



HAL
open science

Une évaluation de la résilience d'exploitations d'élevage face aux aléas climatiques : application à des élevages de ruminants bio du Massif central

Patrick Veysset, Célia Boivent

► To cite this version:

Patrick Veysset, Célia Boivent. Une évaluation de la résilience d'exploitations d'élevage face aux aléas climatiques : application à des élevages de ruminants bio du Massif central. 17èmes journées de recherche en sciences sociales INRAE, SFER, CIRAD, SFER-INRAE-CIRAD, Dec 2023, Saclay, France. hal-04381410

HAL Id: hal-04381410

<https://hal.inrae.fr/hal-04381410v1>

Submitted on 9 Jan 2024

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

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

Une évaluation de la résilience d'exploitations d'élevage face aux aléas climatiques : application à des élevages de ruminants bio du Massif central

Patrick Veysset¹, Célia Boivent^{1,2}

(1) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle

(2) Ecole Supérieure d'Agricultures Angers Loire, 55 rue Rabelais, F-49007 ANGERS

Auteur de correspondance : patrick.veysset@inrae.fr

Résumé. Le changement climatique et l'augmentation de la fréquence des perturbations climatiques pourraient avoir un impact sévère sur la gestion et les performances des exploitations biologiques dans les zones herbagères. La résilience fournit un cadre d'analyse des systèmes d'élevage dans ce contexte. A partir des données structurelles, techniques et économiques de trente-six exploitations d'élevage de ruminants biologiques (bovins viande et lait, ovins lait et viande) du Massif central suivies entre 2014 et 2020, et des données météorologiques permettant de calculer des indicateurs agro-climatiques pour chaque exploitation et chaque année, nous avons étudié les déterminants de la résilience des systèmes. La résilience a été mesurée par la stabilité ou l'augmentation de la valeur ajoutée brute (production brute hors subventions moins consommations intermédiaires) de l'exploitation. Nous avons utilisé une modélisation par équations structurelles (SEM) avec la méthode des moindres carrés partiels (PLS), puis une classification ascendante hiérarchique (CAH). Nos résultats montrent que la gestion du système fourrager est principalement basée sur la maximisation du pâturage au détriment de la constitution des stocks fourragers. Le maintien de la production du troupeau, même au détriment de l'autonomie fourragère, est essentiel pour la résilience des exploitations. Les variations climatiques des sept années d'observation n'ont pas eu d'impact sur les structures des exploitations. Les agriculteurs ont géré les perturbations climatiques en maximisant le pâturage et en achetant du fourrage pour compenser les déficits fourragers avec des achats de concentrés relativement stables. Des aléas plus intenses pourraient cependant remettre en cause la capacité des systèmes à gérer la variabilité climatique, notamment si le fourrage biologique se raréfie sur le marché.

Mots clés : Valeur ajoutée, indicateurs agro-climatiques, modélisation équations structurelles, agriculture biologique, typologie

A method to assess the resilience of livestock farms to climatic hazards: application to organic ruminant farms in the Massif Central

Abstract: Climate change and the increase of frequency of climatic perturbations could have a severe impact on the management and the performances of organic farms in grassland areas. Resilience provides a framework for analyzing livestock systems in this context. Based on structural, technical, and economic data from thirty-six specialized ruminants (beef and dairy cattle, dairy sheep and sheep for meat) organic farms in the Massif Central (a mountain area) monitored between 2014 and 2020, and meteorological data enabling to calculate agro-climatic indicators for each farm and each year, we studied the determinants of the resilience of the systems. Resilience was measured by the stability or increase in the gross value added (gross output without subsidies minus intermediate consumption) of the farm. We used a Partial Least Square (PLS) path modelling and then a hierarchical ascending classification (HAC). In the farms studied, the management of the forage system is primarily based on maximizing grazing at the expense of the constitution of fodder stocks. Maintaining herd production, even at the expense of fodder autonomy, is essential for the resilience of the farms. Finally, the

climatic variation of the seven years of observations did not impact the structures of the farms. Farmers managed the climatic perturbations by maximizing grazing and by purchasing fodder to compensate forage deficits, concentrates purchases remaining stable. More intense hazards could, however, call into question the capacity of the systems to manage climatic variability, mainly if organic fodder become scarce on the market.

Keywords: Value added, agro-climatic indicators, structural equation modeling, organic farming, typology

Classification JEL: Q12

1. Introduction

Dans un contexte économique, social, institutionnel, climatique très volatile et imprédictible, les systèmes de production agricole sont confrontés à de multiples risques. Parmi les différents facteurs affectant la gestion et les performances des systèmes de production animale, les aléas climatiques prennent une importance considérable depuis de nombreuses années (Jacquet et Pluvinage, 1997 ; Mosnier et al., 2010 ; Joly et al., 2022). Les canicules et sécheresses récurrentes impactent fortement le fonctionnement et les résultats économiques des exploitations d'élevage en zone herbagère (Veysset et al., 2007 ; Mosnier et al., 2013). L'adaptation des systèmes d'élevage à ces perturbations fait appel à un certain nombre de leurs propriétés intrinsèques, telles que la robustesse, la flexibilité ou la plasticité (Sauvant et Martin, 2010 ; Rodriguez et al., 2011). Ces propriétés reflètent la façon dont un système de production répond à une perturbation de son environnement (économique, humain, sanitaire ou climatique). Cette capacité des systèmes de production à se transformer, s'adapter pour maintenir leur fonction reflète leur résilience (Gallopain, 2006). Ce concept de résilience est largement utilisé pour étudier les capacités d'adaptation des systèmes agricoles (Dedieu et Ingrand 2010, Urruty et al., 2016 ; Meuwissen et al., 2019 ; Dardonville et al., 2021). Lorsqu'un système subit une perturbation, selon son niveau d'exposition et sa vulnérabilité, il va suivre une trajectoire pour résister et/ou s'adapter, la résilience correspond aux modalités que prend le système pour perdurer (Walker et al., 2004) et conserver sa cohérence (Holling, 2001). Selon Dardonville et al. (2021) l'évaluation de la résilience des systèmes de production agricole peut i) s'appuyer sur l'évaluation des caractéristiques spécifiques d'un système tels que l'autonomie ou la diversité qui sont alors des proxys de la résilience (Tittonell 2020) ou ii) se baser sur l'analyse des dynamiques du système sous perturbations et des relations entre les perturbations, les caractéristiques et les performances caractérisant les fonctions premières du système, les facteurs expliquant ces dynamiques pourront être identifiés comme des déterminants de la résilience, puis utilisé comme proxys de résilience (Perrin et al. 2020). Ces deux approches sont complémentaires, un système pouvant faire face à une perturbation selon ses caractéristiques intrinsèques, mais l'accomplissement des objectifs de long terme doit être préservé (Urruty et al. 2016) ; la notion de trajectoire, d'évolution dans le temps est ainsi indissociable de la résilience. Dans tous les cas, une évaluation de la résilience d'un système de production va nécessiter de bien définir le système et la perturbation étudiées, ainsi que les bons indicateurs des caractéristiques et performances dudit système (Carpenter et al., 2001).

L'adaptation des élevages au changement et aléas climatiques est une forte préoccupation des éleveurs, notamment dans le Massif central qui est une des plus grandes zones françaises d'élevage avec 85% du territoire consacré à l'élevage d'herbivores. Dans cette vaste région, un projet de Recherche et Développement a été mis en place afin d'obtenir des informations localisées permettant une analyse fine des impacts du changement climatique sur le territoire, en vue d'adapter les systèmes de production du Massif central (Sidam Copamac, 2023). En outre, le Massif central concentre 30% du cheptel français de ruminants certifiés en agriculture biologique (AB), ces élevages ainsi que leur environnement professionnel, sont demandeurs des références techniques, économiques fournies par le projet BioRéférences (Pôle Bio Massif central, 2023). Un grand nombre d'études prospectives sur l'adaptation de l'agriculture et/ou de l'élevage au climat futur a été réalisé à l'échelle internationale (Poux et Aubert, 2018 ; Mora et al, 2020), nationale (Solagro, 2016) ou régionale (Chambre d'Agriculture d'Occitanie, 2019 ; Sidam Copamac, 2023) mais peu de travaux rétrospectifs se sont intéressés aux adaptations des élevages aux aléas climatiques passés, un certain nombre de travaux a traité de la vulnérabilité des élevage (Martin et al., 2017). L'objectif de ce travail est triple : 1) proposer des indicateurs et une méthodologie pour étudier la résilience d'élevage

de ruminants face aux aléas climatiques, 2) objectiver les impacts des aléas climatiques observés sur les pratiques agricoles au sein de ces élevages, 3) définir les principaux déterminants de cette résilience. Cette étude s'appuie sur un réseau d'élevages bovins et ovins certifiés AB du Massif central suivi sur sept années. Après avoir présenté les indicateurs choisis, le réseau d'élevages et la base de données technico-économique et météorologique utilisées, nous présenterons le modèle d'analyse adopté. Nous présenterons ensuite les évolutions sur la période de l'indicateur de résilience et des principales caractéristiques et performances moyennes des exploitations, ainsi que les déterminants de cette résilience. Enfin, nous discuterons des stratégies d'adaptation mises en œuvre par les éleveurs, avant de conclure sur la pertinence de ces stratégies et les conditions de renforcement de la résilience de ces exploitations d'élevage en agriculture biologique face aux aléas climatiques.

2. Matériel et méthodes

2.1. Indicateurs de résilience et d'aléas climatiques

Selon l'institut national de la statistique et des études économiques (Insee) une exploitation agricole est une unité de production agricole disposant d'une gestion courante indépendante et dépassant un certain seuil en superficie. De cette définition, il apparaît que la fonction première d'une exploitation agricole est la mise en œuvre de moyens de production par les exploitants pour assurer techniquement et économiquement une production agricole. La résilience d'une exploitation sera mesurée par sa capacité à assurer une production agricole tout en créant un excédent de richesse pour être économiquement viable malgré la traversée d'une perturbation. Cette notion de création d'excédent de richesse d'une entreprise est captée par la valeur ajoutée. La valeur ajoutée brute est égale à la différence entre le produit brut (valeur des productions finales hors subventions) et la valeur des biens et services consommés (consommations intermédiaires) au cours du processus de production, la valeur ajoutée nette est égale à la différence entre la valeur ajoutée brute et la consommation de capital fixe. La valeur ajoutée par actif ou par hectare (ha) de surface agricole (SAU) permet de comparer l'efficacité économique des systèmes de production hors subventions, et constitue un indicateur approprié pour les comparaisons interannuelles (Laroche-Dupraz et Ridier, 2021). A partir des données économiques des exploitations agricoles, notamment du compte de résultat qui établit les soldes des flux annuels de produits et de charges liés à un exercice, nous pouvons calculer chaque année et pour chaque exploitation étudiée la valeur ajoutée brute et nette. Nous choisissons la valeur ajoutée et son évolution interannuelle comme indicateur de résilience des exploitations. Face à une perturbation, un système de production résilient sera un système qui ne subira pas de forte baisse de la valeur ajoutée (baisse de la production et/ou augmentation des consommations intermédiaires) afin de continuer à commercialiser des produits et à rémunérer les exploitants. Selon le pas de temps étudié, nous utiliserons la valeur ajoutée brute ou nette. Sur du court terme (moins de 7 ans) nous nous intéresserons à l'évolution de la valeur ajoutée brute, les adaptations des exploitations à court terme n'engagent pas d'investissements sur le long terme, mais un ajustement de la production et des consommations intermédiaires. Sur le long terme il conviendra d'utiliser la valeur ajoutée nette, prenant en compte les évolutions de capital fixe utilisé.

Un grand nombre d'indicateurs climatiques est utilisé pour suivre et caractériser le changement climatique, mais ces indicateurs ne sont pas forcément conçus pour répondre aux besoins spécifiques de la production agricole (Qian et al., 2010). Un indicateur agroclimatique est une variable composée d'éléments climatiques (somme des degrés jours, nombre de jours de gel, cumul de pluviométrie sur une période, etc.) qui ont été déterminés ou/et qui ont été

articulés pour correspondre à des problématiques agricoles. Ces indicateurs sont principalement utilisés pour évaluer les effets du climat dans une zone donnée sur la productivité des cultures, la gestion des cultures et l'environnement (Caubel et al., 2015). Le projet régional Adaptation des Pratiques Culturelles au Changement Climatique (AP3C) s'est intéressé à définir et caractériser un horizon climatique pour le Massif central pour l'année 2050 et à proposer des pistes d'adaptation des systèmes d'élevage à mettre en œuvre face au changement climatique (Sidam Copamac, 2023). Un volet climatique de ce projet propose une liste d'un certain nombre d'indicateurs agroclimatiques pertinents pour les systèmes agricoles du Massif central, et leur mode de calcul (Sidam Copamac, 2023). A partir de données météorologiques journalières de température maximum, minimum, de pluviométrie et d'évapotranspiration (ETP), AP3C propose 18 indicateurs climatiques pour les prairies, 12 pour les céréales et le maïs, 2 pour les cultures dérobées et 2 généralistes (Tableau Annexe 1). Ces indicateurs permettent de déterminer annuellement, et pour chaque station météorologique enregistrant quotidiennement les températures et pluviométries, les dates auxquelles sont atteintes certaines sommes de température, le nombre de jours sans pluie ou sans cumul important sur une période déterminée, le nombre de jours avec une température inférieure ou supérieure à un certain seuil sur une période définie, le ratio entre pluviométrie et ETP sur une période etc. Ces indicateurs vont pouvoir renseigner sur les conditions météorologiques favorables ou non pour la croissance et la récoltes des prairies et cultures pour une année en un lieu donné.

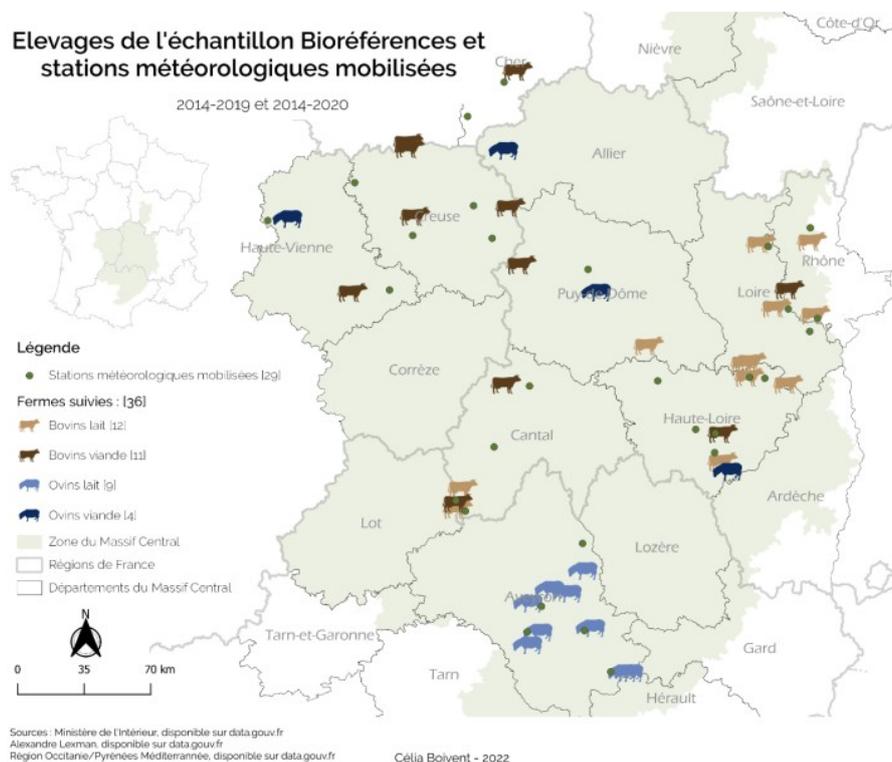
2.2. Le réseau d'élevages et l'appariement des données climat et exploitation

Les fermes supports de l'étude se répartissent sur l'ensemble du Massif central et intègrent deux espèces de ruminants (bovins, ovins) et les deux productions principales (lait et viande) de ce territoire de moyenne montagne. Ces fermes ont été choisies et enquêtées par les acteurs du projet BioRéférences (Pôle Bio Massif central, 2023) avec pour objectif de produire et consolider des références technico-économiques pour les exploitations d'élevages de ruminants AB du Massif central. Les exploitations du réseau constitué sont toutes certifiées agriculture biologique depuis au moins cinq ans au démarrage du projet (50% le sont depuis plus de dix ans). Annuellement, ce sont 70 exploitations qui ont été suivies selon la méthodologie INOSYS-Réseaux d'Elevage (Institut de l'Elevage et Chambres d'Agriculture, 2014) afin d'analyser leur fonctionnement. Les données structurelles (moyens de production), techniques (fonctionnement global du troupeau et des surfaces), de performances zootechniques et économiques ont été enregistrées dans la base Diapason (Charroin et al., 2005) pour chaque année de 2014 à 2020. Parmi ces exploitations, nous avons pu constituer un échantillon constant de 36 fermes sur la période de six ans 2014-2019 : 12 bovins lait (BL), 11 bovins viande (BV), 9 ovins lait (OL) et 4 ovins viande (OV). Parmi ces 36 fermes, 28 (11 BL, 9 BV, 4 OL, 4 OV) sont en échantillon constant sur sept ans, 2014-2020. Notre étude portera sur cet échantillon de 36 fermes et sur la période 2014-2020.

Pour évaluer l'exposition de chaque exploitation, chaque année, à un risque climatique, nous avons attribué à chaque individu (c'est-à-dire chaque exploitation-année) des variables climatiques issues d'une station météorologique afin de calculer les indicateurs agroclimatiques les plus pertinents pour chaque individu. L'appariement exploitation-station météo s'est réalisée par cartographie selon un spectre représentant les critères de températures et de pluviométrie. Chaque exploitation est située sur une carte climatique Massif central au pixel 500 m, « climat 2000 » c'est-à-dire représentant les moyennes annuelles climatiques 1980-2015, issue de la collaboration entre expertise climatique et géographique (Sidam Copamac, 2023). La station météorologique sélectionnée pour l'appariement devait être dans

un rayon d'environ 100 km autour de l'exploitation et présenter des caractéristiques « climat 2000 » proche de celles de la ferme positionnée sur la carte climatique : pluviométrie annuelle de la station égale à ± 50 mm, température moyenne annuelle de la station égale à $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$. 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 réfléchiée par rapport au déplacement des phénomènes météorologiques selon le vent. Cet appariement a fortement mobilisé l'expertise du climatologue du projet AP3C. Au final, parmi les 247 stations météorologiques du Massif central ayant un jeu de données journalières (température minimum et maximum, pluviométrie, ETP) complet du 1^{er} janvier 2014 au 31 décembre 2020, 29 stations qui ont été conservées pour être appariées avec les 38 exploitations, certaines fermes ayant la même station météorologique appariée (Figure 1). Nous avons ainsi pu calculer les variables agroclimatiques propres à chaque exploitation pour chaque année.

Figure 1 : répartition à l'échelle du Massif central des 36 exploitations étudiées et des 29 stations météorologiques appariées



2.3. Modèles d'analyses, sélection et traitement des variables

2.3.1. Modélisation par équations structurelles

Nous disposons d'un nombre important de variables observées (techniques, économiques, agroclimatiques) pouvant être corrélées entre elles. Des sous-ensembles de variables observées peuvent décrire des phénomènes non directement mesurables, tels que de bonnes ou mauvaises conditions météorologiques ou une stratégie alimentaire, qui sont une combinaison de différentes variables mesurées. Nous avons utilisé la modélisation par équations

structurelles (SEM) avec la méthode des moindres carrés partiels (Partial Least Square, PLS, path modeling) pour analyser les relations entre les conditions climatiques, les pratiques des élevages et leur résilience. La modélisation PLS met en relation des variables latentes, c'est-à-dire des concepts qui ne sont pas directement observables, avec des variables mesurables et relie les variables latentes entre elles (Hair et al., 2021). Un modèle d'approche PLS est divisé en deux modèles, i) le modèle de mesure qui explicite les relations entre les variables manifestes et la variable latente à laquelle elles participent, ii) le modèle structurel qui exprime les relations entre les variables latentes. Les variables latentes prennent une valeur unique et peuvent être de deux types, réfléchives ou formatives. Une variable latente formée par un bloc de variables manifestes formatives est la cause de ces variables manifestes ; cela signifie que les variables manifestes mesure la même chose mais différemment et donc que ces variables doivent être très corrélées. Des variables manifestes réfléchives sont la cause de la variable latente ; cela signifie que les variables manifestes, pas forcément corrélées entre elles, mesurent différents aspects de la variable latente, et ainsi, forment ensemble la variable latente. 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 nécessite une solide connaissance du contexte de la problématique mais également des variables.

2.3.2. Sélection des variables et choix des relations entre variables latentes

La variable latente représentant la résilience (RES) est le résultat d'une seule variable manifeste, la valeur-ajoutée brute en euros par ha de SAU. En production animale, l'alimentation des animaux est le premier poste de charges, nous avons donc défini quatre variables latentes représentant les stratégies d'alimentation des troupeaux : PRODFOUR pour la quantité et qualité de fourrages produits sur la ferme, PRODCONC pour la quantité de céréales produite sur la ferme, ACHATS pour les quantités de fourrages et concentrés achetés, et ALIM pour les quantités de fourrages conservés, de concentrés et de pâturage dans l'alimentation des animaux. Les quantités annuelles de fourrages et céréales récoltés peuvent varier selon les conditions climatiques de l'année, la variable latente CLIMPRAIR représente des conditions météorologiques favorables à la pousse et à la récolte de l'herbe, CLIMMAISCER des conditions climatiques défavorables à la culture du maïs et des céréales. La production des exploitations est représentée par la variable latente PRODRROUP résultant de la taille des troupeaux et de la productivité animale. Ces variables latentes sont formatives ou réfléchives et sont le résultat ou la cause de variables techniques mesurées annuellement sur chaque ferme (Tableau 1).

Tableau 1 : Constitution des variables latentes selon leur type et les variables manifestes associées (ETP : évapotranspiration ; MS : matière sèche ; UGB : Unité Gros bétail)

Variables latentes (type)	Libellé variables manifestes (unité)
CLIMPRAIR (formative)	Nombre de jours favorables à la récolte de foin (jours) Nombre de jours favorables à la récolte en enrubannage (jours) Etat hydrique estival après la récolte de foin (pluviométrie/ETP)
CLIMMAISCER (formative)	Risque de gel au stade épis 1 cm (jours) Risque d'échaudage thermique (jours)
PRODFOUR (formative)	Quantité de fourrages produits (tMS/UGB) Rendement récolte d'herbe 1 ^e coupe (tMS/ha) Part de maïs ensilage dans les fourrages récoltés (% de la MS)
PRODCONC	Quantité de concentrés produits (tMS/UGB)

<i>(réflective)</i>	Rendement cultures annuelles (<i>q/ha</i>)
ACHATS	Quantité de fourrages achetés (<i>tMS/UGB</i>)
<i>(formative)</i>	Quantité de concentrés achetés (<i>tMS/UGB</i>)
ALIM (<i>(réflective)</i>)	Quantité de fourrages consommées par les animaux (<i>tMS/UGB</i>)
	Quantité de concentrés consommées par les animaux (<i>tMS/UGB</i>)
	Quantité d'herbe pâturée consommée par les animaux (<i>tMS/UGB</i>)
PRODTRROUP	Productivité animale (<i>litres lait/vache ou brebis, kg viande vive/UGB</i>)
<i>(formative)</i>	Taille du troupeau (<i>UGB</i>)
RES (<i>(réflective)</i>)	Valeur ajoutée brute (<i>euros/ha SAU</i>)

CLIMPRAIR influence à la fois l'alimentation du troupeau (ALIM), la production des fourrages (PRDFOUR) et les achats d'aliments (ACHATS). CLIMMAISCERE impacte la production de concentrés (PRODCONC) et l'alimentation du troupeau (ALIM). PRDFOUR et PRODCONC influencent les achats d'aliments (ACHATS), l'alimentation du troupeau (ALIM) et la résilience (RES). Enfin PRODTRROUP et ALIM impactent RES (Figure 2). Le package *pls* sur R (Sanchez et al., 2014) fournit les coefficients des combinaisons linéaires des variables manifestes qui forment leur variable latente (weights, *w*) et la valeur de la corrélation entre la variable manifeste et sa variable latente (loading, *r*), ainsi que les coefficients de régression (*w*) des relations entre variables latentes.

2.3.3. Transformation des variables

La résilience est un concept dynamique et nécessite un traitement des variables observées au cours du temps. Martin et al., (2017) proposent d'évaluer la dynamique par la pente de régressions linéaires des indicateurs au cours du temps. Ceci présuppose que l'évolution des variables techniques, économiques, agroclimatiques des exploitations suit une tendance linéaire dans le temps, ce qui est rarement le cas, notamment en cas de choc une année. Les exploitations de l'échantillon étudiées sont diverses, n'ont pas les mêmes productions, structures et environnement, de plus les variables utilisées dans l'analyse n'ont pas les mêmes unités, ce qui peut générer des biais dans l'analyse par approche PLS. L'objectif est de comprendre les dynamiques d'adaptation propres à chaque exploitation et non de comparer les productions ou les fermes entre elles. Chaque variable (technique, économique, agroclimatique) de chaque exploitation-année a été centrée réduite relativement à la moyenne et à l'écart-type de l'exploitation considérée sur sa durée de présence dans le réseau (six ou sept ans). La valeur résultante de cette standardisation représente l'écart par rapport à un niveau moyen de la variable à moyen terme.

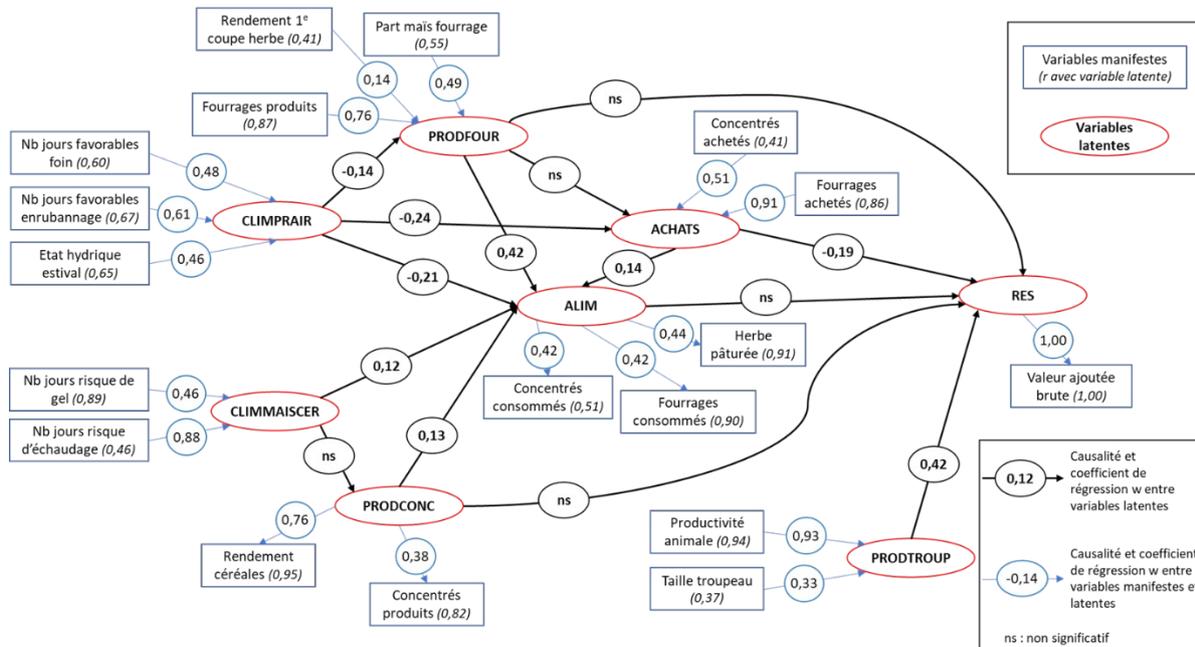
L'étude portant sur sept années, l'ensemble des variables économiques a été déflaté de l'indice annuel des prix à la consommation (IPC) fourni par l'Insee afin de raisonner en euros constants 2020.

2.3.4. Typologie des exploitations

Nous avons réalisé une typologie des exploitations selon les conditions climatiques, les stratégies de production, d'achats et de distributions d'aliments, de production des troupeaux en lien avec les variations inter-annuelle de valeur ajoutée. Une analyse en composantes principales (ACP) avec les variables latentes du modèle PLS en variables actives, les exploitations-années en individus, les années et type de production (BL, BV, OL et OV) en

variables qualitatives, a d'abord été conduite. A partir des dimensions (axes) retenus dans l'ACP nous avons réalisé une classification ascendante hiérarchique (CAH) des individus.

Figure 2. Modèle d'équation structurelle reliant les variables latentes entre elles et à la variable latente RES (résilience), et aux variables mesurées sur 36 exploitations d'élevage de ruminants AB sur la période 2014-2020. Les variables latentes sont présentées sous forme d'ovales, les variables mesurées sous forme de rectangles, les relations causales sous forme de flèches et les coefficients de régressions dans des cercles.



3. Résultats

3.1. Evolution moyenne des variables observées

3.1.1. Variables agroclimatiques

Le nombre de journées favorables aux récoltes d'herbe sous forme d'enrubannage et de foin fluctue respectivement autour de 3,5 plus ou moins 3,1 jours, et 5,2 plus ou moins 4 jours, entre 2014 et 2020 (Tableau 2). En 2016, 2018 et 2019, le nombre de jours sans pluie et/ou avec une faible pluviométrie au moment du stade de récolte optimal de l'herbe (déterminé selon la somme des températures, ou degrés jours, depuis le 1^e février de l'année soit 750°C pour l'enrubannage et 1100°C pour le foin), était les plus faibles en moyenne. Ces mauvaises années, l'écart-type est très proche, voire supérieur à la moyenne, ce qui signifie que certaines exploitations n'ont pas eu un seul créneau favorable pour la récolte de l'herbe au stade optimal ; elles ont dû soit prendre le risque de récolter sous la pluie, soit récolter plus tard avec pour conséquence une moindre qualité et valeur nutritive des fourrages stockés. La satisfaction hydrique estivale des prairies après la fauche, évalué par le ratio pluviométrie/ETP, permet d'approcher la couverture des besoins en eau de l'herbe en fin d'été-début d'automne et donc d'évaluer un potentiel de pousse d'herbe automnal. Si ce ratio est supérieur à 0,66, le potentiel est estimé bon, s'il est inférieur à 0,33 il y a un risque d'arrêt de la pousse de l'herbe. Seule l'année 2014 a potentiellement offert un bon potentiel, les

années 2016 et 2018, ayant déjà été peu favorable à la récolte d'herbe au printemps ont de plus offert un faible potentiel de pousse d'herbe à l'automne (Tableau 2).

Le nombre moyen de jours de gel (température minimale inférieure à -4°C) entre le 20 février et le 10 avril, c'est-à-dire susceptible d'affecter l'épis des céréales au stade 1 cm, est de 2,1 en moyenne sur sept ans (Tableau 2), avec un fort coefficient de variation (138%). C'est en 2018 que le nombre de jours de gel au début de printemps a été le plus élevé (6,3 jours), avec un plus faible écart-type. Le nombre moyen de journées où la température maximale est supérieure à 32°C entre le 1^e juin et le 30 septembre peut entraîner un moindre remplissage des grains du maïs (échaudage). Ce risque est très variable, mais avec une moyenne sur sept ans de 11,3 jours, il a plutôt tendance à augmenter les dernières années (Tableau 2). Les écart-types des variables « nombre de jours de gel » et « risque d'échaudage » sont très élevés, ce qui signifie qu'il y a une grande variabilité de risque d'exposition à ces risques des exploitations.

3.1.2. Variables technico-économiques des exploitations

La taille moyenne des troupeaux s'est accrue de 6% en sept ans, de 86 UGB en 2014 à 91 UGB en 2020 avec un plateau à 93 UGB entre 2017 et 2019 (Tableau 2). Le chargement moyen animal par hectare de surface fourragère (SFP) est resté quasiment stable autour de 1 UGB/ha SFP, avec une tendance à la baisse sur 2019 et 2020, ce qui signifie que le nombre moyen d'hectares de surface fourragère par exploitation a augmenté au moins en proportion de l'augmentation de la taille des troupeaux.

Le rendement moyen des premières coupes d'herbe est peu variable d'une année à l'autre avec une moyenne sur sept ans de 3,3 tonnes de matière sèche (tMS) par ha. L'année 2018 se distingue avec 3,8 tMS/ha, certainement dû à des récoltes tardives, plus de biomasse de moindre valeur, liée aux conditions météorologiques défavorables de printemps (cf supra). La quantité de fourrages produits et stockés par UGB est donc relativement stable sur les sept années (2,76 tMS/UGB), avec une quantité supérieure en 2018 (Tableau 2). Parmi les fourrages récoltés et stockés, la part du maïs est très faible, 4,4% du tonnage en moyenne avec une très grande variabilité (écart-type 9,3, Tableau 2) puisque 23 éleveurs sur 36 ne cultivent jamais de maïs et cinq en cultivent certaines années. Le rendement moyen des céréales (Tableau 2) est assez stable d'une année à l'autre (31,1 q/ha), le rendement de 2018 étant le plus faible (29,5 q/ha) certainement en lien avec le plus grand nombre de jours de gel au printemps.

L'alimentation fourragère des troupeaux est constituée en moyenne sur les sept ans de 40% d'herbe pâturée et 60% de fourrages conservés (Tableau 2). La part des fourrages conservés tend à augmenter (2,76 tMS/UGB en 2014, 2,90 tMS/UGB en 2020) au détriment de l'herbe pâturée. Les années où le potentiel de pousse de l'herbe à l'automne était le plus faible (2016 et 2018), la quantité d'herbe pâturée par UGB est la plus faible, et donc la quantité de fourrages conservés consommés par les animaux la plus forte (Tableau 2). Ces années difficiles pour la pousse automnale de l'herbe, mais également au printemps compliqué pour récolter dans de bonnes conditions, sont également les années au cours desquelles les éleveurs ont acheté le plus de fourrage : 880, 778 et 906 kgMS/UGB respectivement en 2016, 2018 et 2018 contre 729 kgMS/UGB en moyenne sur sept ans (Tableau 2) ; 2019 n'était pas la plus mauvaise année climatique pour l'herbe, mais il y a certainement eu des achats au printemps 2019 à la sortie de l'hiver 2018-2019. La quantité d'aliments concentrés produits sur les

fermes, achetés et consommés par les animaux est relativement stable, respectivement 432, 289 et 652 kg/UGB en moyenne sur sept ans.

La gestion de l'alimentation des animaux, les compensations des mauvaises années fourragères par l'achat de fourrages, le maintien d'une quantité constante de concentrés font que la productivité des animaux est restée stable sur sept ans (Tableau 2). Du fait de la baisse de chargement moyen animal sur les deux dernières années, le produit brut animal par hectare de SAU baisse sur ces deux années, alors qu'il était stable de 2014 à 2018 (Tableau 2). La tendance à l'augmentation de l'utilisation de fourrages conservés et à l'achat de fourrages les mauvaises années climatiques, font que les consommations intermédiaires utilisées ramenées à l'hectare de SAU augmentent régulièrement, soit une augmentation de 11% en sept ans. La valeur ajoutée brute perd alors 200 €/ha SAU, soit -30% entre 2014 et 2020.

3.2. Modèle de mesure : contribution des variables observées au variables latentes

Le nombre de jours favorables à la récolte de d'herbe (foin et enrubannage) ainsi que l'état hydrique des prairies en fin d'été/début d'automne sont positivement corrélés, de façon similaire, avec CLIMPRAIR (Figure 2). CLIMPRAIR exprime donc de bonnes conditions météorologiques pour récolter l'herbe et la faire pâturer en fin d'été. CLIMMAISCIER exprime des conditions météorologiques défavorables au rendement des céréales et du maïs puisque le risque de gel au printemps et d'échaudage en été sont positivement corrélés à cette variable latente, avec un fort coefficient de corrélation pour le risque de gel ($r=0,89$). Le rendement d'herbe en première coupe, la part de maïs ensilage dans les stocks fourragers ainsi que la quantité totale de fourrages récoltés par UGB sont toute trois positivement corrélées avec PRODFOUR. PRODCONC est fortement et positivement liée au rendement des céréales et donc à la quantité totale de concentrés produits sur la ferme par UGB. ACHATS est positivement corrélé aux quantités de concentrés et de fourrages achetés dans l'année par UGB, avec un plus fort coefficient de corrélation ($r=0,86$) pour les achats de fourrages. La stratégie alimentaire, c'est-à-dire la part de la pâture, des fourrages conservés et des concentrés dans l'alimentation des animaux (exprimés en tMS/UGB) forment ALIM, avec un fort coefficient de corrélation ($r=0,90$) pour les fourrages et la pâture. PRODTROUP est fortement positivement corrélé à la productivité animale ($r=0,94$) et dans une moindre mesure à la taille du troupeau ($r=0,37$). Enfin, la variable RES est à 100% constituée par la valeur ajoutée par hectare de SAU.

La valeur que prend chaque variable latente (pour chaque exploitation et chaque année) est le résultat d'une combinaison linéaire des variables manifestes associées à chacune de ces variables latentes. Les coefficients (weights, w) de ces équations linéaires sont donnés dans la Figure 2.

3.3. Modèle structurel : relation entre les variables latentes

De conditions climatiques pour le pâturage automnal et les récoltes d'herbe meilleures que la moyenne septennales (CLIMAPRAIR) impactent négativement la variation par rapport à la moyenne septennale de production des fourrages (PRODFOUR, $w=-0,14$), ainsi que celle des achats d'aliments (ACHAT, $w=-0,24$) et de consommation de fourrages conservés et/ou d'herbe pâturée (ALIM, $w=-0,21$) (Figure 2). Des conditions météorologiques plus défavorables au rendement des cultures que la moyenne septennale (CLIMMAISCERE) n'ont pas d'impact significatif sur la variation de production de concentrés (PRODCONC), mais impactent positivement celle de consommation de fourrages conservés et/ou d'herbe pâturée

(ALIM, $w=0,12$). La variation de production des fourrages par rapport à la moyenne septennale (PRODFOUR) ainsi que celle de concentrés (PRODCONC), impactent positivement celle de consommation d'aliments (ALIM, $w=0,42$ et $w=0,13$ respectivement), principalement celle de consommation de fourrages conservés vu la plus forte corrélation pour PRODFOUR. Les variations de quantité d'aliments achetés par rapport à la moyenne septennale (ACHATS) sont également positivement liées avec ALIM, via principalement les fourrages vu la constitution de la variable ACHATS. Il n'y a pas de lien significatif entre PRODFOUR et ACHATS, la variation de quantité de fourrages produits n'impacte pas significativement celle des achats d'aliments. PRODFOUR, PRODCONC et la stratégie d'alimentation des animaux (ALIM) n'ont pas de lien significatif avec la variation par rapport à la moyenne septennale de la valeur-ajoutée (RES). ACHATS impacte négativement RES ($w=-0,19$). La variable latente la plus fortement liée à RES est PRODTROUP ($w=0,42$). Ce modèle n'explique que très partiellement la variation de valeur-ajoutée face aux variations des conditions climatiques, de production, d'achat et de consommation d'aliments et de production du troupeau puisque que le coefficient de détermination (r^2) de RES n'est que de 0,22.

3.4. Typologies des stratégies d'adaptation et de la construction de la résilience

Les deux premiers axes de l'ACP expliquent 41,0% de la variabilité de notre échantillon (Figure 3). Sur le premier axe (23,2% de la variabilité totale) se trouvent positivement corrélé ALIM ($r=0,76$), PRODFOUR ($r=0,51$) et ACHATS ($r=0,51$) et négativement corrélé CLIMPRAIR ($r=-0,68$). Cet axe exprime donc l'opposition entre bonnes conditions climatiques pour les prairies et la production, l'achat et la consommation de fourrages. Le deuxième axe (17,8% de la variabilité totale) exprime positivement la productivité du troupeau (PRODTROUP, $r=0,68$) et la résilience (RES, $r=0,71$).

Figure 3. Représentation des variables latente dans le plan factoriel constitué par les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales (ACP)



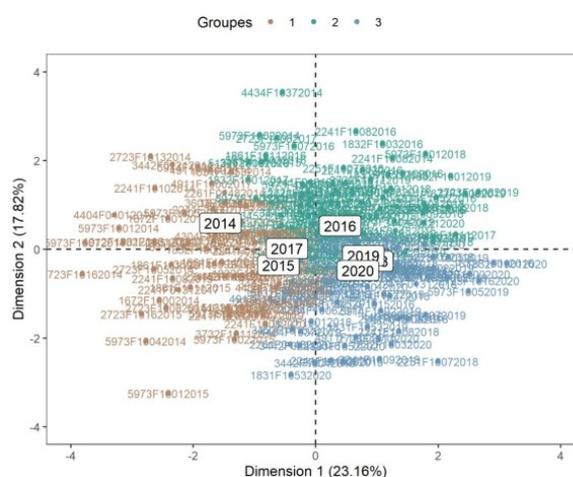
La classification des exploitations-années selon les deux premières dimensions de l'ACP met en évidence trois groupes (Figure 4). Le premier groupe compte 72 exploitations-années, le deuxième 95 exploitations-années et le troisième groupe est composé de 77 exploitations-années. Il n'y a pas d'effet significatif du type de production dans la constitution des classes puisque chaque type de production (BL, BV, OL ou OV) se distribue équitablement dans

chacun des groupes (entre 25% à 40% de l'ensemble des exploitations-années de chaque type de production dans chacun des trois groupes). Les variables latentes les plus caractéristiques de chacun des groupes, identifiées par leur valeur-test (Tableau 4) sont ALIM, PRODFOUR et CLIMPRAIR pour le groupe 1, RES, PRODTROUP, PRODFOUR, ALIM et CLIMPRAIR pour le groupe 2, RES, PRODTROUP et ACHAT pour le groupe 3. La variable qualitative « année » discrimine les classes (Tableau 3) ; les exploitations-années de 2014 et 2015 se trouvent en plus forte proportion dans le groupe 1 avec sous-représentation des exploitations-année 2016, 2018 et 2020, les exploitations-année de 2016 dans le groupe 2 avec une sous-représentation de 2014, et les exploitations-années de 2020 dans le groupe 3 avec une sous-représentation de 2014 et 2015. Les exploitations-année 2017 et 2019 se répartissent de façon indifférenciée dans les trois groupes.

Tableau 3. Valeurs-test des variables latentes et qualitatives années pour chacun des trois groupes issus de la classification ascendante hiérarchique (CAH)

Variabes latentes et qualitatives (années)	Groupe 1	Groupe 2	Groupe 3
CLIMPRAIR	7,93	-4,74	-2,81
CLIMMAISCE	-2,82	0,16	2,60
PRODFOUR	-8,31	5,78	2,10
ACHATS	-4,90	-0,39	5,22
ALIM	-9,26	4,97	3,87
PRODTROUP	-2,18	8,65	-6,93
RES	3,80	6,12	-10,2
Année 2014	4,98	-2,24	-2,99
Année 2015	3,15	-1,10	-2,12
Année 2016	-2,73	2,52	-0,12
Année 2018	-3,71	1,44	1,74
Année 2020	-2,41	-0,35	2,53

Figure 4. Représentation des groupes d'exploitations-années et projection des variables qualitatives années dans le plan factoriel constitué par les deux premiers axes de l'analyse en composantes principales (ACP)



Par rapport aux moyennes septennales de chacune des variables, les exploitations-années du groupe 1 se caractérisent par une moindre production et consommation de fourrages ainsi que de moindre achats que les deux autres groupes, en lien avec de bonnes conditions climatiques

pour la pousse et l'exploitation de l'herbe au pâturage (année 2014). Les écarts de productivité du troupeau de ce groupe sont plus faibles que ceux du groupe 2. La valeur-ajoutée des exploitations du groupe 1 est légèrement supérieure à leur moyenne septennale respective.

Le groupe 2 rassemble des exploitations-année qui privilégient l'augmentation de la production en n'hésitant pas à augmenter les achats d'aliments et la réalisation de stocks fourragers pour pallier des conditions climatiques défavorables pour l'exploitation de l'herbe (année 2016). Malgré les achats, la stratégie d'augmenter la production se traduit par une augmentation de la valeur-ajoutée relativement aux moyennes septennales respectives des exploitations.

Les exploitations-année du groupe 3 sont celles qui ont eu la plus grosse dégradation de leur valeur-ajoutée relativement à leur moyenne septennale respective. Ceci est la résultante d'une forte dégradation des productions animales couplée à une augmentation des achats d'aliments et de consommation de fourrages conservés. Ces exploitations semblent avoir souffert d'une sécheresse estivale avec un faible état hydrique des prairies en fin d'été (Tableau 2) et un risque d'échaudage élevé caractéristique de l'année 2020.

4. Discussion

4.1. Une méthode originale d'évaluation de la résilience

La résilience est un concept dont l'évaluation, la mesure, peut reposer sur une perception subjective ou sur une quantification objective (Jones et d'Enrico, 2019). Différents travaux se sont intéressés à la perception des éleveurs, à leur satisfaction dans leur activité via des entretiens semis-directifs (Perrin et al., 2020). Bien qu'il soit très difficile de réaliser une mesure absolue de la résilience, une tentative de quantification va nécessiter la définition d'indicateurs (Carpenter et al., 2001), ainsi que des données, du temps et de l'expertise (Allen et al., 2018). L'appariement de données technico-économiques d'exploitations d'élevage et de données météorologiques est une originalité de cette étude qui permet d'objectiver l'exposition de chaque ferme aux risques climatiques et d'analyser les impacts. Si les données météorologiques et technico-économiques sont objectives car issues d'observations et de mesures de Météo France et des réseaux d'élevage respectivement, l'indicateur de résilience est toujours sujet à discussions. L'indicateur valeur-ajoutée est un indicateur économique, donc sensible aux variations de prix d'une année à l'autre, son évolution peut alors être indépendante d'aléas climatiques, sauf si cet aléa influe directement sur les prix des produits ou consommations intermédiaires (par exemple une augmentation du prix des fourrages en cas de sécheresse). Pour s'affranchir de l'effet-prix et étudier uniquement les impacts et adaptations biotechniques, les déterminants de la valeur-ajoutée et son évolution peuvent aisément être décomposer effet-prix et effet-volume et ainsi évaluer la résilience via l'évolution de la productivité des facteurs (Veysset et al., 2015).

L'approche mobilisée, modélisation par équations structurelles, révèle un pouvoir prédictif et explicatif significatif mais relativement faible. Ceci est inhérent à toute démarche de modélisation de systèmes complexes tels que les systèmes de production agricoles intégrant différentes échelles (surfaces, troupeau, exploitation), composantes biotechniques et environnement socio-économiques (Jones et al., 2016). Cependant, ce type de modèle permet de simplifier la réalité tout en restant lisible et fournissant des résultats facilement interprétables. La construction de tels modèles, ainsi que l'interprétation des résultats reposent

sur un haut niveau d'expertise et sur des collaborations interdisciplinaires (Kipling et al., 2016).

4.2. Maitrise de la productivité animale et gestion du système fourrager

Le pâturage est au cœur du fonctionnement des systèmes fourragers des élevages étudiés et de l'alimentation des animaux. La maximisation du pâturage semble être un objectif pour les éleveurs, Perrin et al. (2020) ont montré que l'augmentation de la durée de pâturage des animaux augmentait le niveau de satisfaction des éleveurs des bovins laitiers bio. Cette priorité au pâturage se fait au détriment de la récolte de fourrages et donc de la constitution de stock fourragers. Un bon état hydrique des prairies en fin d'été et automne permet un allongement de la durée de pâturage, et limite donc les besoins en fourrages conservés en diminuant la durée d'hivernage des animaux. Lorsque les conditions climatiques sont défavorables au pâturage (fin d'été et automne secs), la principale adaptation des éleveurs face à l'allongement de la période nécessitant d'alimenter les animaux avec des fourrages conservés est l'achat de fourrages, le niveau d'achat et de consommation de concentrés restant stable d'une année à l'autre contrairement à ce qui est observé en élevages conventionnels (Mosnier et al., 2010 ; Veysset et al., 2015).

Le fait que, dans la typologie réalisée à partir de notre échantillon, les années soient discriminantes montre que sur le pas de temps étudié (sept ans) il n'y a pas d'adaptation structurelle, mais des adaptations ponctuelles selon les conditions de l'année. Ce manque d'anticipation de mauvaises années climatiques par réalisation de stocks fourragers de sécurité les bonnes années, pénalise l'autonomie fourragère des exploitations qui est pourtant un facteur réduisant la vulnérabilité des exploitations laitières bio face aux aléas climatiques (Bouttes et al., 2018). Cette recherche d'autonomie peut également rendre les fermes plus résilientes en améliorant leur efficacité économique (Lebacqz et al., 2015 ; Soteriades et al., 2016). Cependant, la recherche d'autonomie fourragère pour limiter les achats d'aliments et sécuriser la production peut entraîner des coûts, notamment une augmentation conséquente des coûts de mécanisation (entretien du matériel, fuel), ce qui pénalise la compétitivité des exploitations françaises face aux exploitations allemandes ou danoises qui délèguent plus la fabrication d'aliments du bétail (Chatellier et al., 2020)

Il apparaît que lors de mauvaises années climatiques pour une exploitation optimale de l'herbe, les éleveurs qui ont fait le choix d'acheter des fourrages en complément de leurs propres stocks pour améliorer la production de leurs animaux, ont amélioré la valeur-ajoutée de leur exploitation. Ceci montre le rôle positif majeur du maintien voire de l'amélioration de la production du troupeau dans la résilience des exploitations. Il y a donc des compromis à trouver entre la production du troupeau, le niveau d'autonomie fourragère et l'achat d'aliments (Veysset et al., 2023). Si la fréquence des mauvaises années climatiques pour l'herbe augmente, la stratégie d'achat de fourrages et autres aliments pour maintenir la production ne sera certainement pas durable financièrement pour les éleveurs, d'autant que le prix des aliments du bétail certifiés bio peut devenir un obstacle face à la demande du marché (Escribano, 2018). Les exploitations de l'échantillon étudié sont spécialisées et surtout sont très herbagères avec très peu de cultures fourragères et/ou de vente (18% de la SAU en moyenne), ce qui explique le faible impact des variations de conditions climatiques sur les cultures. Cette spécialisation herbagère peut être un élément de vulnérabilité, des réflexions structurelles avec la diversification de l'assolement pour diversifier les ressources alimentaires pour les animaux pourrait améliorer la résilience de ces exploitations face aux aléas climatique (Martin et Magne 2015).

5. Conclusion

La constitution de bases de données structurelles, techniques, économiques et météorologiques sur le moyen ou long terme permet d'analyser et d'objectiver l'exposition d'exploitations agricoles d'élevages aux aléas climatiques, l'impact de ces aléas sur les systèmes de production et les adaptations mises en place par les éleveurs. Les 36 exploitations d'élevage de ruminants certifiées agriculture biologique suivies durant sept ans (2014-2020) dans le Massif central priorisent le pâturage pour l'alimentation de leurs animaux au détriment de la constitution de stocks fourragers de sécurité. Lors des mauvaises années climatiques pour les prairies, et notamment lors de fins d'étés et d'automne secs limitant la durée de pâturage, le principal levier d'adaptation des éleveurs est l'achat de fourrages. Les aléas climatiques subis au cours de ces sept années n'ont pas entraîné d'adaptation structurelle des exploitations. Cependant, à court terme, les achats d'aliments pour le bétail peuvent s'avérer judicieux pour la résilience des exploitations s'ils permettent de maintenir voire d'augmenter les productions animales qui restent déterminantes. Cette résilience est évaluée par un solde intermédiaire de gestion, la valeur-ajoutée brute dont la variation entre deux années traduit des variations de pratiques (volume et prix des produits et des consommations intermédiaires) indépendamment des stratégies d'investissement et de travail et des subventions perçues sur le long terme. Le modèle utilisé (PLS) pour l'analyse des déterminants de la valeur-ajouté permet de mettre en évidence des logiques, des tendances, mais surtout des compromis entre pratiques qu'il convient d'expertiser. Les aléas climatiques ne sont pas les seuls aléas auxquels sont confrontés les exploitations d'élevages bio ; pour la première fois depuis plus de 15 ans la consommation de produits bio a baissé en France en 2022, entraînant une chute des prix à la production alors que le prix des animaux et produits animaux conventionnels ont fortement augmentés. La résilience, la durabilité des exploitations d'élevage bio en zones géographiques contraintes nécessite des études sur la gestion des compromis notamment entre les volumes de productions, les pratiques agricoles et les achats. Quel que soit le modèle ou la méthode utilisées pour ces études des systèmes complexes, il est nécessaire de disposer de données fiables sur le long terme et de travailler en interdisciplinarité sans oublier le rôle essentiel de l'expertise.

Tableau 2. Valeur annuelle moyenne (écart-type) de 2014 à 2020 et moyenne (écart-type) sur sept ans des variables agro-climatiques et technico-économiques utilisées pour notre étude des 36 ou 28 exploitations BioRéférences

Libellé variables manifestes (<i>unité</i>)	2014 (n=36)	2015 (n=36)	2016 (n=36)	2017 (n=36)	2018 (n=36)	2019 (n=36)	2020 (n=28)	Moyenne 7 ans (n=244)
Nb jours favorables à la récolte de foin (<i>jours</i>)	6,1 (3,1)	9,1 (3,9)	2,1 (2,9)	6,2 (3,6)	2,4 (3,6)	3,8 (2,2)	7,4 (3,2)	5,2 (4,0)
Nb jours favorables à la récolte en enrubannage (<i>jours</i>)	4,0 (2,7)	3,8 (2,9)	2,9 (2,3)	5,0 (4,5)	3,1 (2,6)	2,3 (1,9)	3,3 (3,2)	3,5 (3,1)
Etat hydrique estival après la récolte de foin (<i>pluviométrie/ETP</i>)	0,86 (0,16)	0,53 (0,13)	0,36 (0,11)	0,51 (0,21)	0,32 (0,09)	0,44 (0,21)	0,39 (0,12)	0,49 (0,23)
Risque de gel au stade épis 1 cm (<i>jours</i>)	1,1 (1,9)	1,8 (2,4)	1,7 (1,9)	0,5 (0,8)	6,3 (2,3)	1,9 (3,5)	1,1 (1,8)	2,1 (2,9)
Risque d'échaudage thermique (<i>jours</i>)	2,4 (2,6)	16,8 (7,8)	8,8 (7,4)	11,4 (8,8)	10,8 (9,5)	14,6 (7,6)	15,6 (7,6)	11,3 (8,8)
Quantité de fourrages produits (<i>tMS/UGB</i>)	2,85 (1,07)	2,46 (0,91)	3,02 (1,10)	2,63 (0,91)	2,92 (0,97)	2,68 (0,95)	2,76 (0,73)	2,76 (0,97)
Rendement récolte d'herbe 1 ^e coupe (<i>tMS/ha</i>)	3,3 (1,1)	3,1 (0,9)	3,8 (0,9)	3,2 (0,7)	3,3 (0,7)	3,0 (0,8)	3,1 (0,7)	3,3 (0,9)
Part de maïs ensilage dans les fourrages récoltés (<i>% de la MS</i>)	3,6 (8,9)	4,4 (9,3)	3,8 (9,1)	4,1 (8,9)	3,3 (7,8)	5,2 (10,8)	7,3 (10,4)	4,4 (9,3)
Quantité de concentrés produits (<i>tMS/UGB</i>)	0,412 (0,288)	0,429 (0,262)	0,437 (0,269)	0,406 (0,262)	0,442 (0,285)	0,479 (0,285)	0,428 (0,289)	0,432 (0,274)
Rendement cultures annuelles (<i>q/ha</i>)	31,7 (10,9)	31,7 (9,9)	31,3 (8,4)	31,2 (9,4)	29,5 (9,6)	32,3 (9,7)	30,0 (11,4)	31,1 (9,7)
Quantité de fourrages achetés (<i>tMS/UGB</i>)	0,559 (0,550)	0,568 (0,500)	0,883 (1,236)	0,679 (0,602)	0,778 (0,581)	0,906 (0,743)	0,730 (0,663)	0,729 (0,739)
Quantité de concentrés achetés (<i>tMS/UGB</i>)	0,260 (0,228)	0,307 (0,254)	0,292 (0,225)	0,298 (0,256)	0,272 (0,227)	0,320 (0,262)	0,270 (0,201)	0,289 (0,236)
Quantité de fourrages consommées (<i>tMS/UGB</i>)	2,76 (0,92)	2,73 (0,87)	3,02 (1,27)	2,84 (0,88)	3,03 (0,87)	2,96 (0,83)	2,90 (0,88)	2,89 (0,94)
Quantité de concentrés consommées (<i>tMS/UGB</i>)	0,595 (0,308)	0,664 (0,341)	0,674 (0,330)	0,646 (0,367)	0,661 (0,370)	0,686 (0,378)	0,639 (0,348)	0,652 (0,343)
Quantité d'herbe pâturée consommée (<i>tMS/UGB</i>)	2,02 (0,94)	2,04 (0,89)	1,85 (0,92)	1,92 (0,90)	1,75 (0,83)	1,81 (0,81)	1,87 (0,83)	1,90 (0,87)
Productivité animale (<i>lait/vache ou brebis, kg viande vive/UGB</i>)	100 (0)	103 (17)	101 (17)	101 (21)	100 (20)	104 (27)	103 (19)	102 (19)
Taille du troupeau (<i>UGB</i>)	86 (40)	89 (43)	91 (45)	93 (47)	93 (48)	93 (48)	91 (42)	91 (44)
Valeur ajoutée brute (<i>euros/ha SAU</i>)	655 (400)	651 (372)	664 (424)	628 (491)	569 (447)	578 (441)	454 (404)	605 (427)
Chargement moyen annuel (<i>UGB/ha SFP</i>)	1,01 (0,23)	1,04 (0,24)	1,01 (0,21)	1,02 (0,22)	1,01 (0,24)	1,00 (0,24)	0,94 (0,22)	1,01 (0,23)
Produit brut animal (<i>€/ha SAU</i>)	1525 (756)	1550 (736)	1575 (794)	1562 (819)	1509 (807)	1500 (819)	1393 (755)	1520 (777)
Consommations intermédiaires (<i>€/ha SAU</i>)	1008 (344)	1032 (353)	1063 (361)	1072 (393)	1086 (371)	1097 (389)	1120 (430)	1067 (373)

Bibliographie

- Allen CR, Birge HE, Angeler DG, Arnold CA, Chaffin BC, DeCaro DA, Garmestani AS, Gunderson L (2018) Quantifying uncertainty and trade-offs in resilience assessments. *Ecology & Society* 23:1 art3. <https://doi.org/10.5751/ES-09920-230103>
- Bouttes M, San Cristobal M, Martin G (2018) Vulnerability to climatic and economic variability is mainly driven by farmers' practices on French organic dairy farms. *European Journal of Agronomy* 94:89-97. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.01.013>
- Carpenter S, Walker B, Anderies JM, Abel N (2001) From Metaphor to Measurement: Resilience of What to What? *Ecosystems* 4:765-81. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0045-9>
- Caubel J, Garcia de Cortazar-Atauri I, Launay M, De Noblet-Ducoudré N, Huard F, Bertuzzi P, Graux AI (2015) Broadening the scope for ecoclimatic indicators to assess crop climate suitability according to ecophysiological, technical and quality criteria. *Agricultural and Forest Meteorology* 207:94-106. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.02.005>
- Charroin T, Palazon R, Madeline Y, Guillaumin A, Tchakerian E (2014) 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*, 2005:335-338.
- Chambre d'Agriculture Occitanie (2019) Rapport étude CLIMAGRI Occitanie. Chambre Régionale d'Agriculture Occitanie, 72p.
- Chatellier V, Perrot C, Beguin E, Moraine M, Veysset P (2020) Competitiveness and production jobs in the French bovine sectors. *INRAE Prod Anim* 33:261-282. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2020.33.4.4609>
- Dardonville M, Bockstaller C, Therond O (2021) Review of Quantitative Evaluations of the Resilience, Vulnerability, Robustness and Adaptive Capacity of Temperate Agricultural Systems. *Journal of Cleaner Production* 286:125456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125456>
- Dedieu B, Ingrand S (2010) Incertitude et adaptation : cadres théoriques et application à l'analyse de la dynamique des systèmes d'élevage. *INRA Productions Animales* 23:81-90.
- Escribano AJ (2018) Organic Feed: A Bottleneck for the Development of the Livestock Sector and Its Transition to Sustainability? *Sustainability* 10:2393. <https://doi.org/10.3390/su10072393>
- Gallopín GC (2006) Linkages between Vulnerability, Resilience, and Adaptive Capacity. *Global Environmental Change* 16:293-303. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>
- Hair JF, Hult GTM, Ringle CM, Sarstedt M, Danks NP, Ray S (2021) Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) Using R: A Workbook, Classroom Companion: Business. Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-80519-7>
- Holling C S 2(001) Understanding the Complexity of Economic, Ecological, and Social Systems. *Ecosystems* 4:390-405. <https://doi.org/10.1007/s10021-001-0101-5>
- Institut de l'Élevage, Chambres d'Agriculture (2014) Inosys-Réseaux d'Élevage 2014-2020. Une plateforme collective pour la connaissance et l'innovation dans les systèmes d'élevage d'herbivores. Idele Paris 12p

- Jacquet F, Pluvinage J (1997) Climatic uncertainty and farm policy: A discrete stochastic programming model for cereal-livestock farms in Algeria *Agricultural Systems*, 53:387-407. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(95\)00076-H](https://doi.org/10.1016/0308-521X(95)00076-H)
- Joly F, Sabatier R, Tatin L, Mosnier C, Ahearn A, Benoit M, Hubert B, Deffuant G (2022) Adaptive decision-making on stocking rates improves the resilience of a livestock system exposed to climate shocks. *Ecological Modelling* 464:09799. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109799>
- Jones JW, Antle JM, Basso B, Boote KJ, Conant RT, Foster I, Godfray HCJ, Herrero M, Howitt RE, Janssen S, Keating BA, Munoz-Carpena R, Porter CH, Rosenzweig C, Wheeler TR (2017) Brief history of agricultural systems modelling. *Agricultural Systems* 155:240-254. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.014>
- Jones L, d'Errico M (2019) Whose resilience matters? Like-for-like comparison of objective and subjective evaluations of resilience. *World Development* 124:104632. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104632>
- Kipling RP, Bannink A, Bellocchi G, Dalgaard T, Fox NJ, Hutchings NJ, Kjeldsen C, Lacetera N, Sinabell F, Topp CFE, van Oijen M, Virkajärvi P, Scollan ND (2016) Modeling European ruminant production systems: Facing the challenges of climate change. *Agricultural Systems* 147:24-37. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.007>
- Laroche-Dupraz C, Ridier A (2021) Le revenu agricole : une multiplicité d'enjeux, de définitions et d'usages. *Economie Rurale* 378 :19-36. <https://doi.org/10.4000/economierurale.9342>
- Lebacqz T, Baret PV, Stilmant D (2015) Role of input self-sufficiency in the economic and environmental sustainability of specialised dairy farms. *Animal* 9 :544-552. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002845>
- Martin G, Magne MA, San Cristobal M (2017) An integrated method to analyze farm vulnerability to climatic and economic variability according to farm configurations and farmers' adaptations. *Frontiers in Plant Science* 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01483>
- Meuwissen MPM, Feindt PH, Spiegel A, Termeer CJAM, 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.agsy.2019.102656>
- Mora O, Le Mouél C, de Lattre-Gasquet M, Donnars D, Dumas P, Réchauchère O, Brunelle T, Manceron S, Marajo-Petitzon E, Moreau C, Barzman M, Forsslund A, Marty P (2020) Exploring the future of land use and food security: A new set of global scenarios. *PLoS ONE* 15(7):e0235597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235597>
- 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* 23:91-102. <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
- Perrin A, San Cristobal M, Milestad R, Martin G (2020) Identification of resilience factors of organic dairy cattle farms. *Agricultural Systems* 183:102875. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102875>

Pôle Bio Massif Central (2023) Résultats du projet BioRéférences. <https://pole-bio-massif-central.org/nos-projetsde-recherche-et-developpement-en-cours/bioreferences/resultats-du-projet-bioreferences/> Consulté le 15 septembre 2023

Poux X, Aubert PA (2018) Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine. Enseignements d'une modélisation du système alimentaire européen Iddri-AScA, Study N°09/18, Paris, France, 78p.

Qian B, Zhang X, Chen K, Feng Y, O'Brien T (2010) Observed Long-Term Trends for Agroclimatic Conditions in Canada. *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 49:604-618. <https://doi.org/10.1175/2009JAMC2275.1>

Rodriguez D, deVoil P, Power B, Cox H, Crimp S, Meinke H (2011) The intrinsic plasticity of farm businesses and their resilience to change. An Australian example. *Field Crops Research* 124:157-170. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.02.012>

Sauvant D, 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* 23:5-10. <https://doi.org/10.20870/productions-animales.2010.23.1.3280>

SIDAM, Copamac (2023) AP3C. Adaptations des pratiques culturelles au changement climatique <https://www.sidam-massifcentral.fr/developpement/ap3c/> Consulté le 15 septembre 2023

Solagro (2016) Afterres2050. Le scénario Afterres2050 version 2016, Solagro, Toulouse, 96p.

Soteriades AD, Stott AW, Moreau S, Charroin T, Blanchard M, Liu J, et al (2016) The Relationship of Dairy Farm Eco-Efficiency with Intensification and Self-Sufficiency. Evidence from the French Dairy Sector Using Life Cycle Analysis, Data Envelopment Analysis and Partial Least Squares Structural Equation Modelling. *PLoS ONE* 11(11):e0166445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166445>

Tittonell P (2020) Assessing Resilience and Adaptability in Agroecological Transitions. *Agricultural Systems* 184: 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* 36:15. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0347-5>

Veysset P, Bébin D, Lherm M (2007) Impacts de la sécheresse de 2003 sur les résultats technico-économiques en élevage bovin allaitant Charolais. *Fourrages* 191:311-322

Veysset P, Lherm M, Roulenc M, Troquier C, Bébin D (2015) Productivity and technical efficiency of suckler beef production systems: trends for the period 1990 to 2012. *Animal* 9:2050-2059. <https://doi.org/10.1017/S1751731115002013>

Veysset P, Kouakou E, Minviel JJ (2023) Productivity gains, evolution of productive performances, and profitability of organic ruminant farms: farm size and feed self-sufficiency matter. *Organic Agriculture* 13:205–220. <https://doi.org/10.1007/s13165-023-00422-9>

Walker B, Holling CS, Carpenter S, Kinzig A (2004) Resilience, Adaptability and Transformability in Social-Ecological Systems. *Ecology and Society* 9:2. <https://doi.org/10.5751/ES-00650-090205>

Remerciements

Les auteurs remercient les éleveurs ayant fourni gracieusement les données de leur ferme, ainsi que les ingénieurs et techniciens des 20 structures de recherche, développement, enseignement partenaires du projet BioRéférences. 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. Les auteurs remercient également le climatologue de la Chambre d'Agriculture de la Creuse pour son appui méthodologique, ainsi que le SIDAM porteur du projet AP3C.

Annexe I

Indicateurs agroclimatiques proposés par le projet AP3C (Adaptation des Pratiques Culturelles au Changement Climatique)

<i>Relatif à</i>	<i>Variable</i>	<i>Unité</i>	<i>Définition</i>
<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 dérobées de printemps
	De02	°C	Faisabilité thermique des dérobées d'été