. Les variables manifestes doivent aussi être suffisamment corrélée avec leur variable latente : c'est l'étude des loadings. Les loadings et les communalités (loading^2) doivent être respectivement supérieurs à 0.7 et 0.49. Les communalités sont calculés pour connaître le pourcentage de variance partagée entre la variable latente et la variable manifeste concernée. Enfin, les variables manifestes doivent être plus corrélées avec leur variable latente qu'avec une autre variable latente. La valeur de la corrélation d'une variable manifeste avec une autre variable latente que la sienne, c'est le crossloading. Si les crossloadings sont supérieurs au loading de la variable, le modèle perd du sens et l'idéal est de supprimer cette VM.

Pour les **blocs d'indicateurs formatifs**, les variables ne sont pas obligatoirement corrélées, puisqu'elles peuvent constituer des aspects différents de la variable latente. Dans ce cas, le poids (weight) d'une variable manifeste dans la construction de la variable latente doit être suffisant en comparaison des autres variables manifestes qui constitue le bloc. Ceci est laissé à l'appréciation de l'analyste. Aussi, l'absence de corrélation avec d'autres variables latentes est très importante, d'où une étude des crossloadings.

La fonction `plspm` du package du même nom, sur R, fourni tous ces indicateurs nécessaires à la vérification des conditions sur les variables manifestes.

3.2.2.3 Vérification de la validité du modèle

L'évaluation de la pertinence du modèle est faite grâce à plusieurs indicateurs ; le R^2 , l'index de redondance et le Goodness-of-Fit (GoF), calculés par la fonction `plspm`. Il faut cependant garder du recul sur ces indicateurs qui sont plus ou moins bien adaptés selon le modèle, en fonction du nombre de variables latentes, du nombre de relations entre elles et de la nature des blocs d'indicateurs. Aussi, le R^2 renvoie plutôt le pouvoir explicatif du modèle alors que le GoF et la redondance renvoie plutôt une idée du pouvoir prédictif.

Le package `plspm` prévoit également une validation croisée permettant de vérifier la stabilité du modèle. Cette validation croisée permet la répétition du modèle n fois (le n relevant du choix de l'analyste) selon n échantillons différents, constitués à partir du jeu de donnée utilisé pour l'analyse. Les résultats de cette validation croisée permettent d'associer à chaque coefficient du modèle un intervalle de confiance correspondant aux valeurs prises durant les n répétitions du modèle

3.3 Application au cas d'étude

3.3.1 Transformation des variables : une standardisation originale

Pour procéder à l'analyse par approche PLS, il a été décidé que toutes les variables mobilisées dans le modèle, climatiques et agro-climatiques seraient standardisées. Ainsi, chaque variable annuelle est centrée réduite selon l'écart-type et la moyenne de l'exploitation sur 6 ou 7 ans. La valeur résultante de cette standardisation représente la variabilité, ou l'écart, par rapport à un niveau moyen de la variable à moyen terme. Cette typicité permet alors de capter des **variations interannuelles**, et intégrer ainsi, l'idée de la dynamique des exploitations. Cette standardisation s'appuie sur un raisonnement construit.

Tout d'abord, les variables n'ayant pas les mêmes unités ; exprimées parfois en °C, parfois en tMS/UGB, parfois dans d'autres unités, une standardisation était nécessaire pour pouvoir comparer ces valeurs dans une approche PLS.

Tableau 9 : Constitution des variables latentes selon leur type et les variables manifestes associées

Variable latente	Type	Variable manifeste	Libellé variable manifeste	Sans standardisation, exprimé en :
CLIMMAISCER	<i>Formative</i>	Ce01 _s	Risque de gel au stade épi 1 cm	Jours
		Ms01 _s	Echaudage thermique	Jours
CLIMPRAIR	<i>Formative</i>	Pr10 _s	Jours favorables à la récolte en foin sec	Jours
		Pr12 _s	Etat hydrique estivale après récolte en foin	Ratio RR/ETP
		Pr15 _s	Jours favorables à la récolte en enrubannage	Jours
PRODCONC	<i>Réflexive</i>	Ve04 _s	Quantité concentrés produits	tMS/UGB
		Ve14 _s	Rendements cultures annuelles	q/ha
PRODFOUR	<i>Formative</i>	Ve05 _s	Quantité fourrages produits	tMS/UGB
		Ve12 _s	Part du maïs ensilage récoltés sur tous les fourrages récoltés	%
		Ve13 _s	Rendements fourragers 1 ^e coupe herbe	tMS/ha
ACHATS	<i>Formative</i>	Ve02 _s	Quantité de concentrés achetés	tMS/UGB
		Ve03 _s	Quantité de fourrages achetés	tMS/UGB
ALIM	<i>Réflexive</i>	Ve06 _s	Quantité de fourrages consommés	tMS/UGB
		Ve07 _s	Quantité de concentrés consommés	tMS/UGB
		Ve11 _s	Herbe valorisée au pâturage	tMS/UGB
PRODTRoup	<i>Formative</i>	Ve20 _s	Productivité animale	L/VL, kgvv/UGB, L/BL, kgc/UGB
		Ve22 _s	Cheptel	UGB
RES	<i>Réflexive</i>	Va _s	Valeur ajoutée brute exploitation	€/ha ST

Ensuite, la dimension dynamique peut être intégrée, dans certaines études, par les pentes des régressions linéaires des indicateurs selon le temps (comme par exemple $Valeur\ ajoutée = a \times Année + b$). Cependant, un problème majeur est soulevé par cette utilisation de la pente : on considère alors que l'évolution des variables exploitation, climatiques et agro-climatiques suit une tendance linéaire dans le temps. C'est en revanche rarement le cas.

Enfin, les exploitations de l'échantillon sont différentes ; d'abord parce qu'elles sont de filière de production différentes, ensuite parce qu'elles n'ont pas la même taille, structure, ni le même environnement, collectif de travail ou autre. La moyenne et l'écart-type de l'échantillon entier comprennent donc ces sources de variations inter-productions et inter-fermes. Or ces variations sont parasites dans l'analyse par approche PLS. L'objectif est de comprendre les dynamiques d'adaptation propres au système d'exploitation et non de comparer les productions ou les fermes entre elles.

Après cette transformation, il est nécessaire de comprendre que la variable ne renvoie pas à une valeur brute mais à une dynamique d'évolution. Par exemple, la variable Pr10 exprimant le nombre de jours favorables à la récolte de foin devient la variable Pr10_s, exprimant la dynamique de l'année par rapport au niveau moyen observé, donc une évolution.

3.3.2 Choix des variables intégrées au modèle : le modèle de mesure

Les variables manifestes constituant des blocs d'indicateurs ont été sélectionnées par rapport :

- Au sens qu'elles donnaient à la variable latente,
- A la cohérence que les variables manifestes d'un même bloc avaient entre elles,
- Au respect des conditions pour former les blocs d'indicateurs (réflectif ou formatif),
- A l'importance qu'elles prenaient dans la construction de la variable latente.

Les variables climat et exploitation sélectionnées de cette manière sont ainsi récapitulées dans le tableau 9. Ainsi, des variables relatives aux conditions de cultures de céréales ont été regroupées dans un bloc formatif pour la VL CLIMMAISCER, pour **Climat du maïs et des céréales**. Celle-ci renvoie donc a priori à de mauvaises conditions agro-climatiques pour les cultures de céréales par rapport au niveau normalement observé. CLIMPRAIR, bloc formatif, le **Climat de la prairie**, regroupe des conditions agro-climatiques influençant positivement les possibilités de récolte et de pâturage de l'herbe par rapport à la moyenne. PRODCONC pour la **Production de concentrés** est issu d'un bloc réflectif dont les variables sont relatives à l'évolution de la quantité de céréales produite et des rendements de l'exploitation.

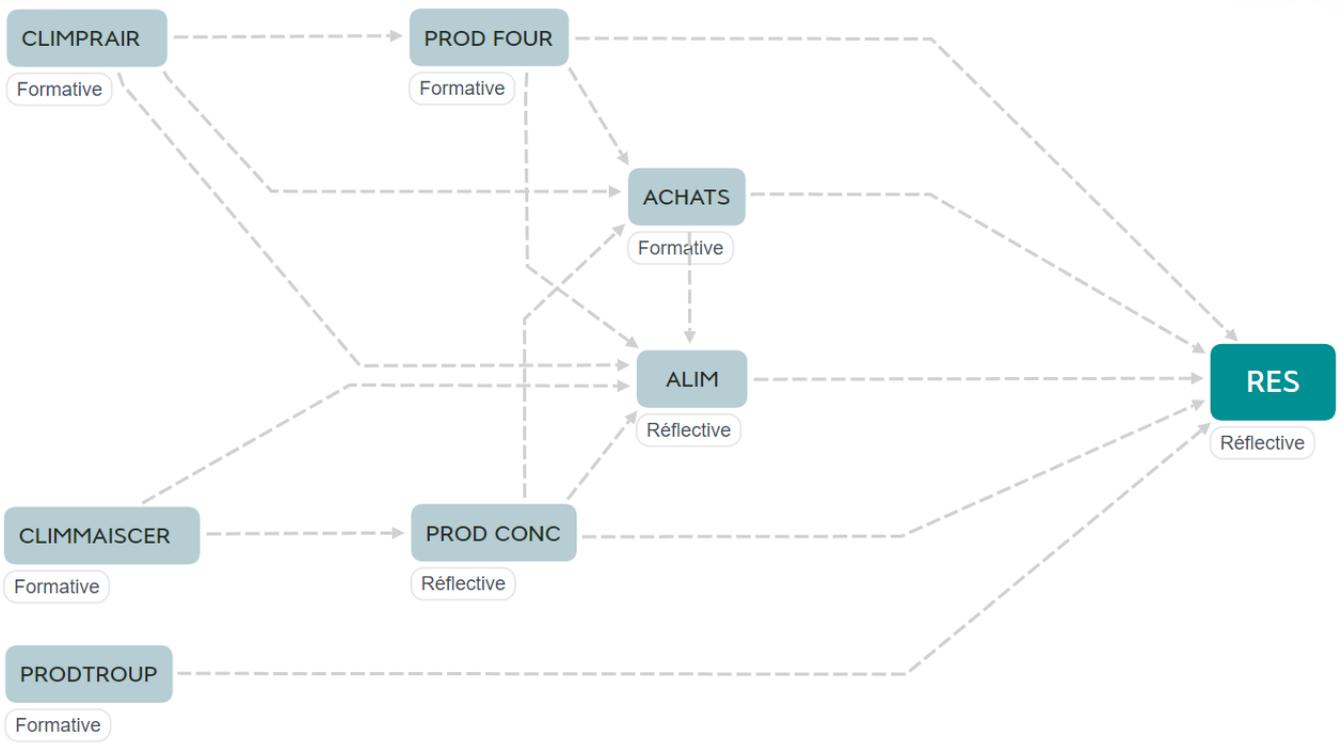


Figure 16: Modèle structurel de la résilience

PRODFOUR, formatif, pour la **Production de fourrages**, renvoie à la dynamique de la quantité de fourrages produits, dont plus particulièrement celle du maïs ensilage et du rendements fourragers d'herbe. ACHATS est la variable latente de nature formative, des **Achats d'aliments**, comprenant les évolutions des quantités de fourrages et de concentrés achetés. ALIM est la variable réflexive d'**Alimentation du troupeau**. Elle renvoie aux variations des quantités de fourrages et de concentrés distribués au troupeau. PRODTROUP est la variable de **Production du troupeau**, de nature formative. Elle renvoie aux dynamiques de la productivité par animal et du nombre d'animaux qui produisent. Enfin, RES pour **Résilience**, est la variable centrale, que l'on souhaite par ce modèle, expliquer. Elle renferme les variabilités de la valeur ajoutée par rapport au niveau moyen de chaque exploitation.

3.3.3 Choix des relations entre variables latentes : le modèle structurel

Selon le schéma présenté en figure 16, les relations du modèle de résilience choisi sont les suivantes :

- Le climat de la prairie influence à la fois l'alimentation du troupeau, la production des fourrages et les achats d'aliments.
- Le climat du maïs et des céréales impacte la production de concentrés et l'alimentation du troupeau.
- La production de fourrages et la production de concentrés influencent les achats d'aliments, l'alimentation du troupeau et la résilience.
- Les achats influencent l'alimentation du troupeau et la résilience
- Enfin, la production du troupeau et l'alimentation du troupeau impactent la résilience

Le modèle de la figure 16, finalement mobilisé dans l'analyse, est l'aboutissement d'un travail méthodologique. Dans un premier temps, l'étude des variables par des matrices de corrélations, des lectures graphiques, des ACP et complétée par des lectures bibliographiques et les connaissances des experts ont permis la compréhension des interactions entre les variables manifestes. Ensuite, la clarification des objectifs de l'étude et de la définition, dans ce contexte, de la notion de résilience que l'on a souhaité évaluer ont donné l'esquisse du modèle. C'est ainsi que ce sont formés les blocs d'indicateurs. Enfin, l'appréhension des relations entre variables latentes, notamment par des essais consécutifs de modèles structuraux, ont permis d'aboutir à un tel modèle.

3.4 Classification

3.4.1 Production de connaissances techniques

A l'issue de l'approche PLS, on dispose de variables latentes qui synthétisent plusieurs variables manifestes de manière optimale pour exprimer une partie du système d'exploitation.

A partir de ces variables latentes, j'ai réalisé une analyse en composantes principales (ACP) suivi d'une classification ascendante hiérarchique (CAH) sur les individus exploitations années.

L'objectif de cette analyse était de décrire une typologie d'exploitation dont la résilience différait et d'observer en quoi les fonctionnements de ces systèmes différaient.

3.4.2 Principes des analyses

L'**ACP** a pour objectif de synthétiser et de hiérarchiser les liaisons qui peuvent exister entre les variables afin d'obtenir un nombre restreint d'axes qui résumeraient au mieux la variabilité initiale. Les composantes principales sont donc des combinaisons linéaires, ici, des variables latentes

L'ACP a été réalisée grâce au package Factoshiny. Ce package fournit les valeurs propres et ainsi la variabilité expliquée pour chaque composante principale, représentée dans une dimension. Les valeurs propres renvoient à l'inertie prise en compte par la composante principale. L'inertie d'un nuage de points correspond à sa distribution dans l'espace. Pour distinguer les points, il est préférable de conserver suffisamment d'inertie. On sélectionne le nombre de dimensions que l'on garde selon la part d'inertie perdue. Cela signifie qu'en choisissant n dimensions, la part d'inertie perdue entre n dimensions et $n+1$ dimensions doit être minimale.

Le package fournit également la corrélation de chacune des variables avec chaque dimension, selon la significativité de sa participation. Cela permet de décrire les axes selon les variables latentes qui y participent le plus. On peut dans ce cadre, représenter les variables latentes dans un plan factoriel selon les dimensions sélectionnées.

Dans l'ACP réalisée, les variables année et production ont été testées en tant que variable qualitative. Après la construction des composantes principales et la représentation des individus dans les dimensions choisies, on teste si les modalités des variables qualitatives participent significativement à la construction des dimensions.

La **CAH** mobilise les dimensions choisies dans l'ACP pour représenter les individus dans ce plan factoriel et les classer en types selon leur place dans ce plan factoriel. Elle a également été réalisée sous Factoshiny. La classification a ici été réalisée sur les individus exploitations-années ; ainsi une exploitation ne conserve pas forcément la même classe sur les 7 ans. Dans le plan factoriel choisi, la CAH regroupe les individus selon leur distance euclidienne. Pour faire partie d'une même classe, les individus doivent être le plus proche possible dans le plan factoriel donné. Le nombre de classe retenu est défini par défaut selon Factoshiny, en fonction de la qualité des classes obtenues. La classification des individus a été consolidée, cela signifie que la classe de certains individus a été corrigée s'ils se situaient plus proche du barycentre d'un autre groupe que du leur. Dans ce cas, c'est l'autre groupe qui leur a été attribué.

Le package fournit des valeurs Eta2 qui renseignent les liens des variables latentes à la classification. Il présente les variables latentes qui participent le plus à la différenciation des classes. Plus la valeur d'Eta2 est forte, plus la variable latente participe à la classification. Une p.value est associé à Eta2 pour décrire la significativité.

Le package fournit également une description des classes selon des valeurs test pour chaque variable latente et chaque modalité de variable qualitative significative. La valeur test prise pour une variable d'un groupe renvoie au positionnement des valeurs prise par ce groupe par rapport aux autres groupes. Les valeurs consignées de 2 ou de -2 permettent d'arbitrer si le groupe est, respectivement, significativement supérieur ou inférieur aux autres groupes. Ces valeurs permettent de décrire rapidement les classes selon les variables et les modalités significativement différentes entre les classes.

Evolution moyenne de la valeur ajoutée brute exploitation (Va)
Entre 2014 et 2020

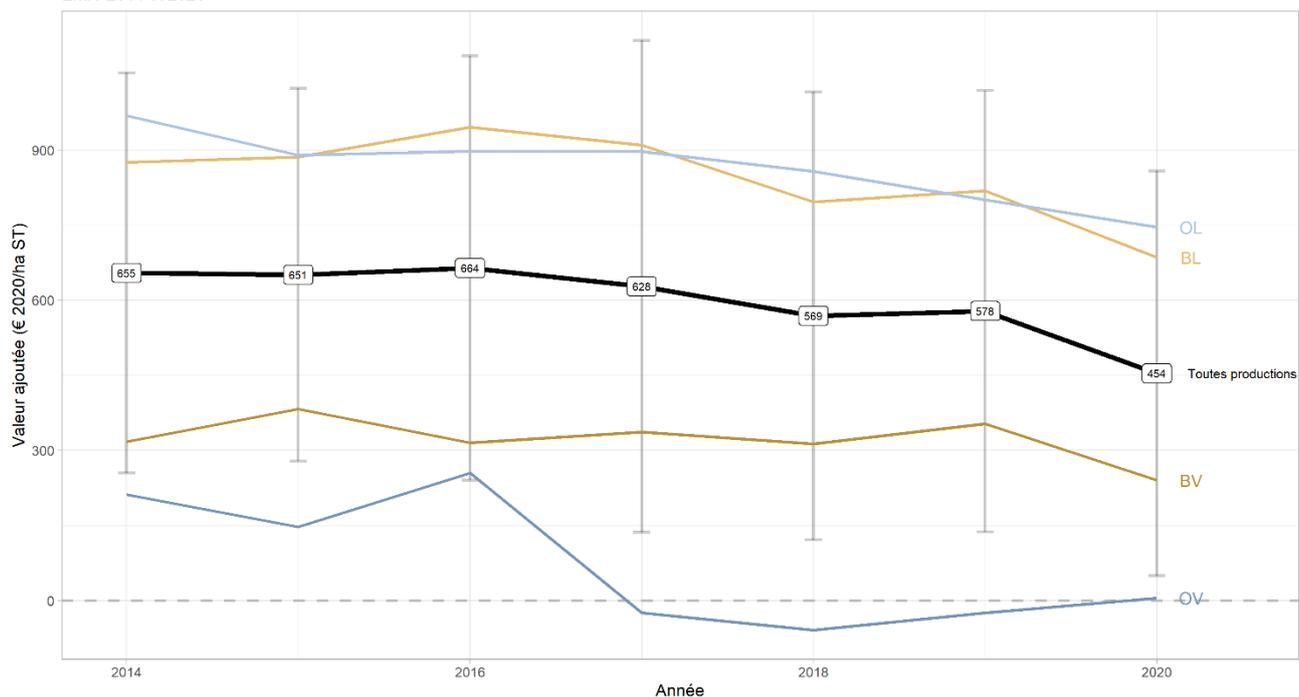


Figure 17: Evolution moyenne de la valeur ajoutée brute d'exploitation entre 2014 et 2020

Evolution moyenne des produits végétaux de la ferme et de la part de cultures annuelles dans l'assolement
Entre 2014 et 2020

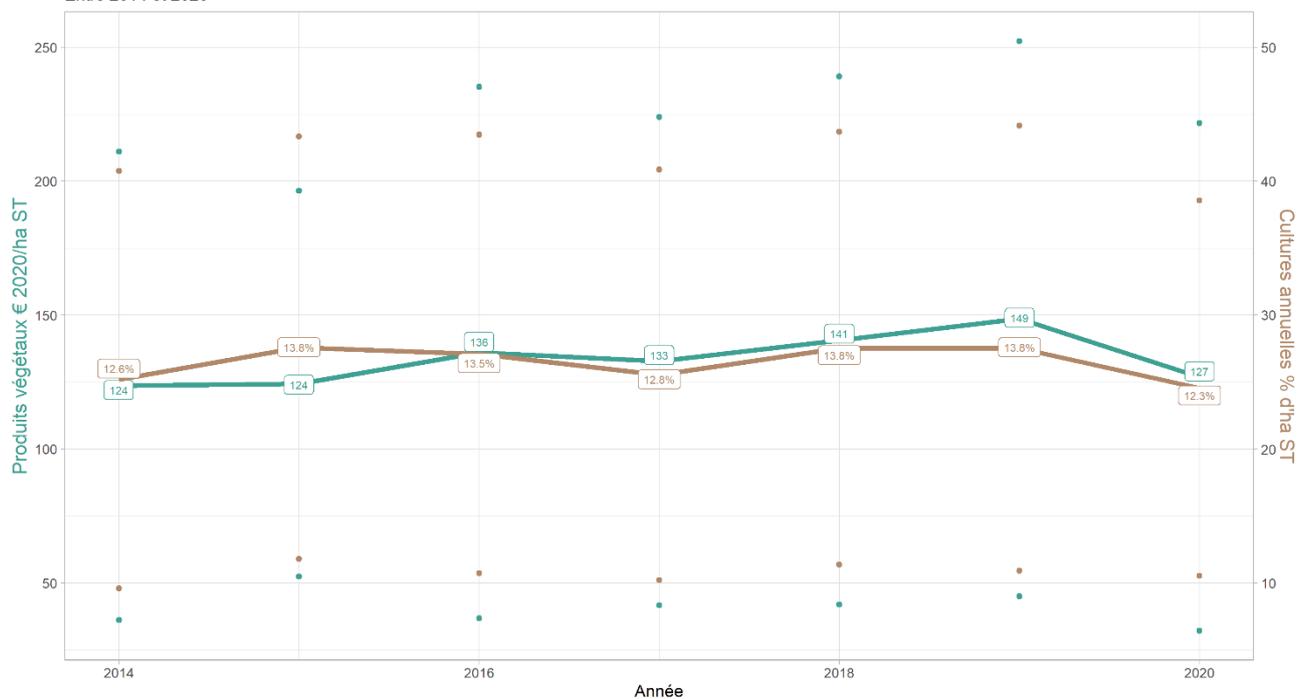


Figure 18: Evolution moyenne des produits végétaux de la ferme et de la part de cultures annuelles dans l'assolement entre 2014 et 2020

Partie III : Résultats

1 Analyse descriptive des variables

1.1 Observation des trajectoires générales des fermes et du climat entre 2014 et 2020

Il est évident que la présentation des 80 variables calculées nuirait à la clarté de cette partie. Pour cette raison, un choix de variables synthétiques a été fait. Néanmoins, des graphiques en annexe permettront de compléter certaines observations.

1.1.1 Evolutions moyennes des variables concernant les exploitations

Dans le cas des indicateurs exploitations, on différenciera deux sources de variabilité ; la première provenant de la filière de production, elle est représentée sur les graphiques par les barres d'erreur. La seconde provient de l'hétérogénéité entre les exploitations d'une même production, elle sera illustrée par les coefficients de variation dans le texte.

La valeur ajoutée brute d'exploitation (VA), diminue entre 2014 et 2020 pour les 4 filières de production (figure 17). Toutes productions confondues, la VA aura diminué en moyenne de 201 €/ha ST, les valeurs monétaires étant exprimées en € constant sur toute la période d'étude. Il existe tout de même des disparités entre les productions. Les deux productions laitières sont systématiquement supérieures à la moyenne au cours des 7 ans alors que les productions allaitantes sont toujours inférieures à la moyenne. Malgré la diminution générale de valeur ajoutée, ce sont les exploitations de bovins allaitants qui se sont le mieux maintenues sur les années étudiées, puisque leur VA a évolué de -77 €/ha ST entre 2014 et 2020. En comparaison, la valeur ajoutée des bovins lait a diminué de 190 €/ha ST, celle des ovins lait de 223 €/ha ST et celle des ovins viande de 207 €/ha ST. Par ailleurs, la valeur ajoutée des ovins viande a fortement fluctué au cours des 7 ans. Ceci peut en partie s'expliquer par un petit nombre d'exploitations suivies : seulement 4 exploitations entre 2014 et 2020. On notera tout de même que c'est la seule production qui observe des moyennes de VA négatives au cours des exercices 2017, 2018 et 2019.

Les produits végétaux ont très légèrement augmenté, en € constant, de façon linéaire entre 2014 et 2020, alors que la part des cultures annuelles dans l'assolement a stagné (figure 18). En 2020, les produits végétaux et la part des cultures annuelles dans l'assolement ont diminué. Les produits animaux ont quant à eux diminué de 133 €/ha ST entre 2014 et 2020, toutes filières confondues (figure 19). Les produits animaux restent cependant bien au-dessus des produits végétaux au cours des 7 ans. Tout comme les produits végétaux, les produits animaux se maintiennent bien dans le temps.

Evolution moyenne des produits animaux (Ve18)
Entre 2014 et 2020

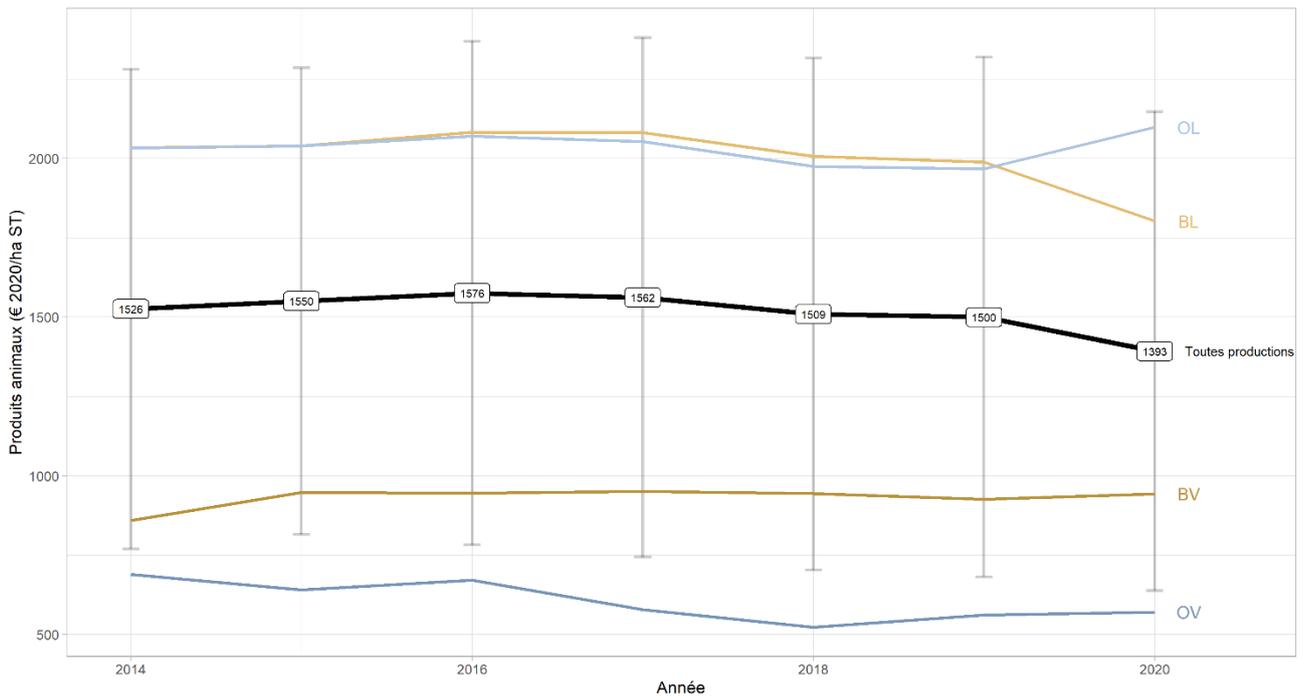


Figure 19: Evolution moyenne des produits animaux entre 2014 et 2020

Evolution moyenne des consommations intermédiaires (Ve21)
Entre 2014 et 2020

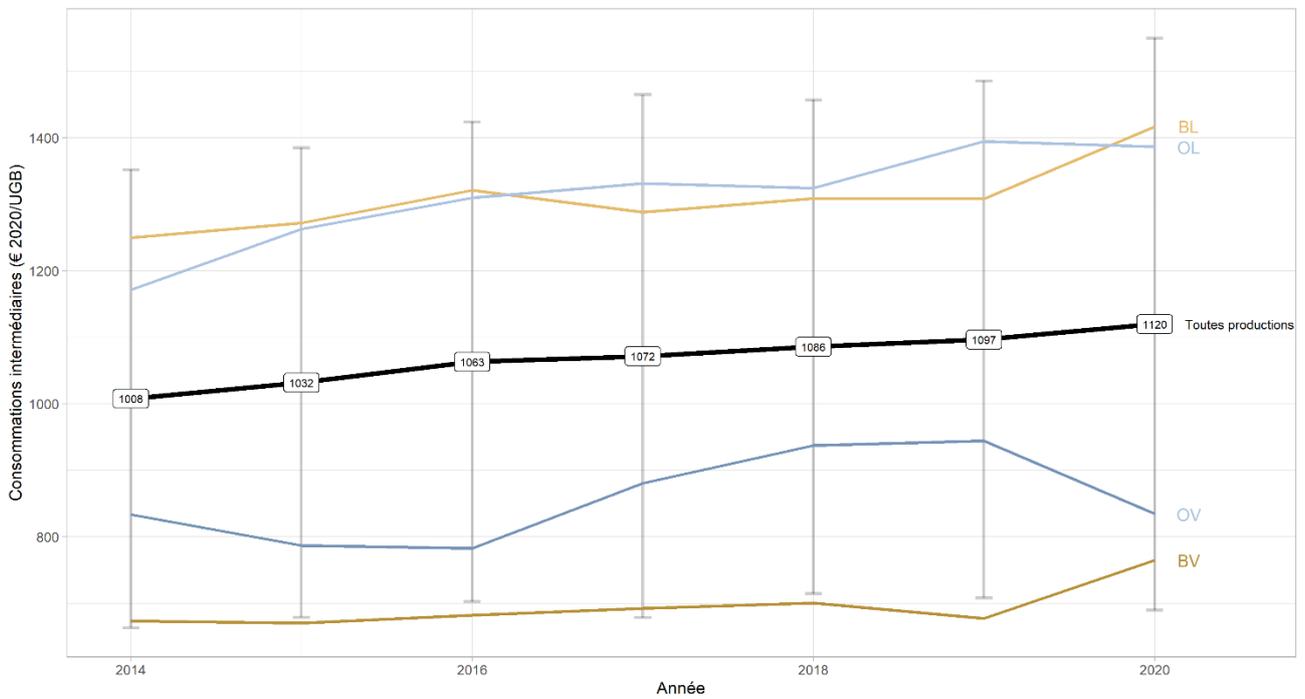


Figure 20: Evolution moyenne des consommations intermédiaires entre 2014 et 2020

En regardant les évolutions par filière des produits animaux, on remarque que les filières laitières sont toujours supérieures à la moyenne et inversement pour les filières allaitantes.

Les niveaux de consommations intermédiaires (CI) par UGB ont augmenté entre 2014 et 2020 (figure 20). Toutes productions confondues, elles ont augmenté en moyenne de 112 €/UGB. Comme pour la VA, les niveaux des filières laitières sont systématiquement au-dessus de la moyenne, alors que les niveaux de CI des filières allaitantes sont en dessous. Entre 2017 et 2019, les niveaux de consommations intermédiaires des ovins viande ont augmenté subitement, avant de diminuer en 2020.

Evolution moyenne des quantités de fourrages consommés
Entre 2014 et 2020, toutes productions confondues

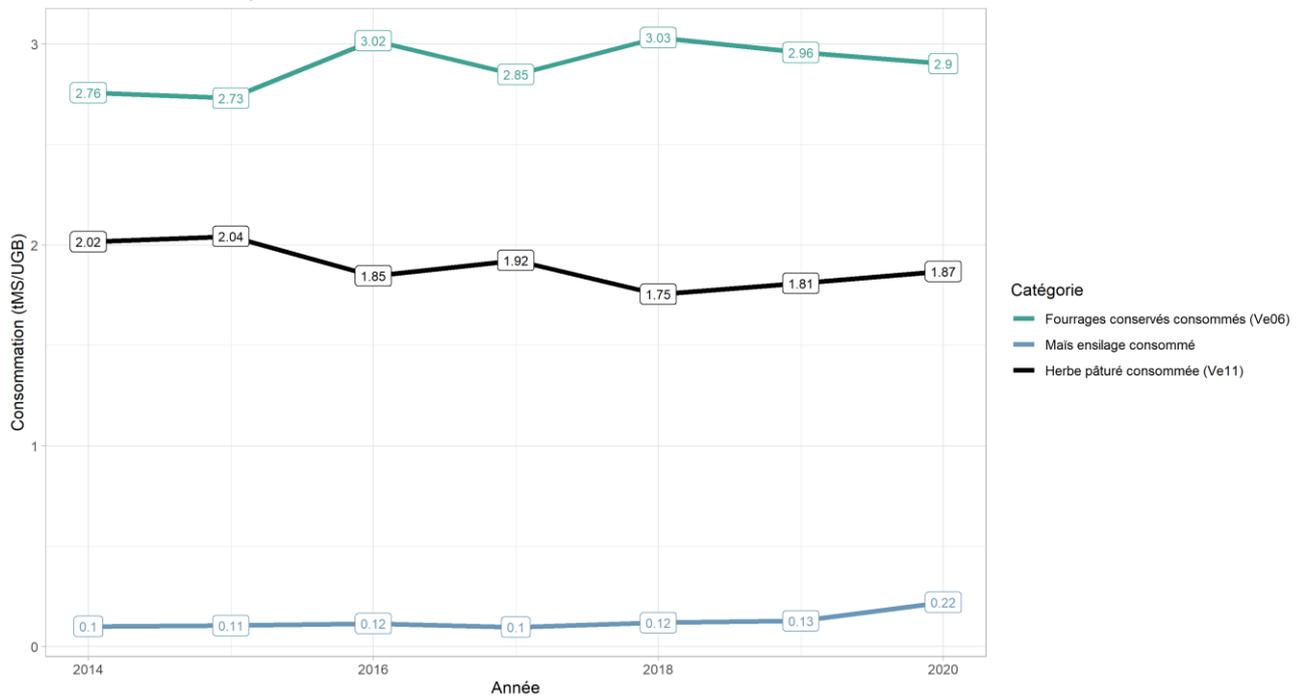


Figure 21: Evolution moyenne des quantités de fourrages consommés entre 2014 et 2020

Evolution moyenne de la quantité d'aliments achetés
Entre 2014 et 2020, toutes productions confondues

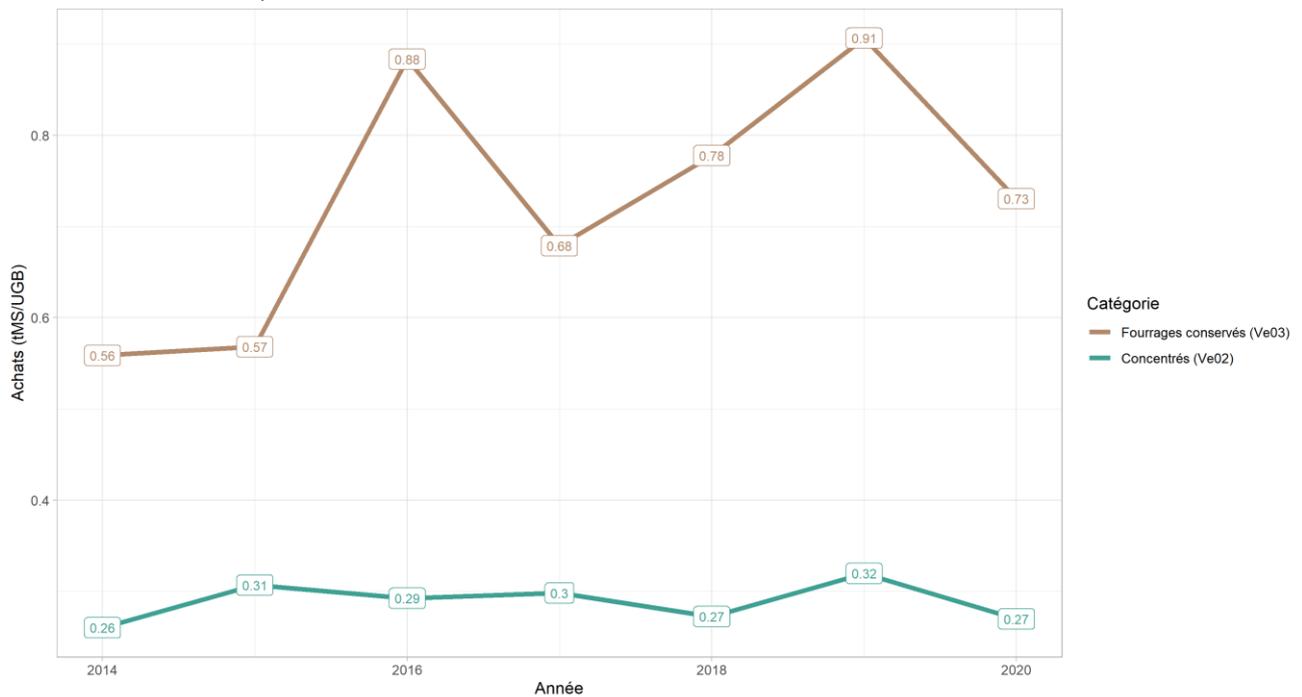


Figure 22: Evolution moyenne de la quantité d'aliments achetés

De manière générale, la quantité d'herbe pâturée a diminué de 0.15 tMS/UGB entre 2014 et 2020 (figure 21). Cette quantité a fluctué au cours des 7 ans ; il ne s'agit pas d'une diminution linéaire de l'herbe pâturée. La quantité de fourrages conservés utilisé par le troupeau a complété les fluctuations de l'herbe pâturée ; elle a adopté les tendances inverses pour chaque année de la courbe de l'herbe pâturée. Enfin, la consommation du maïs ensilage intra-produit et acheté a augmenté en 7 ans. C'est une augmentation que l'on observe principalement entre 2019 et 2020, les niveaux des autres années étant relativement stables.

Le graphique en figure 22 présente les quantités moyennes d'achats de fourrages et de concentrés, toutes productions confondues. La courbe des achats de concentrés est relativement stable, bien que la quantité d'achats de concentrés augmente en 2019, avant de re-diminuer en 2020. La quantité de fourrages achetés est bien supérieure à la quantité de concentrés achetés, et varie aussi plus souvent. En 2016, 2018 et 2019, la quantité de fourrages achetés a nettement augmenté. Des graphiques d'évolution de la quantité de fourrages et de concentrés achetés par filière sont annexe VIII Ils montrent que les tendances d'évolutions divergent selon les filières. Les achats de fourrages des ovins viandes sont largement inférieurs aux trois autres productions. Cela dit, toutes les filières suivent la tendance moyenne des achats de fourrages.

La quantité de concentrés achetés par les bovins viande est inférieures à la moyenne de l'échantillon global sur les 7 ans. A l'inverse, les filières ovines et les bovins lait achètent plus de concentrés que la moyenne sur les 7 ans. Enfin, la quantité de concentrés achetés par les bovins lait diminue entre 2014 et 2020, alors qu'elle augmente pour les ovins lait, ovins viande et bovins viande. Par contre, les coefficients de variation autour des moyennes d'achats pour chaque production (annexe IX) montrent qu'il y a aussi beaucoup de variabilités entre les fermes d'une même production. Les bovins viande sont d'ailleurs très variables sur la quantité de concentrés achetés, d'autant plus en 2014.

Evolution moyenne de la consommation de concentrés
Entre 2014 et 2020, toutes productions confondues

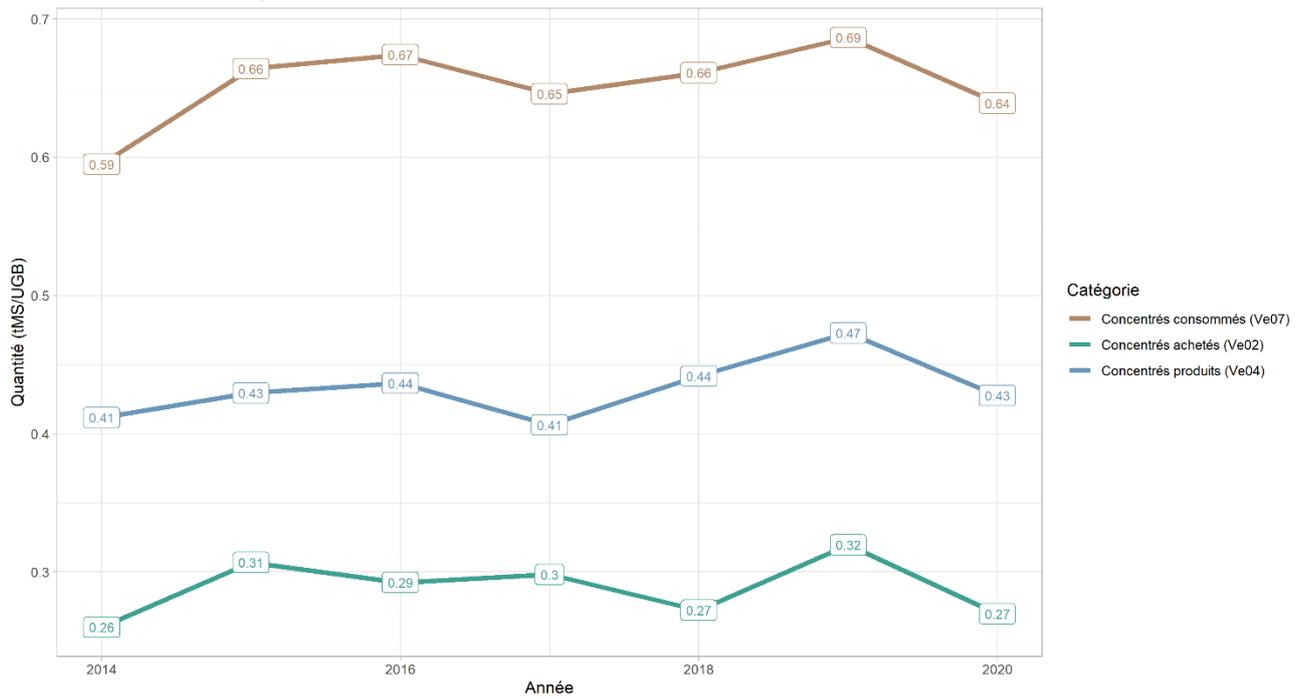


Figure 23: Evolution moyenne de la consommation de concentrés entre 2014 et 2020

Evolution moyenne de la productivité animale (Ve20)
Entre 2014 et 2020

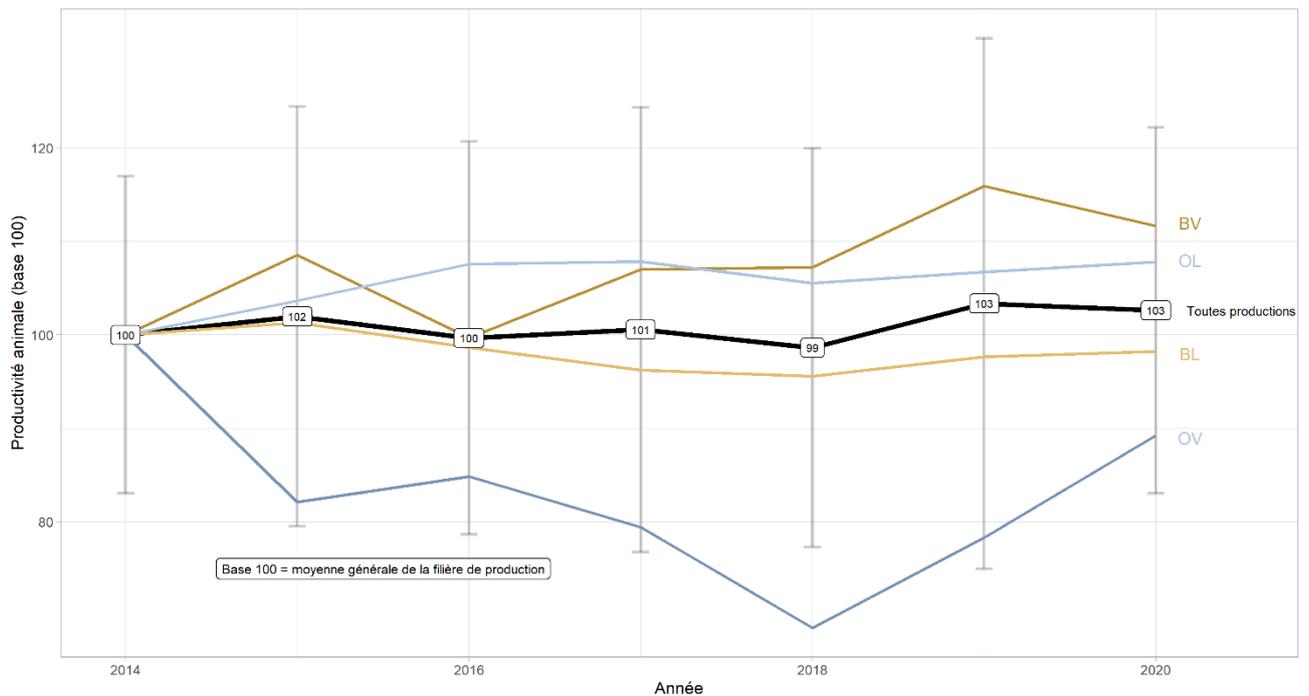


Figure 24: Evolution moyenne de la productivité animale entre 2014 et 2020

Les niveaux de consommations de concentrés ont très légèrement augmenté entre 2014 et 2020 (figure 23). La quantité de concentrés produits est toujours supérieure à la quantité de concentrés achetés. Les courbes de concentrés produits, achetés et consommés suivent à peu près les mêmes tendances chaque année. En 2015 et en 2019, il y a une nette augmentation de la consommation, la production et des achats de concentrés. Alors qu'en 2018 et 2020, on observe une légère baisse.

La productivité animale s'améliore très légèrement en moyenne entre 2014 et 2020 (figure 24). Elle est exprimée en base 100 pour comparer les différentes productions. En moyenne, la productivité en 2020 a augmenté de presque 3% par rapport à l'année 2014. Les ovins lait et les bovins viande ont amélioré leur productivité sur les 7 ans, alors que les bovins lait ne l'ont que très légèrement diminué (98 en 2020). Les ovins viande ont énormément varié, pour atteindre un niveau de 89 en 2020. Les variabilités inter-fermes mais aussi inter-productions sont relativement limitées, excepté pour les ovins viande qui atteignent des coefficients de variation de plus de 50%.

Evolution moyenne du nombre de jours favorables aux récoltes d'herbe
Entre 2014 et 2020



Figure 25: Evolution moyenne du nombre de jours favorables aux récoltes d'herbe

Evolution moyenne de la satisfaction hydrique estivale après la récolte en foin, après le 15/09 (Pr12)
Entre 2014 et 2020

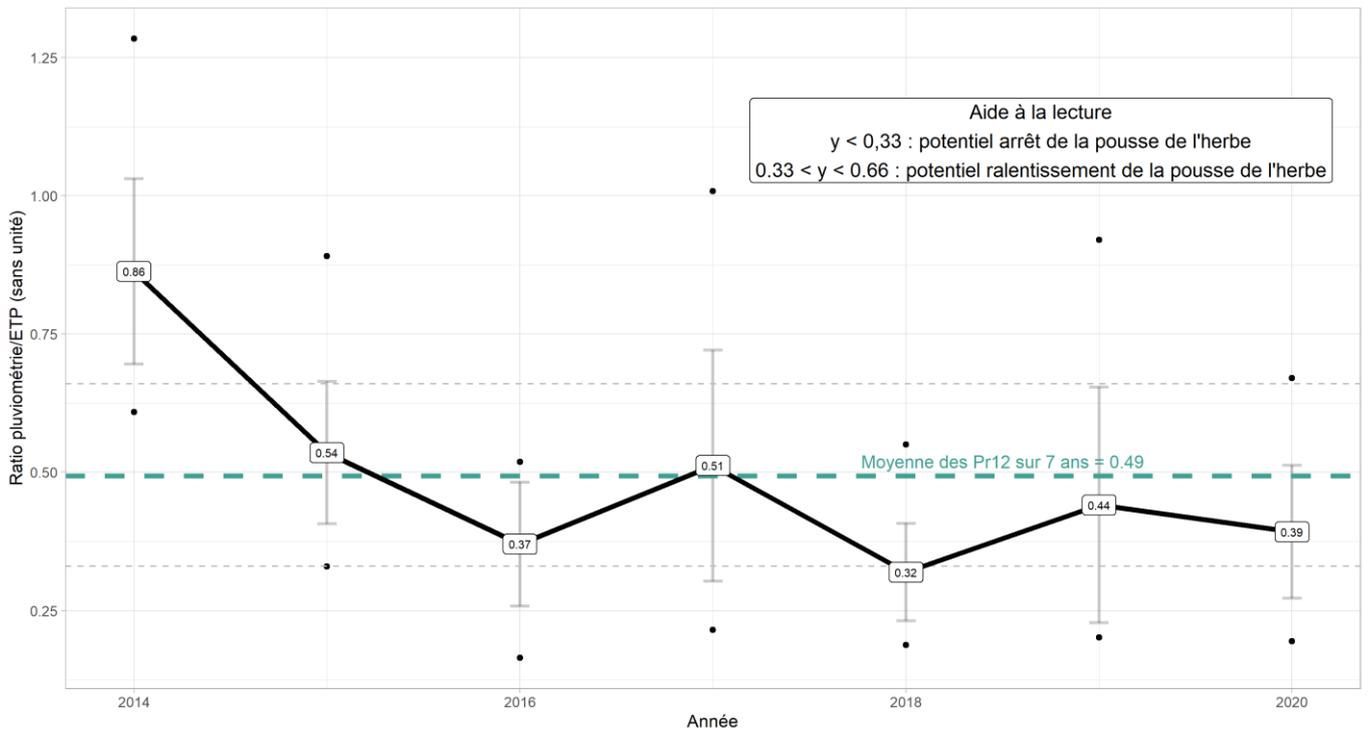


Figure 26: Evolution moyenne de la satisfaction hydrique estivale après la récolte en foin, après le 15/09

1.1.2 Evolutions climatiques moyennes subies par les exploitations

1.1.2.1 Indicateurs agro-climatiques relatifs aux prairies

Le nombre de journées favorables aux récoltes d'herbe sous forme d'ensilage et d'enrubannage fluctue respectivement autour de 3 et 5 jours, plus ou moins 1 jour entre 2014 et 2020 (figure 25). Il faut d'abord noter que les évolutions pour les récoltes d'enrubannage et d'ensilage suivent exactement les mêmes tendances d'années en années. En 2016, 2018 et 2019, le nombre de jours favorables aux récoltes était relativement faible. En 2016, 2017, 2018 et 2020, les possibilités de récolter en ensilage ou en enrubannage étaient très variables d'une ferme à l'autre (annexe XVI). Certaines années, certaines fermes n'avaient aucun jour pour récolter sous cette forme, alors qu'au maximum, d'autres fermes auront eu entre 10 et 15 jours pour faire de l'enrubannage ou de l'ensilage. Pour les foin, le nombre de jours favorables à la récolte est légèrement plus élevé que pour l'enrubannage et l'ensilage sur les 7 ans (un peu plus de 5 jours). Il est très variable selon les années. Ainsi, en 2016 et 2018, le nombre de jours favorables aux récoltes de foin est bien en dessous de la moyenne de 5 jours. Ces mêmes années, il y a aussi eu plus de variabilités entre les fermes, avec pour certaines exploitations, aucun jour de bonnes conditions de récolte et pour d'autres, plus de 14 jours (annexe XVI).

Le graphique en figure 26 représente l'évolution de la satisfaction hydrique estivale des prairies après la fauche. Le calcul de ce ratio entre l'ETP et la pluviométrie permet d'approcher la couverture des besoins en eau de l'herbe après les foin, en fin d'été-début d'automne. En se fiant à ce seul indice, il n'y aurait qu'en 2014 où la pousse de l'herbe a pu, en moyenne, redémarrer après le 15 septembre.

Evolution moyenne du nombre de jours de risque de gel inférieur à -4°C entre le 20/02 et le 10/04 au stade épi 1 cm (Ce01)
 Entre 2014 et 2020

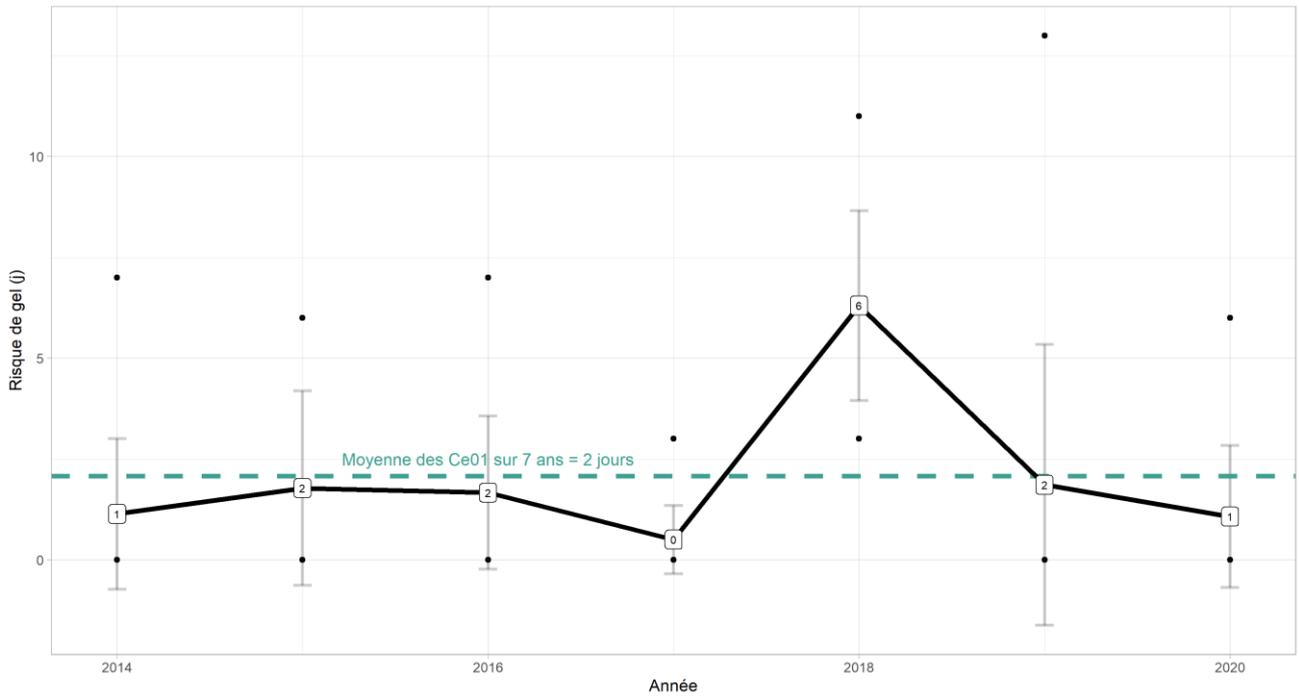


Figure 27: Evolution moyenne du nombre de jours de risque de gel inférieur à -4°C entre le 20/02 et le 10/04, entre 2014 et 2020

Evolution moyenne du nombre de jours d'échaudage thermique à plus de 32°C entre le 1/06 et le 30/09 (Ms01)
 Entre 2014 et 2020

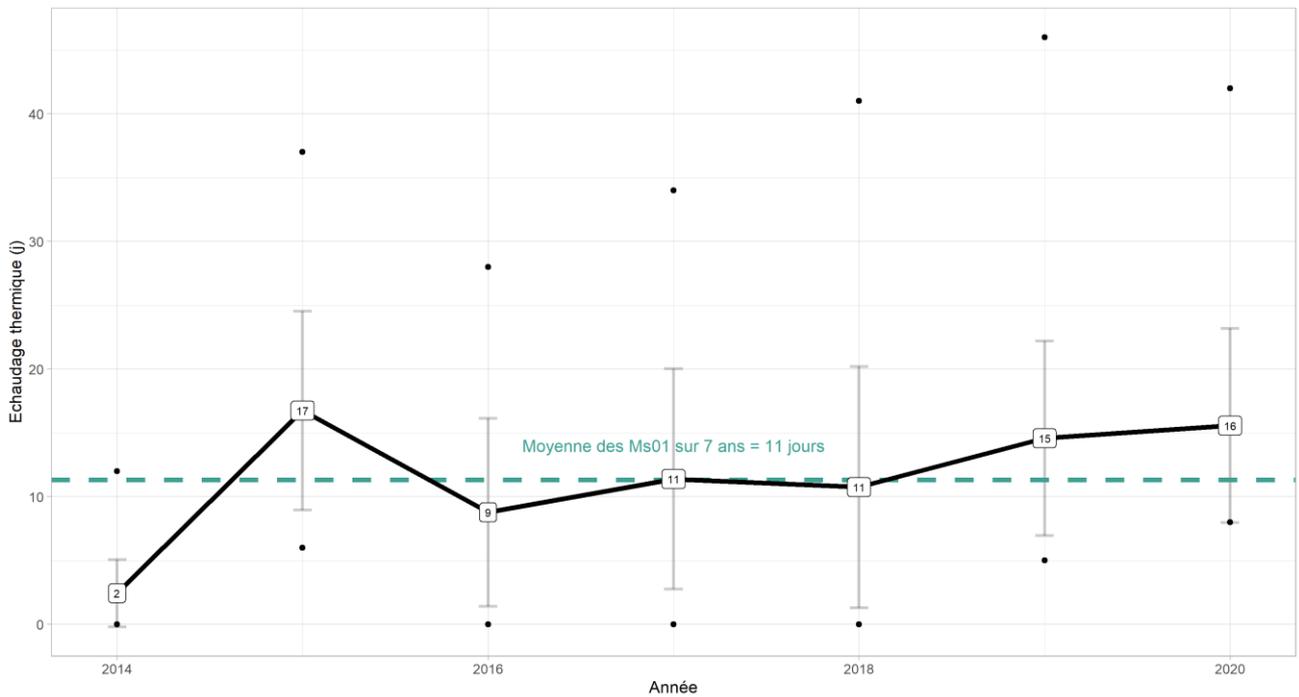


Figure 28: Evolution moyenne du nombre de jours d'échaudage thermique à plus de 32°C entre le 1/06 et le 30/09, entre 2014 et 2020

1.1.2.2 Indicateurs agro-climatiques relatifs aux cultures

En 2018, les jours de gel (-4°C) entre le 20 février et le 10 avril atteignent en moyenne 6 jours, alors que la moyenne septennale est de 2 jours (figure 27). Cette année 2018 a été particulière ; les moyennes hivernales et printanières des températures minimales journalières étaient légèrement inférieures à la moyenne des 7 ans, mais les valeurs journalières étaient bien plus dispersées (en annexe X). C'était donc une année légèrement moins chaude que la moyenne des 7 ans, mais avec beaucoup plus d'extrêmes. Aussi on notera que le gel était très variable entre fermes l'année 2019, où certaines fermes auront échappé au risque de gel (minimum de nombre de jours = 0), alors qu'au maximum, d'autres auront eu 13 jours de gel.

Le risque d'échaudage thermique pour le maïs grain est plus fort que la moyenne en 2015, 2019 et 2020 (figure 28). Il est en revanche extrêmement variable selon les fermes. Le calcul du coefficient de variation (écart-type/moyenne) permet de se rendre compte de la dispersion des données, et donc de la variabilité inter-fermes dans ce cas. Classiquement, 40% est utilisé comme valeur de consigne. Dans le cas de l'échaudage thermique, le coefficient est toujours supérieur à 40%. La moyenne est donc difficilement interprétable. Il est intéressant de rapprocher ce graphique du graphique des moyennes annuelles des températures maximales en annexe XI. Les évolutions de ces courbes suivent la même tendance. Pourtant, les coefficients de variation associés pour chaque année sont très nettement plus faibles ; ils n'excèdent pas 9% pour les moyennes annuelles des températures maximales journalières. Il faut donc noter que même une faible variation de températures peut avoir de grandes incidences agro-climatiques, dans le cas présent, sur les cultures.

Le nombre de jours permettant les récoltes de foin est plus élevé que les jours où l'on peut enrubanner ou ensiler, mais aussi plus variable. L'état hydrique des prairies en début d'automne n'a permis la pousse de l'herbe, en moyenne, qu'en 2014. L'année 2018 était particulièrement à risque pour le gel des céréales, avec un climat particulier. Le risque d'échaudage thermique est très variable selon les exploitations.

Pour toutes les filières de production, la valeur ajoutée brute d'exploitation a diminué et les niveaux de consommations intermédiaires ont augmenté. La quantité d'herbe pâturée a fluctué durant les 7 ans, mais a des niveaux comparables entre 2014 et 2020, à l'exception des filières ovines. Les évolutions d'achats d'aliments totaux reflètent surtout les évolutions d'achats de fourrages. En revanche, les niveaux achats d'aliments sont très variables entre les fermes, et ce même au sein d'une même filière de production. Les produits animaux et végétaux sont restés stables sur les 7 ans. La productivité animale s'est en moyenne améliorée, sinon maintenue.

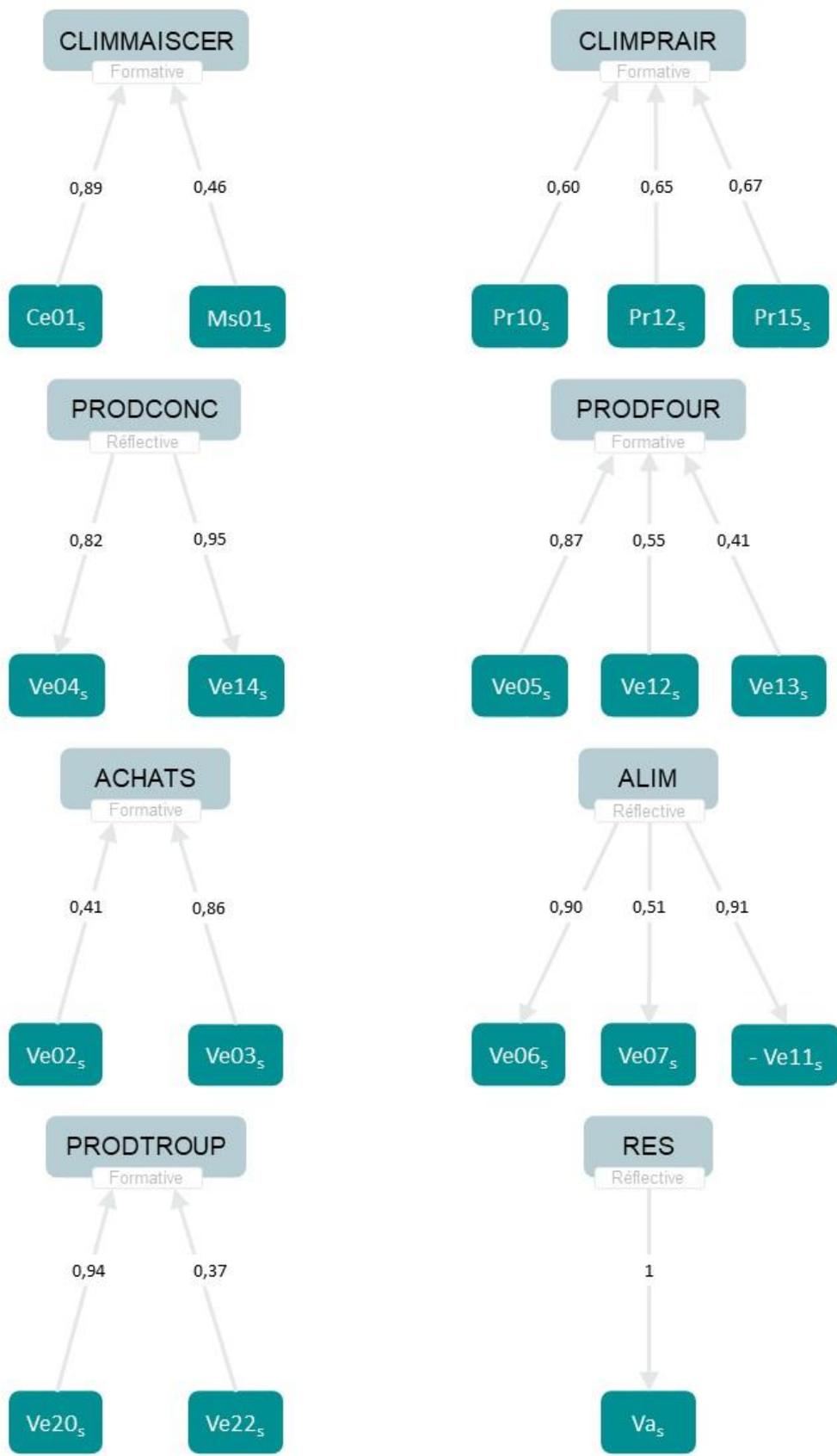


Figure 29: Modèle de mesure de la résilience pondéré par les loadings

2 Description du modèle d'approche PLS de la résilience

2.1 Le modèle de mesure : « Inner model »

Le schéma de la figure 29 présente les « loadings » des variables manifestes (VM) par rapport à leur variable latente (VL). Ces « loadings » représentent la corrélation entre la VM et sa VL et donc la participation de la VM dans la définition de la VL. Le tableau en annexe XII présente quant à lui les « weights » des variables manifestes dans leur VL. Ce sont les coefficients de l'équation qui donnent le « score » de la variable latente : la valeur prise par la VL.

CLIMMAISCER est une VL issue d'un bloc d'indicateurs formatif. Les VM la constituant, Ce01_s pour la dynamique d'évolution du nombre de jours à risque de gel au début du printemps et Ms01_s pour la dynamique d'évolution du nombre de jours à risque d'échaudage du maïs en été, sont corrélées positivement à leur variable latente. De cette manière, CLIMMAISCER est la variable latente qui renvoie à de mauvaises conditions climatiques, surtout pour les récoltes de maïs et céréales.

CLIMPRAIR, également une variable formative, a des VM positivement corrélées avec elle ; Pr10_s et Pr15_s pour l'évolution des nombres de jours favorables aux récoltes respectivement de foin et d'enrubannage, Pr12_s pour l'évolution de l'état hydrique des prairies en fin d'été/début d'automne. Cette variable signifie donc de bonnes conditions pour récolter des fourrages d'herbe et pâturer.

PRODCONC, de nature réflexive, est constituée de Ve04_s, l'évolution de la quantité de concentrés intraproduits et consommés dans l'année, et Ve14_s, l'évolution de la moyenne pondérée des rendements de céréales dont méteils de l'année. Ces VM sont toutes les deux positivement corrélées à leur VL. La production de concentrés signifie donc les variations de production de céréales pouvant être des concentrés et la variation des rendements.

PRODFOUR, également de nature formative, comprend trois VM ; Ve05_s pour la dynamique d'évolution de la quantité de fourrages intraproduits, et consommés dans l'année, Ve12_s pour la dynamique de la part de maïs ensilage dans les fourrages récoltés et Ve13_s soit l'évolution des rendements de la première coupe d'herbe de l'année. Ces trois variables sont positivement corrélées à leur variable latente, bien que Ve13_s le soit dans une moindre mesure. La variable de production de fourrages renvoie donc à la dynamique de production des fourrages mais aussi aux rendements de maïs ensilage et de la première fauche d'herbe.

ACHATS est une VL formative qui comprend deux VM ; la première, Ve02_s, est relative à l'évolution de la quantité de concentrés achetés dans l'année, et Ve03_s, sa variable homologue pour les fourrages. Ve02_s et Ve03_s sont corrélées positivement à leur VL.

La variable des achats d'aliments permet donc de synthétiser les achats de fourrages d'un côté et de concentrés de l'autre.

ALIM est une VL réflexive qui comprend trois VM relatives à l'alimentation du troupeau : la quantité de fourrages conservés utilisés par les animaux (Ve05_s), la quantité de concentrés (Ve06_s) mais aussi l'estimation de l'herbe pâturée (Ve11_s). Cette dernière variable est négativement corrélée aux deux autres, c'est pourquoi son signe a été inversé. Cela permet d'obtenir une variable latente fortement corrélées avec les quantités de fourrages conservés consommés et d'herbe pâturée, mais aussi avec la quantité de concentrés consommés. Cette VL signifie donc la part des fourrages conservés utilisés relativement à la part d'herbe de la ration.

PRODTROUP, une VL formative, contient Ve20_s soit l'évolution de la productivité animale et Ve22_s l'évolution de la taille du cheptel. L'évolution de la productivité animale est très fortement et positivement corrélée à la variable latente. L'évolution de la taille du cheptel est également positivement corrélée à la variable latente, mais moins fortement. Cette variable de production du troupeau signifie donc la mobilisation des animaux pour la résilience ; par la performance individuelle (productivité animale) et la performance numérique (taille du cheptel).

Enfin, RES, réflexive, est la variable que l'on souhaite réellement expliquer. Elle ne contient que Va_s, soit la dynamique de la valeur ajoutée. La VL est composée à 100% de Va_s, ce pourquoi tous les coefficients sont égaux à 1 la concernant. Les variables manifestes respectent les conditions sur les crossloadings, aucune variable manifeste n'est plus corrélée avec une autre VL que la sienne. Pour les trois variables réflexives, PRODCONC, ACHATS et RES, l'unidimensionnalité est vérifiée

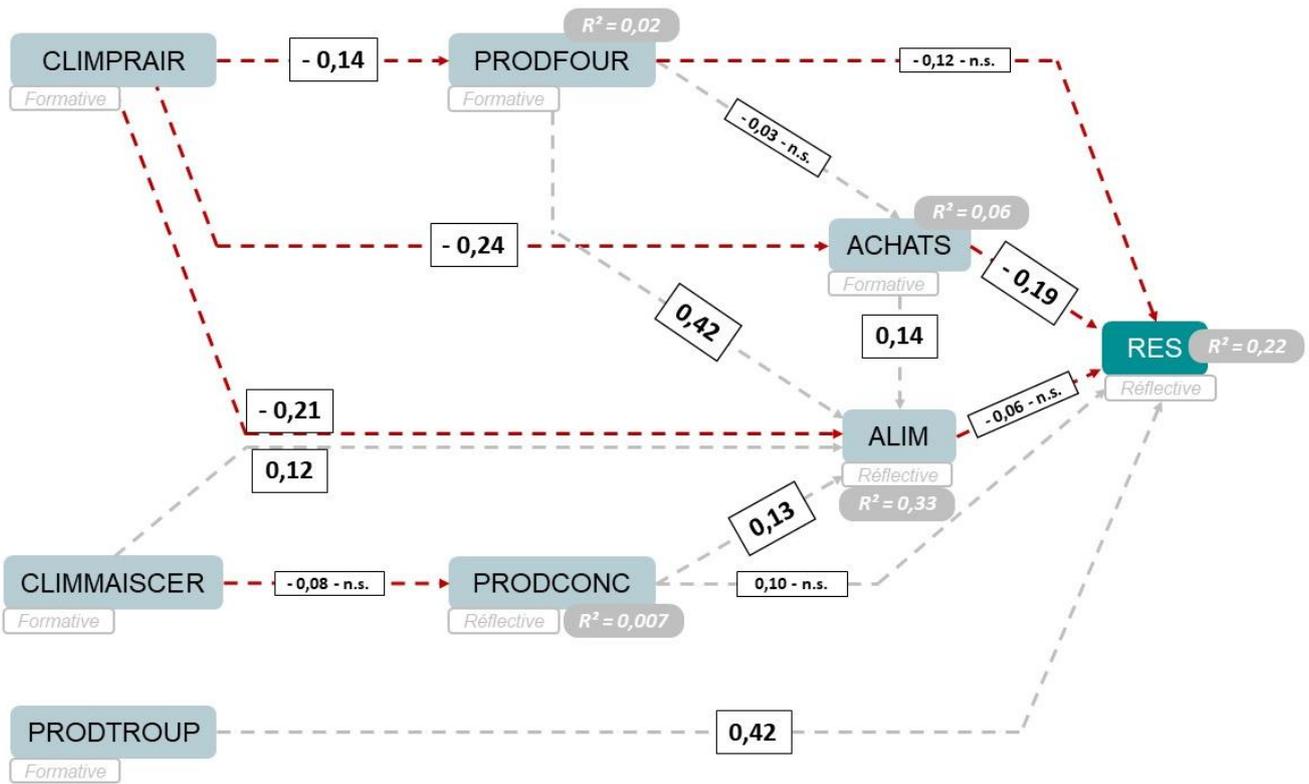


Figure 30: Modèle structurel de la résilience pondéré par les coefficients entre variables latentes

2.2 Le modèle structurel : « Outer model »

Le schéma de la figure 30 présente la pondération des interactions du modèle, décrites ci-dessous.

De bonnes conditions climatiques pour le pâturage et les récoltes d'herbe influencent négativement la production des fourrages, mais aussi les achats d'aliments et la consommation de fourrages conservés du troupeau. La production des fourrages explique positivement l'alimentation du troupeau à base de fourrages conservés, et négativement la résilience, mais cette dernière interaction est non significative. La production des fourrages explique a priori positivement les achats d'aliments mais la relation est faible et non significative. Les achats influencent positivement la consommation de fourrages conservés du troupeau mais négativement la résilience. Les mauvaises conditions climatiques pour la culture du maïs et des céréales impactent négativement la production des concentrés, mais cette relation est faible et peu significative. Ces mêmes conditions climatiques impactent pourtant positivement l'alimentation du troupeau en fourrages conservés et concentrés. La production de concentrés impacte négativement les achats d'aliments, mais positivement l'alimentation du troupeau et la résilience. Pour autant, l'explication des achats et de la résilience par la production de concentrés est faible et non significative. Enfin, l'alimentation du troupeau explique de manière non significative la résilience, alors que la production du troupeau l'explique bien.

Le R^2 de RES fourni par le package plspm est de 0.22. D'autres variables du modèle ont un R^2 puisqu'elles sont en partie expliquées dans le modèle (PRODFOUR, ACHATS, ALIM et PRODCONC). A part le R^2 de l'alimentation du troupeau de 0.33, les R^2 des variables de production de fourrages, des achats d'aliments et de la production de concentrés sont extrêmement faibles (<0.1). Le modèle n'explique que peu les variations de la production de fourrages, des achats d'aliments et de production de concentrés.

L'erreur quadratique moyenne (EQM) a également été calculée. Pour RES, l'EQM est de 0,79. Le R^2 est alors de 0,20. A titre de comparaison, le R^2 calculé par le package plspm, sur l'échantillon d'apprentissage était de 0.22. On constate donc une légère baisse du pouvoir explicatif, mais les valeurs restent stables.

La résilience, vu comme l'évolution de la valeur ajoutée, est expliquée majoritairement par la production du troupeau mais aussi par les achats d'aliments. Les variables agro-climatiques expliquent les variations du système fourrager, mais n'expliquent pas directement la résilience.

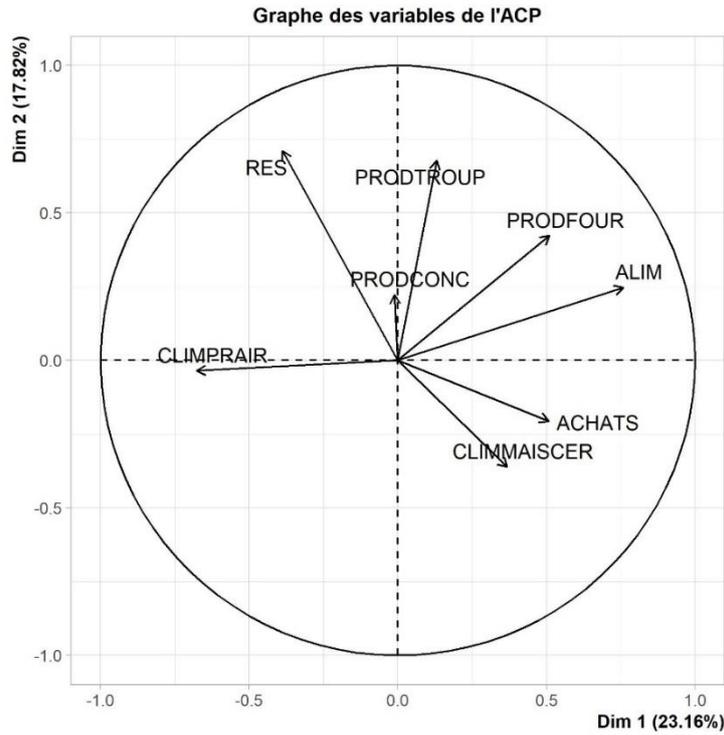


Figure 31: Représentation des variables latentes dans un plan factoriel

Représentation des groupes dans le plan factoriel

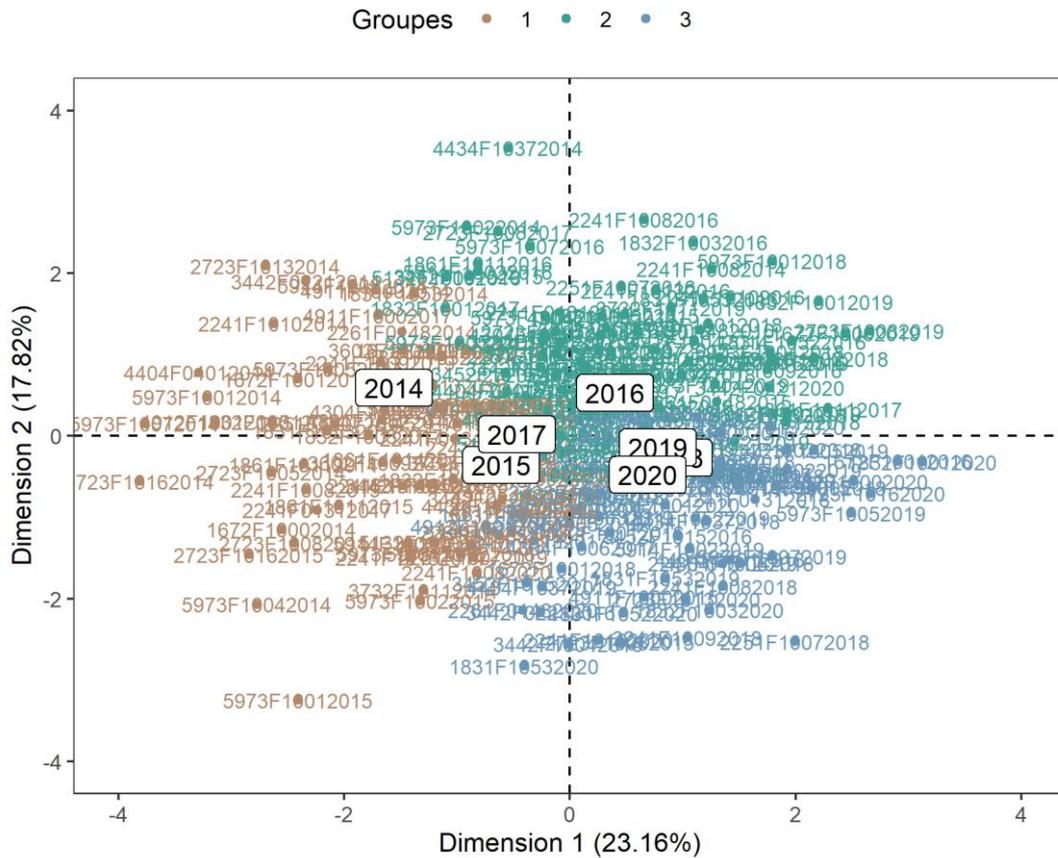


Figure 32: Représentation des groupes formés par la CAH dans le plan factoriel

3 Résultats de la classification selon les composantes de la PLS

3.1 Résultats de l'analyse en composante principale (ACP)

Le graphique en figure 32 décrit les individus exploitations-années selon les deux dimensions synthétisant le plus d'informations. Le tableau en annexe XIII montre que la variabilité capturée par ces deux dimensions est de 40.98% en cumulé. La troisième composante pourrait également être utilisée pour représenter les individus car l'inertie qu'elle permet de conserver est importante. Garder quatre dimensions n'est en revanche pas nécessaire car la part d'inertie que la quatrième dimension permet de conserver devient petite. Le tableau en annexe XIV recense les corrélations des variables latentes issues de l'approche PLS avec les trois premières dimensions. Pour compléter ce tableau, les variables latentes sont représentées dans les deux premières dimensions dans le graphique de la figure 31. Ainsi, la première dimension est décrite principalement par ALIM et CLIMPRAIR alors que la deuxième dimension l'est surtout par RES et PRODROUP. La variable qualitative année participe aux deux premières dimensions.

3.2 Résultats de la classification ascendante hiérarchique

Les exploitations-années ont été classés en 3 groupes et représentées dans la figure 32 selon les deux premières dimensions mises en évidence dans l'ACP. Le tableau 10 présente par ordre d'importance les variables qui participent le plus à la classification. Ainsi, les variables latentes qui séparent le mieux les groupes formés sont RES, ALIM et PRODROUP. PRODFOUR, en revanche, ne permet pas de différencier les groupes de manière significative, ce pourquoi elle n'est pas dans le tableau. La variable qualitative année discrimine également les classes. Le premier groupe compte 72 exploitations-années, le deuxième 95 exploitations-années et le troisième groupe est composé de 77 exploitations-années.

Tableau 10: Participation des variables à la classification

Variables	Eta2	p.value
RES	0.427	7.77e-30
ALIM	0.353	1.72e-23
PRODROUP	0.337	3.12e-22
PRODFOUR	0.297	3.75e-19
CLIMPRAIR	0.261	1.41e-16
ACHATS	0.147	5.06e-9
CLIMMAISCER	0.0421	0.00563
Qualitatif : année		4.18e-19

Tableau 11: Répartition des exploitations-années dans les groupes selon la nature de leur production

Groupes	Bovins lait	Bovins viande	Ovins lait	Ovins viande
1	25 (30%)	23 (30%)	17 (29%)	7 (25%)
2	33 (40%)	31 (42%)	22 (38%)	9 (32%)
3	25 (30%)	21 (28%)	19 (33%)	12 (43%)

Tableau 12: Valeurs test des variables et des modalités d'années pour chaque groupe

Variables	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
Année 2014	4.98	-2.24	-2.99
Année 2015	3.15	-1.1	-2.12
Année 2016	-2.73	2.52	-0.121
Année 2018	-3.71	1.44	1.74
Année 2020	-2.41	-0.353	2.53
ACHATS	-4.9	-0.394	5.22
ALIM	-9.26	4.97	3.87
CLIMMAISCER	-2.82	0.156	2.6
CLIMPRAIR	7.93	-4.74	-2.81
PRODFOUR	-8.31	5.78	2.1
PRODTROUP	-2.18	8.65	-6.93
RES	3.8	6.12	-10.2

3.3 Description des classes

La CAH n'a pas mis en évidence d'effet significatif du type de production dans la constitution des classes. Dans le tableau 11, on n'observe pas de présence significative d'une filière dans un groupe particulier. En revanche, il s'avère que certaines années sont significativement plus représentées dans certaines classes que dans d'autres. Ce n'est pas le cas de toutes les années, la répartition des années est indifférenciée selon les classes pour 2017 et 2019. Le tableau 12 met en évidence que le groupe 1 est davantage composé d'exploitations-années de 2014 et 2015 mais moins de 2016, 2018 ou 2020. Le groupe 2 regroupe plus d'exploitations-années de 2016 et moins de 2014. Le groupe 3 regroupe quant-à-lui plus d'exploitations-années de 2020 et moins de 2014 ou 2015. Dans le plan factoriel de la figure 31, on peut voir que les années 2014 et 2015 sont en effet plus à gauche, donc corrélées positivement aux conditions climatiques favorables pour l'exploitation des prairies (CLIMPRAIR), alors que les années 2016, 2018 et 2020 sont plus droite, donc corrélées négativement à CLIMPRAIR.

D'après les résultats de la classification, les groupes se caractérisent de manière significative ($\alpha < 0.05$) par certaines variables latentes et certaines modalités de la variable année, présentées dans le tableau 12. De cette manière, le groupe 1 achète, consomme et produit moins de fourrages conservés que les deux autres groupes. La productivité du troupeau de ce groupe est plus faible que celle du groupe 2, mais le climat pour les cultures annuelles est meilleur que pour les deux autres groupes. Ce groupe se caractérise également par le meilleur climat pour les prairies et une résilience légèrement supérieure à la moyenne.

Le groupe 2 utilise plus de fourrages conservés dans son alimentation et produit également plus de fourrages que les deux autres groupes. La productivité du troupeau de ce groupe est la plus élevée. La résilience de ce groupe est également supérieure aux autres groupes. En revanche, les conditions climatiques pour l'exploitation des prairies sont moins bonnes sans que les achats de fourrages et de concentrés augmentent.

La résilience du groupe 3 est moins bonne, de même que la productivité de ses troupeaux. Les conditions climatiques pour l'exploitation des prairies sont moins bonnes que celle du groupe 1 mais meilleure que celle du groupe 2. Les conditions climatiques pour les cultures annuelles sont plus mauvaises que pour les autres groupes. L'alimentation du troupeau mobilise davantage de fourrages conservés que le groupe 1, en achète plus que tous, et en produit aussi plus que le groupe 1 mais moins que le groupe 2.

Valeur ajoutée brute d'exploitation selon les groupes

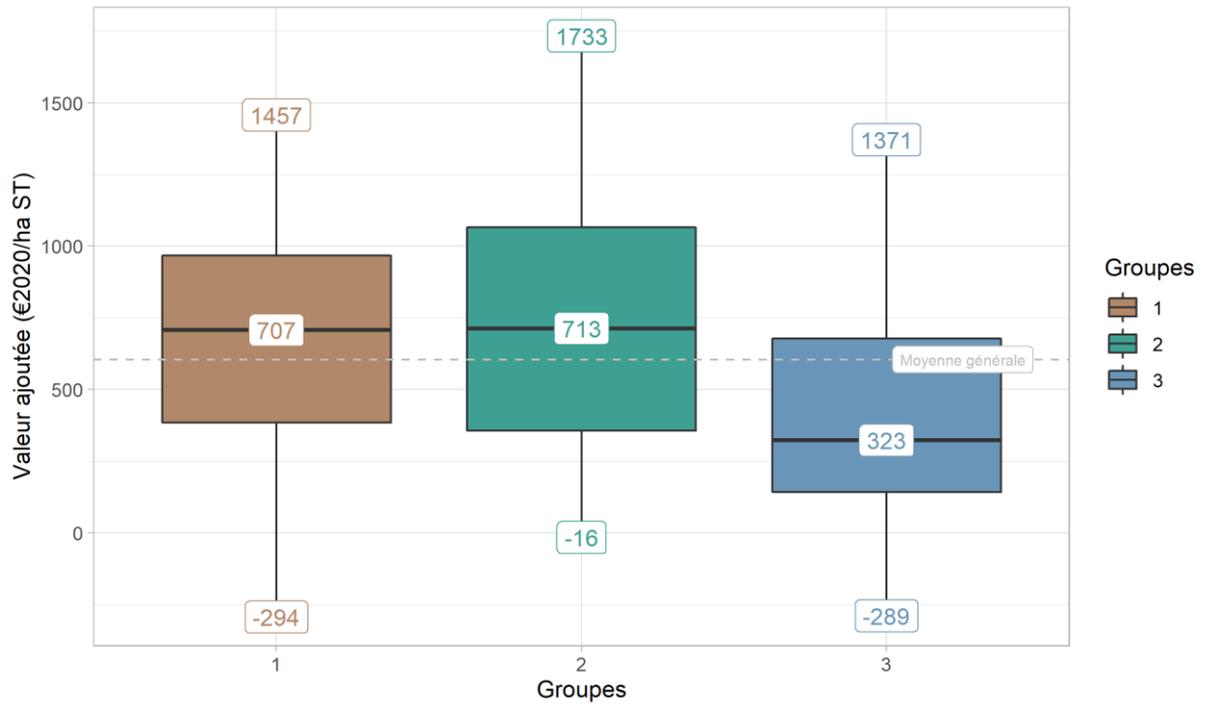


Figure 33: Valeur ajoutée brute d'exploitation selon les groupes

Productivité animale selon les groupes

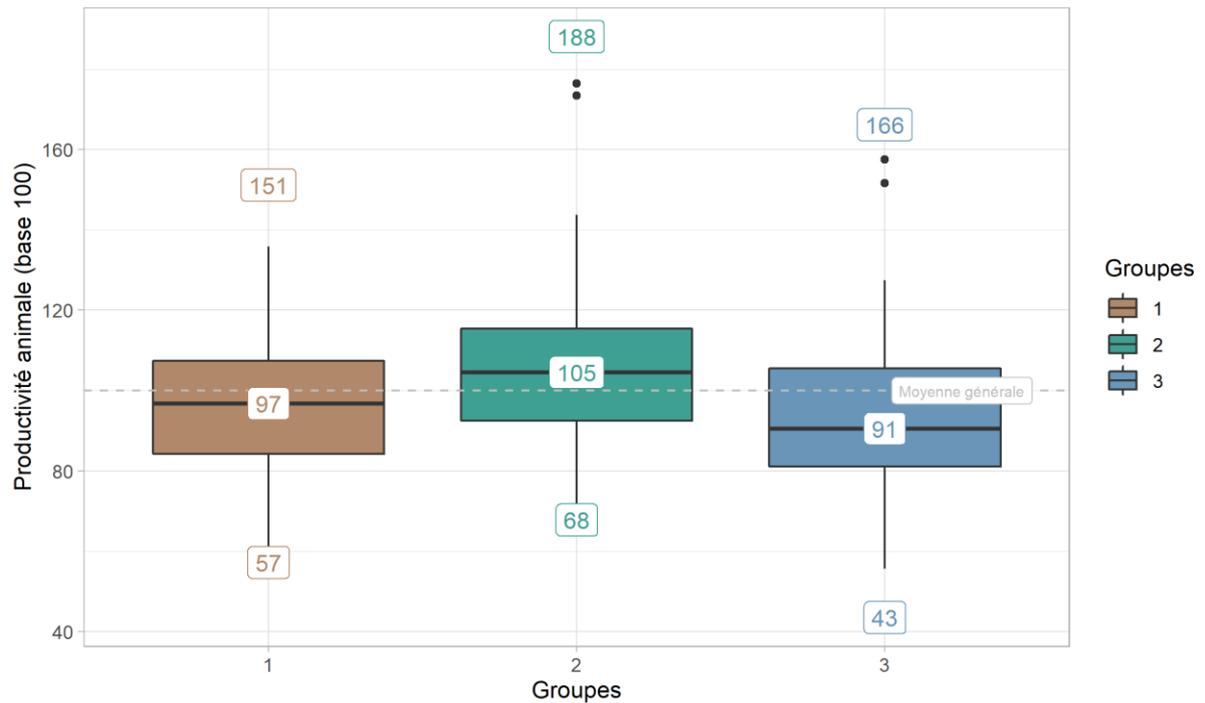


Figure 34: Productivité animale selon les groupes

De plus, on a testé si la part des surfaces labourables et récoltables dans la surface totale était différente selon le groupe grâce à une ANOVA. Le test n'a pas relevé de différence significative entre les groupes de la part des surfaces labourables et récoltables dans la surface totale ($\alpha > 0.05$).

La résilience différencie donc assez fortement les classes. Dans le graphique de la figure 33, on observe que le groupe 2 a la meilleure résilience entre les trois groupes, et est au-dessus de la moyenne générale. Le groupe 1 a une résilience moyenne supérieure à la moyenne générale mais inférieure à celle du groupe 2. Ce groupe a une distribution très dispersée avec des valeurs ajoutées extrêmes entre les valeurs maximum et minimum. Le groupe 3 est celui qui a la moins bonne résilience, et est largement sous la moyenne générale.

Le groupe 2 est composé d'individus avec une productivité animale en moyenne meilleure que la moyenne de leur production en 2014 (figure 34). Les groupes 1 et 3 ont une productivité animale inférieure à la moyenne, et le groupe 3 est celui dont la productivité animale s'est le plus dégradé depuis 2014. Les groupes 2 et 3 comprennent quelques individus extrêmes, dont la productivité est anormalement haute par rapport à la moyenne de leur production en 2014. Les tailles de troupeaux des trois groupes ne sont pas significativement différentes ($\alpha > 0.05$).

Quantité d'herbe valorisée au pâturage selon les groupes

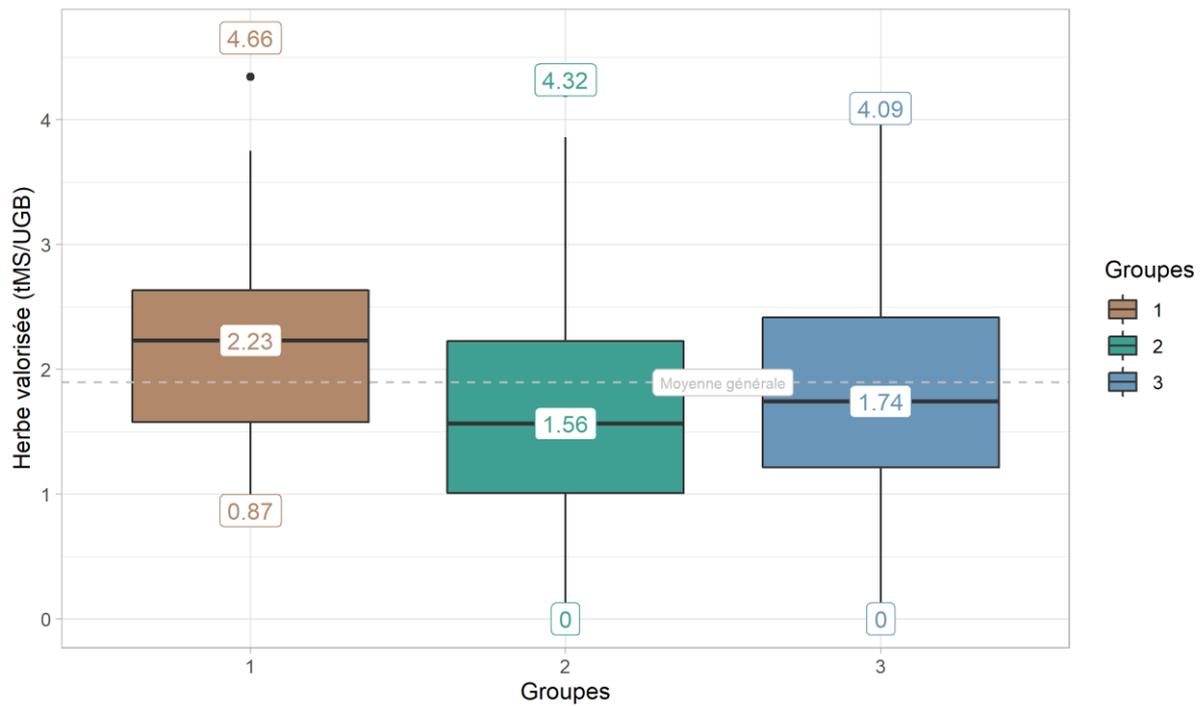


Figure 35: Quantité d'herbe valorisée au pâturage selon les groupes

Quantité de concentrés consommés selon les groupes

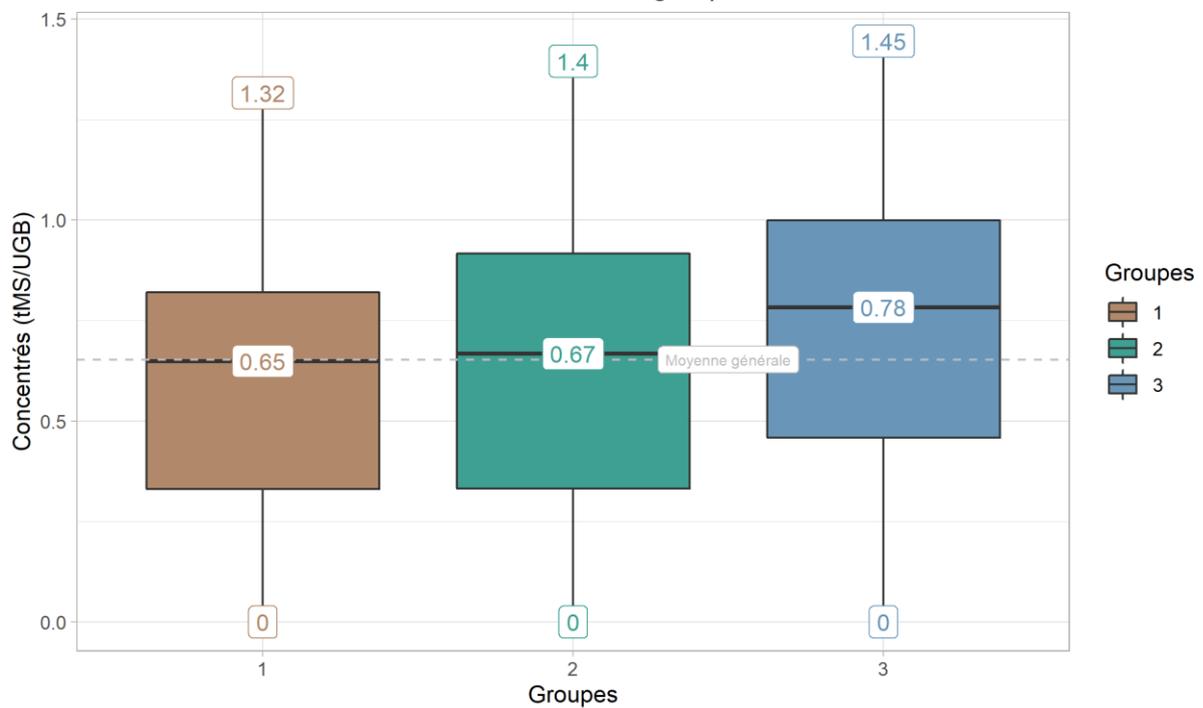


Figure 36: Quantité de concentrés consommés selon les groupes

L'alimentation du troupeau différencie également bien les trois groupes. Le graphique de la figure 35 met en évidence que le groupe 1 est celui qui valorise le plus d'herbe au pâturage, alors que le groupe 2 est celui qui en valorise le moins. Le groupe 3 utilise moins le pâturage que la moyenne, mais plus que le groupe 2.

Le groupe 3 consomme plus de concentrés que les deux autres groupes (figure 36), et donc plus que la moyenne générale. Les niveaux de consommation de concentrés sont peu différents entre le groupe 1 et 2. Les trois groupes incluent tout de même composés des individus qui ne consomment pas du tout de concentrés.

Les niveaux d'achats du groupe 3 sont les plus élevés pour les concentrés (figure 37) mais aussi pour les fourrages (annexe XV). Les achats de concentrés du groupe 3 sont plus nettement supérieurs à la moyenne que ses achats de fourrages. Pour les achats de fourrages, il y a beaucoup d'individus extrêmes, alors que la distribution est un peu plus homogène pour les achats de concentrés. Le groupe 1 est le groupe achetant moins de concentrés.

Le groupe 2 a des niveaux de consommations intermédiaires très dispersés autour de la moyenne (figure 38). Les consommations intermédiaires des groupes 1 et 3 sont plus élevées que celle du groupe 2. Le groupe 3 est le groupe ayant le plus de consommations intermédiaires.

La typologie construite met en évidence trois groupes ; le groupe maintenant la meilleure productivité animale est a priori le plus résilient. Le groupe avec la plus forte augmentation d'achats d'aliments, dont beaucoup de concentrés est le moins résilient. Enfin, le groupe bénéficiant des meilleures conditions climatiques pour la récolte des fourrages, et surtout pour le pâturage, maintient un bon niveau de valeur ajoutée, une productivité animale légèrement inférieure à la moyenne et peu d'achats d'aliments.

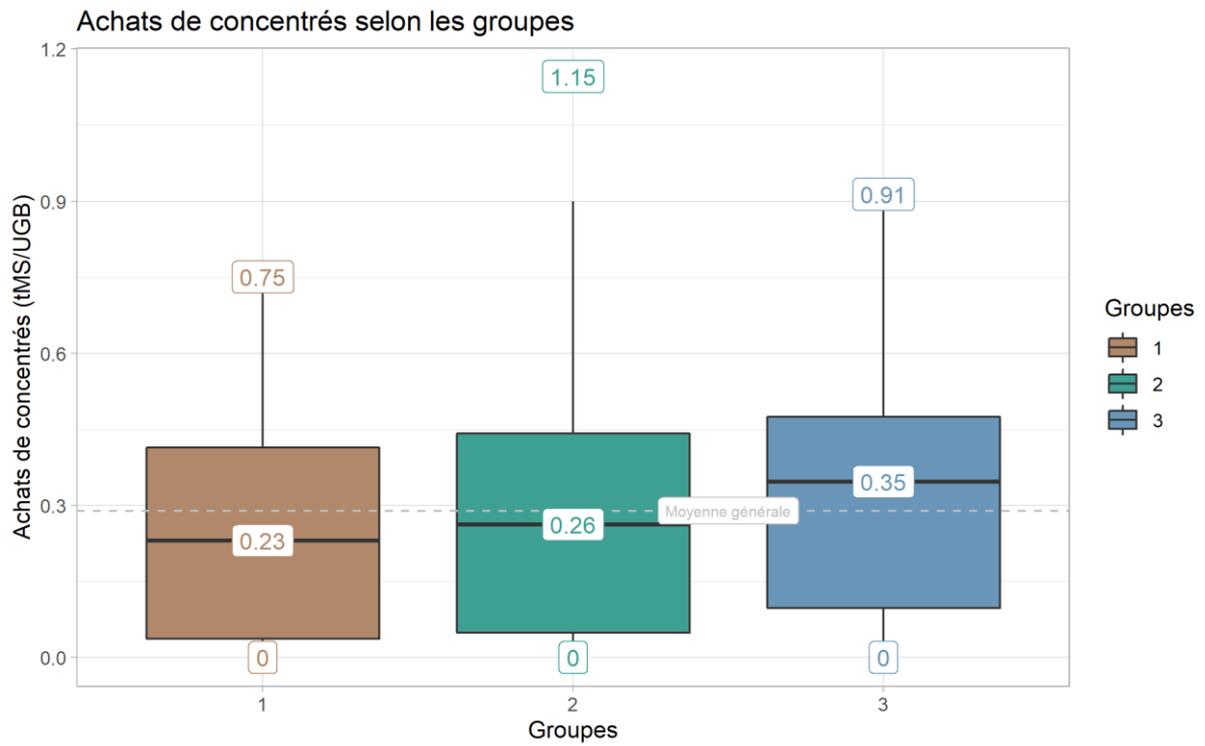


Figure 37: Achats de concentrés selon les groupes

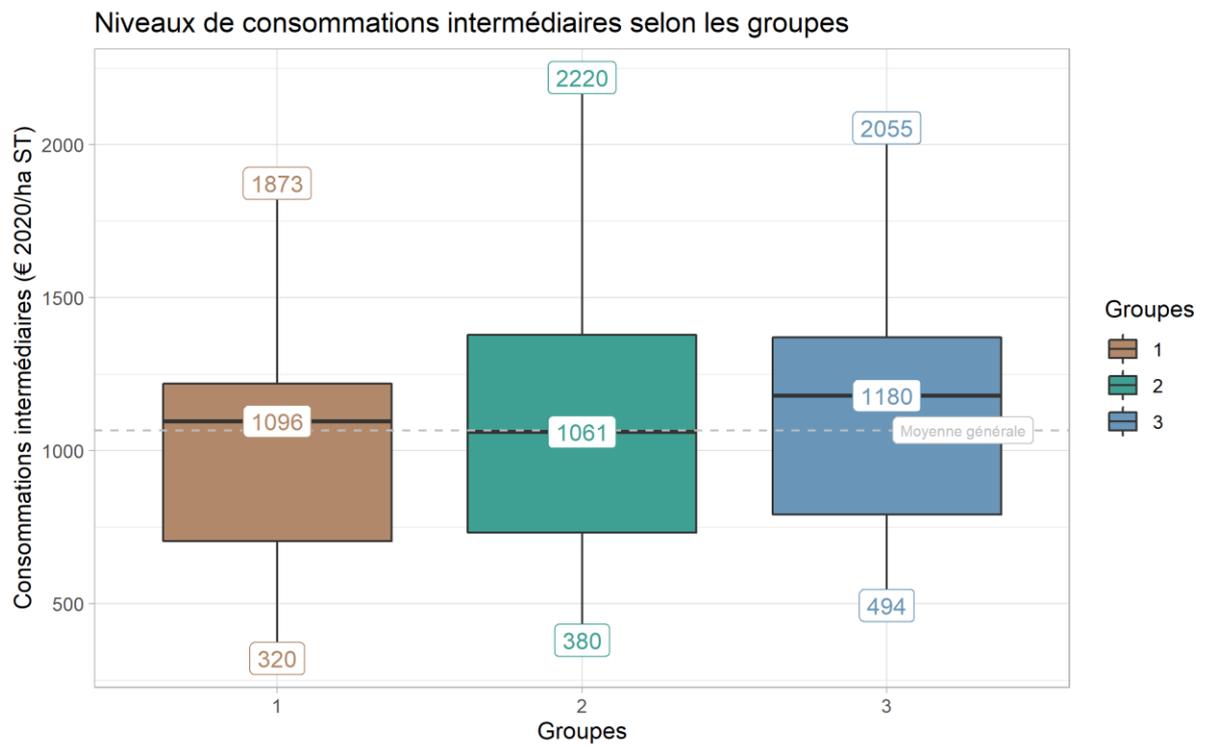


Figure 38: Niveaux de consommation intermédiaires selon les groupes

Partie IV : Discussion

1 Interprétation des résultats

1.1 Caractérisation et fonctionnement des systèmes

1.1.1 Système fourrager : production et modes de consommation

Pour les exploitations de l'échantillon, le **pâturage est central** dans la gestion du système fourrager. D'abord, comme pour tous élevages de ruminants, le système fourrager est au cœur de la structure de ces exploitations. Il est déterminant dans le fonctionnement de ce type de systèmes, notamment par les nombreux services fourragers que les prairies rendent (Baumont et al. 2012). En moyenne, l'herbe pâturée ne constitue pas la première forme de consommation des fourrages, mais il semble que l'affouragement est réfléchi pour compléter le pâturage, et non l'inverse.

1.1.2 Production et mode de consommation des concentrés

L'utilisation des concentrés est assez peu variable. Cela reflète une ration constituée d'un niveau de concentré de base, **ne jouant pas le rôle de variable d'ajustement**. La consommation de concentrés et réciproquement, la production et les achats, sont maintenus à des niveaux relativement constants. Les achats semblent toujours compenser la production des concentrés sur la ferme, avec un ratio en volume assez constant. La stabilité de l'utilisation des concentrés confirme donc la spécialisation fourragère du système. De plus, les niveaux de consommation de concentrés par ces systèmes sont minimisés en comparaison des systèmes conventionnels, même si il existe des variabilités importante d'une production à une autre (Benoit et Veysset 2003).

Les activités des systèmes pourraient **se diversifier vers plus de productions végétales**. En effet, on observe une augmentation de la part des cultures annuelles, de la production de céréales et des produits végétaux en 2019. Pourtant, les achats de cette même année, notamment les achats de concentrés, n'ont pas diminué. L'augmentation de la production de céréales a donc permis une augmentation de la vente de produits végétaux. Malgré cela, cette observation est ponctuelle et aucune tendance qui pourrait confirmer cela n'a pu être observée.

1.1.3 Résultats technico-économiques

La diminution de la valeur ajoutée est liée à une **augmentation de la dépendance de la production aux biens et services extérieurs**, et non à une baisse de productivité.

L'évolution de la valeur ajoutée s'explique par les évolutions des consommations intermédiaires et des produits animaux. La productivité animale a peu évolué durant ces 7 ans, et les cheptels se sont plutôt agrandis. Ensemble, cela détermine des produits animaux qui, en valeur, se sont donc maintenus. En revanche les consommations intermédiaires ont augmenté. Dans ce contexte, on constate donc une diminution de la valeur ajoutée, soit une diminution de la richesse créée par ces exploitations.

Les systèmes étudiés sont principalement pâturant et adaptent leur système fourrager selon la disponibilité de l'herbe au pâturage. Leur consommation de concentrés est cantonnée à un niveau basal, ne reflétant pas de stratégie particulière par ce type d'aliment. La valeur ajoutée diminue principalement à cause de l'augmentation des consommations intermédiaires.

1.2 Incidence des aléas climatiques

1.2.1 Sur l'herbe et la gestion des prairies

De bonnes conditions climatiques pour l'exploitation des prairies renvoient à des conditions sur les récoltes d'herbe mais aussi sur le pâturage, **qui ne sont pas opposées**. Les modes de consommation de l'herbe sont de deux types : pâturée ou conservée. Pour le pâturage, il n'y a pas réellement de conditions, seulement des éléments, a priori, qui pérennisent la pratique, comme la continuité du cycle de végétation permise par la satisfaction hydrique tout au long de la saison. Les conditions de récolte, ce sont les fenêtres de récolte d'herbe qui ont principalement pour signification une pluviométrie assez faible sur des périodes calées sur le stade optimal de l'herbe pour sa récolte (de début épiaison à début floraison des graminées). Les bonnes conditions de récolte d'herbe sont donc plus restrictives que les conditions de pâturage. Cela signifie que le pâturage est tout à fait possible dans des conditions favorables aux récoltes, mais la réciproque n'est pas vraie.

Lorsque les conditions climatiques pour l'exploitation des prairies sont bonnes, cela implique une **plus importante mobilisation du pâturage** dans la consommation d'herbe du troupeau. La stratégie des éleveurs de ces systèmes est donc plutôt de préférer le pâturage à tout prix plutôt que de récolter. En termes de consommation par le troupeau, cela signifie aussi que plus les conditions sont bonnes, plus les animaux pâturent et moins ils consomment de fourrages conservés, achetés ou produits. Aussi, dans les bonnes conditions climatiques de prairie, l'état hydrique des prairies en automne est pris en compte. Cela signifie que les années où il est possible de pâturer en automne car la pousse de l'herbe a repris après le creux estival, les éleveurs saisissent l'opportunité pour leur troupeau. Cette opportunité est souvent citée et même encouragée par le conseil, pour atténuer la consommation d'aliments conservés (Chambre d'Agriculture des Landes 2014).

Gestion du système fourrager pour répondre aux besoins du troupeau

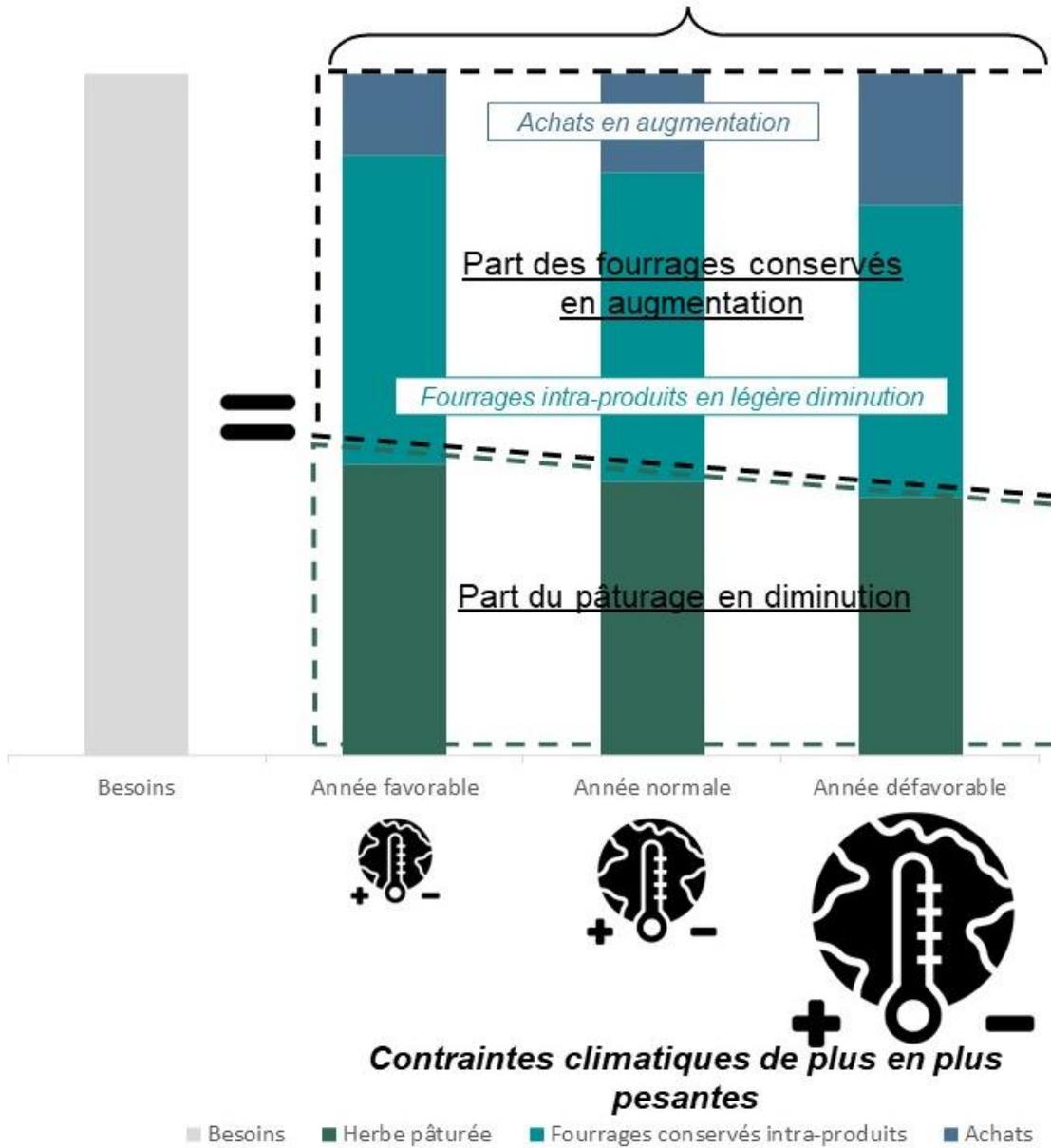


Figure 39: Variations du système fourrager selon les aléas climatiques

En revanche, l'optimisation du pâturage par les animaux **pénalise, indirectement, la quantité de fourrages récoltés la même année, ce qui augmente la dépendance aux achats de fourrages**. Devun et Legarto (2011) montrent que la constitution de stocks occupe une place différente selon les systèmes, les facteurs structurels et de production des exploitations. Les récoltes de fourrages et la gestion du pâturage s'auto-influencent, mais les récoltes de fourrages restent une nécessité pour sécuriser le système. Ainsi, la place laissée aux récoltes de fourrages dépend aussi de l'aversion au risque de l'éleveur (Agabriel et al. 2011). Les éleveurs des systèmes étudiés choisissent de prioriser le pâturage même les bonnes années, où ils pourraient constituer des stocks importants, qui les protégeraient des années ultérieures où ni le pâturage, ni la récolte, sont possibles. Ce mode de fonctionnement contraste avec les stratégies de stocks à tout prix, souvent exercées dans les systèmes plus intensifs. Hoppenreys (2011) met en évidence que ces deux fonctionnements sont viables, mais engagent des conduites au pâturage différentes. Aussi, selon le même auteur, face aux aléas climatiques, les systèmes optimisant davantage l'herbe au pâturage ont des déficits en fourrages conservés à compenser bien inférieurs aux systèmes plus intensifs. Dans le cas des systèmes étudiés, qui priorisent le pâturage, lors des dites « mauvaises années », les stocks de fourrages sont effectivement insuffisants pour compenser le manque d'herbe aux pâtures. Dans ce cas, les éleveurs préfèrent détériorer l'autonomie fourragère de l'exploitation en achetant des fourrages à l'extérieur.

1.2.2 Sur les cultures annuelles et l'alimentation du troupeau

Les conditions climatiques dans l'analyse menée sont telles qu'elles doivent pénaliser les cultures au moins en quantité produite. Pourtant les quantités récoltées et les rendements des céréales de printemps et d'automne, dont le maïs et le blé, **ne semblent pas avoir été fortement pénalisées** par ces conditions climatiques. Cela peut être expliqué par la place limitée de l'atelier végétal dans les systèmes étudiés, de la faible production et consommation de concentrés. En effet, les systèmes étudiés sont tournés avant tout vers le pâturage. En plus d'être sous agriculture biologique, cette spécialisation herbagère les oppose souvent à l'autosuffisance en concentrés (Veysset et al. 2018). Du fait du prix des concentrés en bio, les éleveurs cherchent à limiter leur consommation.

En revanche, ce type de conditions climatiques, qui renvoient à des extrêmes de températures, implique **une plus grande consommation de fourrages conservés** et dans une moindre mesure, de concentrés, à défaut du pâturage. L'alimentation conservée alors mobilisée provient en partie d'achats, pour compléter les fourrages intra-produits et l'herbe pâturée. Cette part d'achats augmente à mesure que l'ampleur des aléas augmente puisque la disponibilité du pâturage et des stocks de fourrages diminue, comme le montre la figure 39.

Donc les aléas climatiques augmentent le recours aux achats d'aliments, aux fourrages conservés et aux concentrés dans l'alimentation du troupeau. Cela impacte évidemment négativement la résilience de l'exploitation.

Les conditions climatiques pour l'exploitation des prairies impactent les formes de consommation de l'herbe et les stocks de fourrages réalisés. Le pâturage est le mode d'alimentation préféré. Pour cette raison, les éleveurs préfèrent acheter des fourrages à l'extérieur lorsque nécessaire, plutôt que de constituer des stocks. Les conditions climatiques sur les cultures annuelles telles que le maïs et les céréales ont un impact limité sur l'ensemble du système.

1.3 Adaptations des pratiques agricoles et facteurs de production

1.3.1 Adaptations relevées

Le système s'est adapté aux aléas climatiques en **compensant le manque de disponibilité d'herbe au pâturage par des achats de fourrages à l'extérieur**. Cette adaptation fonctionne avec un système fourrager priorisant le pâturage. Cependant, les achats pénalisent de toute évidence la résilience. Il aurait pu être envisagé que les besoins en ressources fourragères soient diminués pour limiter ou réduire à néant les achats. La diminution des besoins en ressources fourragères pourrait se traduire par une décapitalisation du cheptel ou un raccourcissement des cycles de production. Pourtant, la taille des cheptels n'a pas diminué.

En effet, le système est résilient grâce au **maintien de la production du troupeau**. La production du troupeau est relative à la productivité des animaux ; la performance des individus, et la taille du troupeau ; le nombre d'animaux qui produisent. La production du troupeau améliore la résilience du système. Dans l'absolu, la résilience est même davantage influencée par la production que par les achats de fourrages.

De plus, la production de maïs ensilage pourrait consister en **une innovation du système fourrager**, dans une optique de conservation de l'autonomie fourragère. Lors d'une augmentation de la production d'ensilage de maïs, on observe aussi une diminution des achats. Cette diminution des achats doit être en partie liée à une plus forte mobilisation du pâturage, mais peut-être pas uniquement. L'utilisation de l'ensilage de maïs reste marginale et le pâturage continue tout de même de se maintenir, selon les aléas des années. La littérature relate de l'utilisation de maïs ensilage comme un moyen de diversifier son système fourrager et donc comme un levier de résilience (Martin et Magne 2015; Mosnier et al. 2013). Cependant, ces observations ont eu cours dans les deux dernières années de l'échantillon, donc il est difficile d'affirmer que cela consiste en une réelle adaptation des pratiques.

Enfin, contrairement à ce que la littérature peut parfois mettre en évidence, **les concentrés ne sont pas utilisés** pour pallier les aléas climatiques (Mosnier et al. 2010). En revanche, chez les éleveurs ovins, et allaitants plus particulièrement, l'achat de luzerne déshydratée est assez courant pour faire face aux aléas climatiques. Méthodologiquement, cet aliment est considéré comme un fourrage. Pourtant, en pratique, son utilisation est plutôt similaire à un concentré, notamment d'un point de vue nutritionnel.

1.3.2 Regard critique sur ces adaptations

La stratégie de la priorité au pâturage pourrait être soumise à **un ensemble de contraintes** propres à ces systèmes bio herbagers. D'abord, car le cahier des charges de l'agriculture biologique encourage fortement les élevages à utiliser ce mode de consommation de l'herbe. Le renouvellement de la réglementation du 1^e janvier 2022 renforce d'ailleurs cette attente. Aussi, les exploitations étudiées se situent en zone de montagne, selon les critères de l'indemnité compensatoire des handicaps naturel (ICHN). Ce type de zone implique très souvent une contrainte sur les surfaces récoltables de l'exploitation et ainsi forcer le pâturage pour l'exploitation de la ressource. Pour les fermes concernées, cela expliquerait l'impossibilité de constituer beaucoup de stocks, même en années favorables aux récoltes. Cela dit, les exploitations de l'échantillon ne sont, a priori, pas trop contraintes par cette variable, puisque la part des surfaces non mécanisables s'élève à environ 13% en moyenne.

L'augmentation de la fréquence des aléas climatiques pourrait **augmenter le recours** aux achats de fourrages extérieurs mais aussi **diminuer leur disponibilité** à l'échelle locale, tout en **augmentant les prix**, et donc pénaliser la résilience à long terme. La principale adaptation aux aléas climatiques des systèmes étudiés a consisté à maintenir sa production, en compensant les déficits fourragers par des achats extérieurs. Dans l'absolu, la production a plus d'importance pour la résilience que les achats. Mais en sept ans, la quantité d'achats de fourrages a augmenté alors que la production du troupeau a stagné ; la valeur ajoutée a donc diminué. La dépendance aux achats extérieurs n'a fait qu'augmenter. Il est donc nécessaire que l'achat de fourrages reste ponctuel. L'augmentation de la fréquence des aléas climatiques pose la question de la pérennité de ce type d'adaptation. De plus, si les aléas climatiques se généralisent à un territoire d'approvisionnement de fourrages, les ressources fourragères se raréfieraient et leur prix augmenterait, ce d'autant plus en agriculture biologique. Bien qu'il soit possible, sous couvert de dérogation, de se fournir en fourrages en dehors des limites imposées par le cahier des charges, cette mesure est sensé restée exceptionnelle (INAO 2022b). Ainsi, l'impact mesuré des achats de fourrages, aujourd'hui plus faible que celui de la production du troupeau, pourrait être majoré. L'intérêt de maintenir la production du troupeau coûte que coûte pourrait donc être diminué.

Dans la continuité de cette hypothèse, il serait intéressant de reconsidérer la notion de **volant de sécurité des stocks de fourrages**. En général, les exploitations ont l'habitude de constituer un stock qui correspond à un pourcentage donné des besoins du troupeau ; c'est le volant de sécurité. Celui-ci permet de faire face aux imprévus en apportant de la flexibilité aux élevages. Dans le cadre d'une augmentation des aléas climatiques, qui à long terme, mettent en péril la résilience des exploitations, il serait nécessaire d'augmenter la part du volant de sécurité.

Néanmoins, avant de préférer la production de fourrages sur l'exploitation aux achats, il est nécessaire de considérer les **transferts de charges** que cela implique. Les achats extérieurs de fourrages sont des charges opérationnelles qui pénalisent la valeur ajoutée. Diminuer les achats de fourrages en maintenant la production, c'est-à-dire en maintenant les besoins en ressources fourragères, cela nécessiterait d'augmenter les récoltes. Cependant, les récoltes de fourrages impliquent une certaine mécanisation, des interventions d'entreprises de travaux agricoles, ou d'autres frais qui sont de l'ordre des charges de structures. C'est pourquoi on parle de transfert de charges ; les charges opérationnelles liées aux achats deviennent des charges de structures liées aux travaux de récoltes, mais pas forcément à valeurs égales. Il est donc nécessaire de mesurer, pour un même volume de fourrages s'il est plus ou moins coûteux d'acheter que de produire sur l'exploitation.

Le maintien de la production au dépend de l'autonomie fourragère est une stratégie plus résiliente dans des systèmes pâturants qu'une stratégie de décapitalisation pour une diminution des besoins en ressources fourragères. Il convient cependant de relativiser cette adaptation au regard de l'accélération du changement climatique, de l'augmentation de la fréquence des aléas mais aussi au regard des autres contraintes que les systèmes doivent gérer.

1.4 Différents profils et différences de résilience

La typologie d'exploitation construite grâce aux variables de la PLS permet d'adopter un regard opérationnel sur les adaptations mises en lumière.

D'abord, cela confirme que **la production du troupeau, notamment la productivité animale, joue un rôle fondamental** dans la résilience. Les groupes formés par la typologie, révèlent des niveaux de résilience différents, mais n'ont pourtant pas des tailles de cheptel différentes. Pour maintenir la productivité animale, l'un des groupes mobilise des fourrages conservés et des concentrés. Par contre, ces fourrages proviennent davantage de l'exploitation.

En résumé, les achats, impactant négativement la résilience, sont limités, et la productivité animale, influençant positivement la résilience, est maximisée. C'est une combinaison gagnante pour la résilience.

Les évolutions sensibles du climat ont pu **perturber la capacité des éleveurs** à conduire leurs systèmes déjà tendus par l'agrandissement des cheptels et des surfaces. Les exploitations les moins résilientes sont celles cumulant la moins bonne productivité animale, et beaucoup d'achats. Pourtant, ce groupe d'exploitation n'est pas celui qui est le plus exposé aux aléas climatiques des prairies. A l'inverse, le groupe le plus résilient est celui dont les aléas sur les prairies sont les plus forts. La perte de valeur ajoutée du groupe le moins résilient serait peut-être davantage liée à une perte d'efficacité, qu'aux aléas climatiques. Cette perte d'efficacité pourrait être symptomatique des changements structurels des systèmes dont Veysset et al. (2014) font part. En effet, malgré la faible productivité animale, les exploitations les moins résilientes consomment plus de concentrés que les autres. C'est aussi ce qui est rapporté dans l'article de Hostiou et Fagon (2012) ; c'est la simplification des pratiques alors que les systèmes se complexifient.

Néanmoins, d'autres exploitations restent principalement tournées vers le pâturage, en produisant et en achetant peu de fourrages ou de concentrés. Ces exploitations sont résilientes mais leurs conditions climatiques sont les meilleures parmi les trois groupes.

Par contre, il ne semble pas que les aléas climatiques aient **directement impactés la résilience** des exploitations. En effet, les exploitations les plus résilientes étaient les plus exposées à de mauvaises conditions pour l'exploitation des prairies. Ces conditions n'ont pas empêché les exploitations de produire des fourrages. D'ailleurs, les années où les jours pour récolter dans de bonnes conditions étaient les moins nombreux, on a pourtant observé une augmentation des volumes de fourrages produits. Ceci soulève la question du raisonnement des stocks de fourrages et des choix d'exploitation des prairies. Bien que le climat reste une composante majeure des choix de constitution de stocks, la place de la gestion du pâturage dans ces choix pourrait être sous-estimée. Comme Hoppenreys (2011) et Kockmann et al. (2009) le soulignent, « il reste des marges de progrès importantes dans l'exploitation des prairies ». Les années où le climat contraint un peu plus le système, il semble que les éleveurs optimisent davantage l'exploitation de leurs prairies, sous la pression d'une moindre disponibilité des ressources. Les ressources seraient mieux gérées lors des mauvaises années climatiques et cela limiterait les déficits à compenser par des achats. En plus, les déficits de fourrages sont potentiellement plus limités dans des systèmes herbagers pâturant (Hoppenreys 2011). Au-delà d'une meilleure gestion des ressources fourragères, il semble aussi que ces systèmes maîtrisent bien leur productivité animale.

Enfin, les trois types de fonctionnements des exploitations **sont influencés par les années**. Il semble qu'avec le temps, les exploitations passent plus d'une position résiliente peu gourmande en intrants et très pâturantes, vers une position de baisse de résilience, de diminution de la productivité animale et une dépendance aux achats de plus en plus forte. Aussi, il semble que les aléas climatiques aient été plus forts ces dernières années, ce qui a pu participer à cette évolution des fonctionnements dans le temps. En même temps, les cheptels et les surfaces ont quasiment tous grandi, ce qui a eu pour impact de complexifier la gestion du système. Il se peut que les systèmes très pâturants mais peu proactifs sur la gestion de leurs ressources fourragères soient mis à mal lors des mauvaises années, surtout s'ils n'ont pas une bonne maîtrise de leur productivité animale au départ.

Les exploitations observées les plus résilientes limitent les achats alors qu'elles maximisent la productivité animale. Cela signifie aussi qu'elles mobilisent plus de fourrages conservés et de concentrés que les autres types d'exploitations. Les aléas climatiques mesurés n'ont, en revanche, pas influencé directement la résilience des exploitations. Il semble plutôt que ce soit l'organisation des systèmes, notamment autour du système fourrager, qui paraît déterminante pour être résilient, en plus de la maîtrise de sa productivité animale.

2 Limites et perspectives

2.1 Limites d'interprétations et méthodologiques

L'approche mobilisée dans cette analyse a un pouvoir prédictif et explicatif relativement faible. Cela signifie que ce modèle n'est pas ré-applicable en l'état dans un autre cas de figure. La faiblesse des pouvoirs explicatif et prédictif est inhérente à l'analyse systémique. La complexité et la diversité des systèmes agricoles est difficile à représenter dans un modèle qui doit rester lisible pour délivrer un message clair. C'est pour cette raison que des choix sont faits et que la représentation d'un système agricole dans ce modèle n'est pas parfaite. Néanmoins, ce modèle permet d'obtenir de nouvelles pistes de réflexions et de travail, en complétant d'autres analyses similaires.

Les aléas climatiques pénalisent souvent les exploitations d'une année pour l'autre, voire deux ou trois ans après. Il y a donc des effets différés des aléas climatiques. Dû à la taille de l'échantillon assez limitée (sept ans), il n'était pas possible d'un point de vue méthodologique d'entreprendre une étude de ces effets différés. L'impact des aléas climatiques sur la résilience pourrait donc dans ce cas, être sous-estimé.

Par ailleurs, nous n'avons pas pu déterminer si les fonctionnements d'exploitations mis en évidence dans la classification traduisent des trajectoires d'adaptations. La CAH a été réalisée sur des individus exploitations-années.

La même exploitation peut donc changer de classe plusieurs fois durant les sept ans. Les conclusions tirées pourraient donc être modifiées, selon la pérennisation des fonctionnements d'exploitation.

De plus, l'étude des stocks et de la mobilisation de ces stocks n'a pas pu être approfondie. Les données exploitations mobilisées sont recensées d'après la méthodologie Inosys. Cette méthodologie n'implique pas de dates de début et de fin de relevés des informations uniques pour toutes les fermes. Ainsi, les volumes de début et de fin de stocks ne sont pas équivalents d'une ferme à l'autre, selon si les relevés ont eu lieu avant ou après les récoltes.

Aussi, la filière ovine viande est sous-représentée dans l'échantillon. Chaque filière dispose de ses particularités et les adaptations spécifiques employées par filière intéresse le conseil agricole. Néanmoins, dans le cadre de cette analyse, il n'est pas possible de donner des éléments précis concernant une filière particulière. C'est d'autant plus vrai pour les ovins allaitants dont la représentativité s'est limitée à quatre fermes suivies sur sept ans.

Enfin, la production du troupeau occupe une place majeure dans l'explication de la résilience. La résilience a ici été définie par la valeur ajoutée. Intrinsèquement, la valeur ajoutée comprend la production. C'est pourquoi l'importance de la production du troupeau dans la résilience pourrait être biaisée par l'utilisation du proxy de la valeur ajoutée. Néanmoins, ce résultat n'est pas à déconsidérer mais doit plutôt compléter et être complété par des approches différentes de la résilience.

La durée mobilisée de sept ans limite certaines interprétations. Les dates de relevés des informations ne sont pas homogènes pour toutes les exploitations et cela impose des restrictions

2.2 Perspectives

La maîtrise de la productivité animale a permis aux exploitations, jusqu'alors, de rester résilientes. Cependant, dans un contexte d'évolution du climat et d'augmentation des aléas climatiques, la productivité des animaux pourrait directement être affectée. Mais les effets sur les animaux restent encore peu quantifiés (Blanc et al. 2013). Les animaux de rente français et leur génétique est inadaptée à des intempéries de plus en plus extrêmes, comme le nombre de jours de fortes chaleurs, qui plus est dans des systèmes majoritairement pâturant. Bien que l'échantillon mobilisé dans cette analyse soit trop court pour inclure ce type de paramètre, il est évident que cela pourrait impacter le système entier. Cette inaptitude pourrait pénaliser non seulement la productivité mais aussi le bien-être animal, pourtant très associé au pâturage.

Afin de pallier cela, il faudrait repenser l'aménagement des parcelles de pâture, de sorte d'abord à offrir un maximum d'ombre aux animaux et ainsi limiter leurs dépenses liées au maintien de la température corporelle. En cela, l'agroforesterie propose une solution, permettant néanmoins les fauches sur ces parcelles, selon des techniques d'implantation des arbres (Béral et al. 2018). La sélection génétique pour la robustesse des animaux permettrait également d'adapter les animaux à ces changements climatiques (Osei-Amponsah et al. 2019). Seulement, la sélection génétique implique une certaine inertie liée aux cycles de production et de génération des ruminants, particulièrement longs.

De plus, ce travail ne fournit pas de trajectoires d'évolution face aux aléas climatiques. A l'issue de ce travail, on connaît certains déterminants de la résilience, mais on ne sait pas si les adaptations évoquées peuvent être tenues dans des trajectoires pluriannuelles, notamment si les aléas se répètent tous les ans. Les individus mobilisés dans l'analyse étaient des exploitations années, et non une seule exploitation suivie sur sept ans. Le type de variables statistiques dans ce cas est difficile à arbitrer, en compilant toutes les contraintes associées au jeu de données (Dardonville et al. 2021). L'utilisation d'un jeu de donnée de long terme, de 20 ou 30 ans permettrait sans doute d'affiner la précision du modèle tout en étudiant les effets différés des aléas climatiques et en déduire des trajectoires. Aussi, l'utilisation d'un jeu de donnée récolté selon une méthodologie impliquant des dates de début et de fin d'année uniques faciliterait l'étude des stocks. La durée permettrait de différencier les filières, notamment laitières et allaitantes pour comprendre si des adaptations particulières, liées aux cycles de production, sont mobilisées. Une méthodologie de récolte de données plus stricte permettrait de mieux comprendre l'utilisation des stocks mais aussi de repérer des évolutions de stratégies, donc des trajectoires, selon les années, surtout dans le cas d'un échantillon plus long.

Enfin, cette étude doit être complétée par des travaux proposant un autre angle d'approche de la résilience. Il a déjà été recensée que la définition de la résilience était polysémique et que sa signification faisait difficilement consensus selon les disciplines. Les études de Darnhofer (2010), Martin et Magne (2015), Bouttes et al. (2019) ou encore Perrin et al. (2020) analysent déjà selon d'autres méthodes et d'autres définitions la résilience sur les élevages. Il convient d'entretenir les travaux à ce sujet, mais aussi de les actualiser au regard des nouveautés apportées par la récente littérature, notamment climatologique.

En complément de ce travail, et vu l'importance que la productivité animale prend dans la résilience des systèmes face aux aléas climatiques, il convient d'étudier les impacts des aléas climatiques à l'échelle de l'animal. Aussi, la durée d'observation des exploitations s'avère limitante dans l'étude de phénomènes climatiques, qui induisent une forte inertie. Il est nécessaire de pouvoir compter sur des réseaux d'élevages robustes et suivis sur le long terme pour pérenniser des travaux systémiques, et guider les filières face aux défis climatiques.

Conclusion

Ces dernières années, les exploitations de ruminants se sont agrandies, en surface mais aussi en taille de cheptel. Cet agrandissement répondait principalement à l'objectif de conserver ou d'augmenter la production de la ferme. Cependant, face aux contraintes structurelles, et d'organisation du travail, la gestion des systèmes d'élevage s'est complexifiée. En plus de cela, le changement climatique et l'augmentation de la fréquence des aléas climatiques participent à la tension dans laquelle les élevages doivent continuer à approvisionner les systèmes alimentaires. Les élevages de ruminants spécialisés herbagers en agriculture biologique semblent toutefois adéquats pour relever les défis sociétaux, environnementaux et économiques portés par les prochaines années. Des concepts, comme la résilience, proposent d'explorer les caractéristiques des systèmes les plus prometteurs pour relever ces enjeux. La difficulté est alors de rendre compte de ce qu'est la résilience sur une exploitation d'élevages de ruminants.

Pour cela, nous avons mis en place une méthodologie d'analyse originale : une approche PLS, où la résilience était vu comme la variabilité de la valeur ajoutée d'une année par rapport au niveau moyen de l'exploitation donnée. L'intérêt était d'intégrer les spécificités propres à chaque exploitation sans les discriminer entre elles là-dessus. Une classification a permis ensuite, d'une part, de vérifier les interprétations du modèle d'approche PLS et d'autre part, d'aborder le sujet de la résilience d'un point de vue technique et pratique. Cette classification a fourni des résultats dont les techniciens en élevage peuvent s'emparer pour orienter le conseil selon l'exploitation dans laquelle il se trouve. Des apports climatologiques ont permis également d'ajouter à l'analyse des spécificités climatiques au niveau local.

L'analyse effectuée met donc en évidence que les élevages sont résilients face aux aléas climatiques en maintenant leur production et en achetant ponctuellement des fourrages à l'extérieur pour compenser les déficits fourragers. Aussi, il s'est avéré qu'une bonne gestion des ressources fourragères, de la conduite au pâturage et donc de la constitution de stocks associés à une maîtrise de la productivité animale étaient déterminants pour la résilience des systèmes.

Finalement, les aléas climatiques mis en évidence par ce travail n'ont pas impacté les systèmes de manière durable. Les exploitations s'adaptent à des années un peu plus chaudes, un peu plus froides, ou à des années moins favorables aux récoltes, sans pénaliser la conduite du système des années suivantes.

Dans la mesure où l'on considère un aléa comme un élément perturbateur du système, l'utilisation courante du terme aléa pourrait être remise en cause. Il est pourtant indéniable que des éléments climatiques tels que ceux de l'année 2003 ou encore, plus récemment, 2022, pénalisent durablement les systèmes.

En effet, les sécheresses généralisées au territoire français de l'année 2022 ne laisseront pas indemnes certaines exploitations d'herbivores. Le terme d'aléa serait alors peut-être à réserver à des années comme celles-ci. Des achats visant à compenser le déficit fourrager des troupeaux ne seront peut-être pas suffisants pour conserver la résilience des exploitations. Les fourrages seront en effet probablement difficiles à trouver, surtout en AB, mais certainement bien au-dessus des prix habituels. Les filières s'attendent déjà à une décapitalisation massive d'une partie des cheptels. Si la fréquence des années comme 2022 augmente, ce que prédit l'IPCC, de réelles mutations sur les systèmes seront indispensables. Il est nécessaire de préparer les élevages et les filières ruminants à ces enjeux, pour qu'ils continuent d'approvisionner les systèmes alimentaires et qu'ils continuent à fournir les nombreux services écosystémiques à leur milieu.

Liste bibliographique

- Agabriel J., Delaby L., et Pottier E.. 2011. « Raisonner et ajuster au mieux le besoin et l'utilisation des fourrages conservés ». *Fourrages*, n° 205: 25-34.
- Agence Bio. 2021. « Le Bio, acteur incontournable de la souveraineté alimentaire. Dossier de presse. Les chiffres 2020 du secteur bio. » Agence Bio. <https://www.agencebio.org/wp-content/uploads/2021/07/AGENCE-BIO-JUILLET2021-V08-interactif.pdf>.
- Agreste. 2019. « Portrait agricole Massif Central ». https://draaf.auvergne-rhone-alpes.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/References_no18_Portrait_agricole_Massif_central_cle821241.pdf.
- Astigarraga L., et Ingrand S.. 2011. « Production Flexibility in Extensive Beef Farming Systems ». *Ecology and Society* 16 (1). <https://doi.org/10.5751/ES-03811-160107>.
- Auvergne-Rhône-Alpes, DRAAF. 2022. « Recensement agricole 2020 ». Consulté le 6 avril 2022. https://draaf.auvergne-rhone-alpes.agriculture.gouv.fr/IMG/html/fts_ra2020_massif_central_cle051b76-1.html.
- Baumont R., Delaby L., et Michaud A.. 2012. « Services fourragers des prairies permanentes : production d'herbe et valeur alimentaire pour les ruminants ». In *Journées de Printemps de l'AFPF*, 211:np. Fourrages. Paris, France: Association Française pour la Production Fourragère. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01210368>.
- Beaumont R., Tran G., Chapoutot P., Maxin G., Sauvant D., Heuzé V., Lemosquet S., et Lamadon A.. 2018. « Chapitre 25 - Tables Inra de la valeur des aliments utilisés en France et dans les régions tempérées ». In *Alimentation des ruminants*, Editions Quae, 521-616. Versailles, France: INRA.
- Benoit M., et Veyssset P.. 2003. « Conversion of cattle and sheep suckler farming to organic farming: adaptation of the farming system and its economic consequences ». *Livestock Production Science* 80 (1-2): 141-52.
- Béral C., Andueza D., Ginane C., Bernard M., Liagre F., Girardin N., Emile J-C., et al. 2018. « Agroforesterie en système d'élevage ovin : étude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation du changement climatique. » ADEME. <https://hal.inrae.fr/hal-02932381/document>.
- Berkes F., 2007. « Understanding Uncertainty and Reducing Vulnerability: Lessons from Resilience Thinking ». *Natural Hazards* 41 (2): 283-95. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9036-7>.
- Blanc, F., Ollion E., Puillet L., Delaby L., Ingrand S., Tichit M., et Friggens N-C.. 2013. « Evaluation quantitative de la robustesse des animaux et du troupeau : quels principes retenir ? ». Rencontres Recherche Ruminants, In *Capacité d'adaptation des exploitations d'élevage*, 20:265-72. Paris, France.
- Bouttes M., Darnhofer I., et Martin G.. 2019. « Converting to Organic Farming as a Way to Enhance Adaptive Capacity ». *Organic Agriculture* 9 (2): 235-47. <https://doi.org/10.1007/s13165-018-0225-y>.
- Cailliez V. 2015. « The Climate Expectancy : a resolute parametrical approach to redefine the climate ». In *Abstract Book - International Scientific Conference 7-10 July 2015*. Paris, France. http://pool7.kermeet.com/C/ewe/ewex/unesco/DOCS/CFCC_abstractBook.pdf.
- Carpenter S., Walker B., Anderies J-M., et Abel N.. 2001. « From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? » *Ecosystems* 4 (8): 765-81. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>.

- Cerles A., Lherm M., Poux X., et Agabriel J.. 2017. « Étude prospective des filières viande de ruminants du Massif central à l'horizon 2050 ». *INRA Productions animales* 30 (2): 179-96.
- Chambre d'Agriculture des Landes. 2014. « L'herbe un potentiel à valoriser. Le pâturage d'automne », 2.
- Chambres d'Agriculture et IDELE. 2014. « Une plateforme collective pour la connaissance et l'innovation dans les systèmes d'élevage herbivores ». https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/50feabc5-66a0-4b3a-84ce-f8773bfe0de5.
- Charroin T., Palazon R., Madeline Y., Guillaumin A., et Tchakerian E. 2005. « Le système d'information des Réseaux d'Élevage français sur l'approche globale de l'exploitation. Intérêt et enjeux dans une perspective de prise en compte de la durabilité ». *Rencontres Recherches Ruminants*, In *Données d'élevage*, 12:4. Paris, France.
- Cordier J., Erhel A., Pindard A., et Courleux F.. 2008. « La gestion des risques en agriculture de la théorie à la mise en oeuvre: éléments de réflexion pour l'action publique ». *Notes et études socio-économiques, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire*, n° 30: 33-71.
- Dardonville M., Bockstaller C., et Therond O. 2021. « Review of Quantitative Evaluations of the Resilience, Vulnerability, Robustness and Adaptive Capacity of Temperate Agricultural Systems ». *Journal of Cleaner Production* 286 (mars): 125456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125456>.
- Darnhofer I. 2010. « Strategies of Family Farms to Strengthen Their Resilience ». *Environmental Policy and Governance* 20 (4): 212-22. <https://doi.org/10.1002/eet.547>.
- Darnhofer I, Fairweather J., et Moller H. 2010. « Assessing a Farm's Sustainability: Insights from Resilience Thinking ». *International Journal of Agricultural Sustainability* 8 (3): 186-98. <https://doi.org/10.3763/ijas.2010.0480>.
- Data.gouv.fr. s. d. « Surfaces, cheptels et nombre d'opérateur par département (DEPARTEMENTS BIO) - data.gouv.fr ». Consulté le 6 avril 2022. <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/surfaces-cheptels-et-nombre-doperateur-par-departement/>.
- Dedieu B., et Ingrand S. 2010. « Incertitude et adaptation : cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage ». *INRA Productions Animales* 23 (1): 81-90.
- Devun J., et Legarto. 2011. « Fourrages conservés et modes de récolte : la situation selon les systèmes d'élevage en France ». *Fourrages*, n° 206: 91-105.
- Dimon P., Echevarria L., Mischler P., Kentzel M., Pineau C., Sarzeaud P., Tresch P., et al. 2017. « La résilience des systèmes bovins viande face aux aléas ». Idele. https://ardennes.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/Grand-Est/045_Inst_Ardennes/RUB_Techniques/Bovin_viande/La_r%C3%A9silience_des_syst%C3%A8mes_BV_face_aux_al%C3%A9as_2017.pdf.
- Gallopín G-C. 2006. « Linkages between Vulnerability, Resilience, and Adaptive Capacity ». *Global Environmental Change* 16 (3): 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>.
- Gunderson L-H. 2000. « Ecological Resilience. In Theory and Application ». *Annual Review of Ecology and Systematics* 31 (1): 425-39. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.31.1.425>.

- Holling, C. S. 1973. « Resilience and Stability of Ecological Systems ». *Annual Review of Ecology and Systematics* 4 (1): 1-23. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.04.110173.000245>.
- Holling, C. S. 2001. « Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems ». *Ecosystems* 4 (5): 390-405. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>.
- Hoppenreys, G. 2011. « Réussite des stocks et niveau d'intensification en élevage allaitant de Poitou-Charentes ». *Fourrages*, n° 206: 133-36.
- Hostiou N., et Fagon J.. 2012. « Simplification des conduites d'élevage : analyse transversale des pratiques mises en oeuvre dans les filières herbivores et granivores ». *INRA Productions Animales* 25 (2): 127-40.
- IDELE. 2013. « L'élevage d'herbivores au Recensement agricole 2010. Cheptels, exploitations, productions ». https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace://SpacesStore/93e8ad9e-7f2e-4358-bfc3-0b21accfa660.
- IDELE. s. d. « Objectifs et actions du réseau Inosys ». Consulté le 11 avril 2022. <https://idele.fr/inosys-reseau-elevage/objectifs-et-actions>.
- IDELE et CNE. 2021a. « Les chiffres clés du GEB, bovins 2021. Productions lait et viande. » https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2Fadbc52dd-6018-4e41-97fb-533753b4ff22&cHash=d2d2448139a932ff6e6697ed5c1d1abe.
- IDELE et CNE. 2021b. « Les chiffres clés du GEB, ovins 2021. Productions lait et viande. » https://idele.fr/?eID=cmis_download&oID=workspace%3A%2F%2FSpacesStore%2Fca6a128b-13dc-42c5-9b4f-d717946c0038&cHash=0db89348ed361368d51da9221fd3aaf9.
- INAO. 2016. « L'agriculture biologique ». INAO. <https://www.inao.gouv.fr/Les-signes-officiels-de-la-qualite-et-de-l-origine-SIQA/Agriculture-Biologique>.
- INAO. 2022a. « Agriculture Biologique ». INAO. 2022. <https://www.inao.gouv.fr/Les-signes-officiels-de-la-qualite-et-de-l-origine-SIQA/Agriculture-Biologique>.
- INAO. 2022b. « Dérogations en agriculture biologique ». INAO. 2022. <https://www.inao.gouv.fr/Espace-professionnel-et-outils/Produire-sous-signes-de-qualite-comment-faire/Derogations-en-agriculture-biologique>.
- Ingrand S., Astigarraga L., Chia E., David C., Coquil X., et Fiorelli J-L.. 2009. « Développer les propriétés de flexibilité des systèmes de production agricole en situation d'incertitude: pour une durabilité qui dure ». In Journées de la Recherche Cunicole, 13:10. Le Mans, France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01195192>.
- INSEE. 2022a. « Indice des prix à la consommation - Base 2015 - Variations annuelles ». 2022. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/serie/001768676>.
- INSEE. 2022b. « Indice des prix des produits agricoles à la production ». 2022. <https://www.insee.fr/fr/metadonnees/source/indicateur/p1657/description>.
- INSEE. 2022c. « Séries Indices des prix dans l'agriculture ». 2022. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/series/109144301>.
- IPCC. 2021. « Summary for Policymakers ». In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 40. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf.
- IPCC. 2022. « Summary for Policymakers ». In *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of*

- the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, 37. https://report.ipcc.ch/ar6wg2/pdf/IPCC_AR6_WGII_SummaryForPolicymakers.pdf.
- Jeanneaux P., Gillot M., et Blasquiet-Revol H. 2019. « La compétitivité hors coût des exploitations agricoles françaises : une analyse des effets des signes de qualité et d'origine ». *Analyse, Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation*, Centre d'études et de prospectives, n° 135: 4.
- Kockmann F., Granger S., Lemasson C., Simoens C., et Duru M-M.. 2009. « Gestion du pâturage au printemps en système bovin allaitant : diversité des pratiques en Saône-et-Loire ». *Fourrages* 198: 211.
- Lagadeuc Y., et Chenorkian R.. 2009. « Les systèmes socio-écologiques : vers une approche spatiale et temporelle ». *Natures Sciences Sociétés* 17: 194-96. <https://doi.org/10.1051/nss/2009032>.
- Martin, G., et Magne M. A.. 2015. « Agricultural Diversity to Increase Adaptive Capacity and Reduce Vulnerability of Livestock Systems against Weather Variability – A Farm-Scale Simulation Study ». *Agriculture, Ecosystems & Environment* 199 (janvier): 301-11. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.10.006>.
- Meuwissen M. P.M., Feindt P.H., Spiegel A., Termeer C.J.A.M., Mathijs E., Mey Y., Finger R., et al. 2019. « A Framework to Assess the Resilience of Farming Systems ». *Agricultural Systems* 176: 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2019.102656>.
- Mosnier, C., Agabriel J., Veysset P., Bebin D., et Lherm M.. 2010. « Évolution et sensibilité aux aléas des résultats technico-économiques des exploitations de bovins allaitants selon les profils de production ». *INRAE Productions Animales* 23 (1): 91-102. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2010.23.1.3290>.
- Mosnier C., Boutry A., Lherm M., et Devun J.. 2013. « Sensibilité des élevages bovins et ovins viande aux aléas selon la place des prairies dans les systèmes fourragers ». *Fourrages*, 213: 11-20.
- Mosnier C., Fourdin S., Moreau J-C., Boutry A., Le Floch E., Lherm M., et Devun J.. 2014. « Impacts des aléas climatiques en élevages bovin et ovin allaitants et demande de couverture assurantielle ». *Notes et études socio-économiques, Ministère de l'agriculture, de l'alimentation, de la pêche, de la ruralité et de l'aménagement du territoire*, Centre d'études et de prospective, n° 38: 73-94.
- Osei-Amponsah R., Chauhan S-S., Leury B.-J., Cheng L., Cullen B., Clarke I.J., et Dunshea F.R.. 2019. « Genetic Selection for Thermotolerance in Ruminants ». *Animals* 9 (11): 948. <https://doi.org/10.3390/ani9110948>.
- Perrin A., San Cristobal M., Milestad R., et Martin G.. 2020. « Identification of Resilience Factors of Organic Dairy Cattle Farms ». *Agricultural Systems* 183: 102875. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2020.102875>.
- Piet L., Benoit M., Chatellier V., Dakpo K.H., Delame N., Desjeux Y., Dupraz P., et al. 2020. « Hétérogénéité, déterminants et trajectoires du revenu des agriculteurs français ». Research Report. INRAE, SMART-LERECO (coordination). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02877320>.
- Pole Bio Massif Central. 2021. « Le BioRéférences nouveau est arrivé ! » *Pôle Bio Massif Central* (blog). 2021. <https://pole-bio-massif-central.org/le-bioreferences-nouveau-est-arrive/>.
- Produire bio. 2022. « Les aides à la bio ». *Produire Bio* (blog). 2022. <https://www.produire-bio.fr/les-aides/>.
- RICA. 2020. « Méthodologie du RICA ». <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/methode/S-RICA/M%C3%A9thodologie%20Rica.pdf>.

- Ripoche F.. 2020. « Ruminants bio dans le Massif Central : Alerte sur les baisses de productivité ». *BIOFIL*, 132, 55-56.
- Sanchez G.. 2013. *PLS Path Modeling with R*. Trowshez Editions. Berkeley. <http://www.gastonsanchez.com/PLS Path Modeling with R.pdf>.
- Sanchez G., Trinchera L., et Russolillo G.. 2014. « Introduction to the R Package Plspm ». *Retrieved 20 (2021): 10*.
- Sauvant D., et Martin O.. 2010. « Robustesse, rusticité, flexibilité, plasticité... les nouveaux critères de qualité des animaux et des systèmes d'élevage : définitions systémique et biologique des différents concepts ». *INRAE Productions Animales* 23 (1): 5-10. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2010.23.1.3280>.
- SIDAM. 2018. « Fiche méthode : AP3C, un projet qui renouvelle les méthodes d'estimation de l'Evapo-Transpiration Potentielle ». <https://www.sidam-massifcentral.fr/wp-content/uploads/2016/09/METHODE-CLIMATIQUE-ESTIMATION-ETP.pdf>.
- SIDAM. 2019a. « Adaptations des Pratiques Culturelles au Changement Climatique. Les impacts agronomiques en cours sur le Massif Central ». SIDAM.
- SIDAM. 2019b. « Liste des indicateurs agro-climatiques ». <https://www.sidam-massifcentral.fr/wp-content/uploads/2017/10/0-Liste-IAC-2.pdf>.
- SIDAM. 2020. « Méthodologie Climatique. Rapport Complet ». <https://www.sidam-massifcentral.fr/wp-content/uploads/2020/09/M%C3%A9thodologie-climatique-Rapport-complet.pdf>.
- SIDAM. 2021. « Le changement climatique sur le Massif Central. Quelles évolutions climatiques sur mon territoire ? » SIDAM. <https://www.sidam-massifcentral.fr/wp-content/uploads/2022/01/AP3C-16p-A5-CLIMAT-V2-1.pdf>.
- Tenenhaus M. 1998. *La régression PLS: théorie et pratique*. Editions TECHNIP.
- Territoire du Massif Central. s. d. « Massif central, le territoire ». [Massif-Central.eu](http://www.massif-central.eu/le-massif/le-territoire/). Consulté le 6 avril 2022. <http://www.massif-central.eu/le-massif/le-territoire/>.
- Tittonell P.. 2020. « Assessing Resilience and Adaptability in Agroecological Transitions ». *Agricultural Systems* 184 (septembre): 102862. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102862>.
- Urruty N., Tailliez-Lefebvre D., et Huyghe C.. 2016. « Stability, Robustness, Vulnerability and Resilience of Agricultural Systems. A Review ». *Agronomy for Sustainable Development* 36 (1): 15. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0347-5>.
- Veysset P., Benoit M., Laignel G., Bébin D., Roulenc M., et Lherm M.. 2014a. « Analyse et déterminants de l'évolution des performances d'élevages bovins et ovins allaitants en zones défavorisées de 1990 à 2012 ». *INRA Productions Animales* 27 (1): 49.
- Veysset P., et Boukhriss S.. 2021. « Gains de productivité et évolution de la rentabilité des élevages bovins français sur trois décennies (1988-2018) ». *Économie rurale*, n° 378: 119-35. <https://doi.org/10.4000/economierurale.9474>.
- Veysset P., Gautier M., et Grenier J.. 2018. « L'efficacité des exploitations d'élevage de ruminants en agriculture biologique du Massif Central: avantage aux spécialisés herbagers », Rencontres Recherches Ruminants, In *Systèmes d'élevage*, 24, 5. Paris, France
- Veysset P., Lherm M., et Bébin D. 2004. « Performances technico-économiques pour les grands troupeaux bovins allaitants : le cas du Charolais ». Rencontres Recherche Ruminants , 11, 4. Paris, France.
- Veysset P., Tauriac R., Benoit M., Belvèze J., Patout O., Reuillon J-L., Morin E., et Vallas M.. 2013. « Les systèmes d'élevage agrobiologiques du Massif Central : évolution (2008-

- 2011) et analyse transversale (trans-productions) des résultats technico-économiques et de leurs déterminants ». *Innovations Agronomiques* 32: 317.
- Walker, B., Holling C. S., Carpenter S., et Kinzig A.. 2004. « Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems ». *Ecology and Society* 9 (2). <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>.
- Xlstat. s. d. « Approche PLS ». XLSTAT, Your data analysis solution. Consulté le 12 juillet 2022. <https://www.xlstat.com/fr/solutions/fonctionnalites/approche-pls>.
- Zampieri M., Toreti A., Ceglar A., Naumann G., Turco M., et Tebaldi C.. 2020. « Climate Resilience of the Top Ten Wheat Producers in the Mediterranean and the Middle East ». *Regional Environmental Change* 20 (41): 9. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01622-9>.

Tables des figures et tableaux

Figure 1: Carte des régions et départements appartenant au Massif Central	5
Figure 2: Carte de l'évolution de la température moyenne hivernale entre 2000 et 2050	8
Figure 3: Carte de l'évolution du cumul de précipitations estivales entre 2000 et 2050.....	8
Figure 4: Carte de l'évolution du cumul annuel d'évapo-transpiration potentielle entre 2000 et 2050	9
Figure 5: Evolution du nombre de jours pour enrubanner entre 2000 et 2050 (à gauche).....	9
Figure 6: Evolution de la mise à l'herbe entre 2000 et 2050 (à droite)	9
Figure 7: Evolution de l'indice des prix des produits agricoles à la production entre 2005 et 2021 (INSEE 2022c)	18
Figure 8: Objectifs du travail	18
Figure 9: Répartition des élevages étudiés et des stations météorologiques disponibles	19
Figure 10: Evolution de la SAU des exploitations entre 2014 et 2020.....	23
Figure 11: Evolution de la taille du cheptel des exploitations entre 2014 et 2020.....	23
Figure 12: Surfaces moyennes cultivées hors parcours des exploitations-années.....	23
Figure 13: Démarche méthodologique de l'analyse	24
Figure 14: Répartition des exploitations étudiées et les stations météorologiques qui leur ont été attribuées	25
Figure 15 : Schématisation des relations entre variables manifestes et variables latentes ...	26
Figure 16: Modèle structurel de la résilience	30
Figure 17: Evolution moyenne de la valeur ajoutée brute d'exploitation entre 2014 et 2020 .	33
Figure 18: Evolution moyenne des produits végétaux de la ferme et de la part de cultures annuelles dans l'assolement entre 2014 et 2020	33
Figure 19: Evolution moyenne des produits animaux entre 2014 et 2020	34
Figure 20: Evolution moyenne des consommations intermédiaires entre 2014 et 2020	34
Figure 21: Evolution moyenne des quantités de fourrages consommés entre 2014 et 2020.	35
Figure 22: Evolution moyenne de la quantité d'aliments achetés.....	35
Figure 23: Evolution moyenne de la consommation de concentrés entre 2014 et 2020.....	36
Figure 24: Evolution moyenne de la productivité animale entre 2014 et 2020	36
Figure 25: Evolution moyenne du nombre de jours favorables aux récoltes d'herbe.....	37
Figure 26: Evolution moyenne de la satisfaction hydrique estivale après la récolte en foin, après le 15/09	37
Figure 27: Evolution moyenne du nombre de jours de risque de gel inférieur à -4°C entre le 20/02 et le 10/04, entre 2014 et 2020	38
Figure 28: Evolution moyenne du nombre de jours d'échaudage thermique à plus de 32°C entre le 1/06 et le 30/09, entre 2014 et 2020	38

Figure 29: Modèle de mesure de la résilience pondéré par les loadings.....	39
Figure 30: Modèle structurel de la résilience pondéré par les coefficients entre variables latentes	41
Figure 31: Représentation des variables latentes dans un plan factoriel	42
Figure 32: Représentation des groupes formés par la CAH dans le plan factoriel	42
Figure 33: Valeur ajoutée brute d'exploitation selon les groupes	44
Figure 34: Productivité animale selon les groupes.....	44
Figure 35: Quantité d'herbe valorisée au pâturage selon les groupes.....	45
Figure 36: Quantité de concentrés consommés selon les groupes	45
Figure 37: Achats de concentrés selon les groupes	46
Figure 38: Niveaux de consommation intermédiaires selon les groupes.....	46
Figure 39: Variations du système fourrager selon les aléas climatiques	48
Équation 1 : Modèle de mesure.....	26
Équation 2 : Modèle structurel.....	26
Tableau 1 : Cheptel bovins et ovins en AB et en conventionnel en France.....	6
Tableau 2: Cheptel bovins et ovins en AB et en conventionnel dans le Massif Central (MC). 7	
Tableau 3: Modalités d'adaptation des systèmes d'élevage face aux perturbations (Sauvant et Martin 2010)	13
Tableau 4: Evaluations de la résilience selon plusieurs auteurs	15
Tableau 5: Stratégies d'adaptations face aux aléas climatiques recensées dans la littérature	16
<i>Tableau 6: Indicateurs agro-climatiques et leur définition</i>	<i>21</i>
<i>Tableau 7 : Indicateurs d'exploitation et leur définition.....</i>	<i>42</i>
Tableau 8 : Effectifs des exploitations de l'échantillon par production et par période	22
<i>Tableau 9 : Constitution des variables latentes selon leur type et les variables manifestes associées</i>	<i>29</i>
Tableau 10: Participation des variables à la classification	42
Tableau 11: Répartition des exploitations-années dans les groupes selon la nature de leur production	43
Tableau 12: Valeurs test des variables et des modalités d'années pour chaque groupe	43