Ecole Supérieure d'Agricultures d'Angers
55 rue Rabelais
49007 ANGERS

FiBL France
Pôle Bio – Ecosite du Val de Drôme
150 Avenue du Judée – 26400 EURRE
martin.trouillard@fibl.org

LE PÂTURAGE OVIN : UNE STRATEGIE DE GESTION DE L'ENHERBEMENT EN ARBORICULTURE FRUITIÈRE

EVALUATION DE MOYENS DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS

RIVOIRE Clémence
Elève Ingénieure ESA

Mémoire de Fin d'Etudes
Promotion 2016
Date : 01/10/2021

Encadrement de stage (FiBL France) :
TROUILLARD Martin

Tutorat de stage (ESA) :
BRAJON Sophie et FAVRELIERE Elise

REMERCIEMENTS

Je souhaite tout d'abord remercier Martin Trouillard pour m'avoir donné l'opportunité de travailler sur la thématique aussi intéressante que complexe de la réintégration de l'élevage dans les cultures pérennes. Merci de m'avoir fait confiance et donné autant de responsabilité et d'autonomie. J'ai beaucoup appris et ressors de cette expérience avec la certitude de vouloir poursuivre dans le monde de la recherche agronomique !

Je souhaite aussi chaleureusement remercier mes co-encadrantes, Elise et Sophie, très présentes, toujours disponibles et de précieux conseils pour mener à bien cette mission de stage de fin d'études. Merci pour vos relectures et le temps que vous m'avez consacré. Merci Sophie de m'avoir partagé ton expertise sur l'éthologie, une discipline bien complexe mais passionnante !

Je souhaite ensuite remercier les partenaires du projet avec lesquels j'ai vraiment apprécié travailler et qui ont fait de ce stage de fin d'études une réelle expérience humaine :

L'équipe du lycée agricole du Valentin, Mathilde, Magalie, Fred, Raphaëlle, Fabienne et notamment Guillaume, toujours disponible, à l'écoute, les pieds sur terre, tu gères cette exploitation d'une main de maître ! Sans vous, le terrain aurait été bien amer, merci pour ces moments conviviaux passés ensemble et l'aide inestimable que vous avez pu fournir durant notre premier essai !

Pierre, merci beaucoup pour ton appui sur le terrain et ton soutien, tu as toujours été disponible pour m'accompagner dans mon travail et je t'en suis très reconnaissante.

Camille, merci également pour tes précieux conseils, ton appui méthodologique et tes encouragements qui m'ont chaleureusement accompagné durant ces six mois.

Je souhaite aussi remercier Véronique Deiss et Cécile Ginane de l'UMR Herbivore pour leur appui méthodologique et le partage de leur expertise sur le comportement des ovins.

Merci également à Aurore Prieur et Nathalie Cassagne pour leur appui respectif sur l'alimentation des ovins et l'identification floristique.

J'aimerais également remercier l'intégralité de l'équipe du FiBL pour la bonne ambiance quotidienne et leur soutien au cours de ce stage : Tanguy, pour ton courage et ta ténacité sur le terrain, Elina pour ta bienveillance et ton écoute, Laurene pour ton énergie, Michel pour ton humour et tes précieux conseils, Félix pour ton appui méthodologique et Florence pour tes encouragements. Je souhaite également remercier Sanne et Axelle avec qui j'ai apprécié vivre ce dernier chapitre étudiant, cultiver la terre et partager les moments du quotidien à notre très chère colombe bleu.

J'aimerais enfin remercier mes amis, Pauline, Antoine, Tarek, Valia et notamment mes deux compères angevins. Thibault, on vient du même pays et on a les mêmes étoiles dans les yeux, merci d'avoir été présent ces dernières années, de m'avoir apporté joie de vivre, fous rires et bonheur au quotidien. Agathe, je ne te remercierais également jamais assez pour tous ces rayons de soleils envoyés de Guyane et d'ailleurs. Ta présence quotidienne a été une force. Merci pour tes précieuses relectures et conseils. On ne lâche rien !

Je remercie également Ambroise, pour m'avoir épaulé durant cette expérience et pour avoir pris soin de moi durant ces six mois. Merci pour tous ces petits bonheurs du quotidien, tes encouragements, tes relectures tardives et m'avoir sauvé du gouffre de la statistique.

J'aimerai enfin remercier ma famille et notamment mes parents qui m'ont accompagné dans tous mes projets et qui m'ont permis d'être là où j'en suis aujourd'hui. Merci.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....
SOMMAIRE .....
SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....
TABLE DES FIGURES .....
TABLE DES TABLEAUX.....
TABLE DES ANNEXES .....
NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE.....

INTRODUCTION 1

I. CONTEXTE DE L'ETUDE 2

a) Des filières arboricoles et ovines en crise : vers un besoin de reconception des systèmes de production 2

i. LES ENJEUX DE LA FILIERE ARBORICOLE 2

ii. LES ENJEUX DE LA FILIERE OVINE 2

iii. DES COMPLÉMENTARITES ENTRE LES DEUX FILIERES ? 3

b) La Drôme, un territoire d'élevage et bassin arboricole propice au développement des pratiques d'intégration culture-élevage 4

i. UN DÉPARTEMENT GEOGRAPHIQUEMENT ET CLIMATIQUEMENT CONTRASTÉ A L'AGRICULTURE DIVERSIFIÉE..... 4

ii. UNE REFERENCE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE..... 7

iii. UN PROJET POUR LEVER LES FREINS A LA PRATIQUE DU PÂTURAGE OVIN SOUS VERGERS..... 8

II. ÉTAT DE L'ART : LE PÂTURAGE OVIN SOUS VERGERS 9

a) Une pratique d'intégration culture-élevage ancestrale 9

b) Un équilibre instable entre bénéfices et contraintes 11

i. LES BÉNÉFICES 11

ii. LES CONTRAINTES..... 13

c) Des dégâts plus ou moins impactants pour l'arboriculteur..... 15

i. L'ÉCORCAGE AU CŒUR DES PRÉOCCUPATIONS..... 15

ii. L'ABROUTISSEMENT CONSIDERÉ COMME SECONDAIRE..... 16

d) Une diversité de déterminants potentiellement responsables du développement de comportements à risques chez les ovins pâturant sous vergers 17

i. LES DÉTERMINANTS ZOOTECHNIQUES 18
ii. LES DÉTERMINANTS ALIMENTAIRES : QUANTITÉ, QUALITÉ ET APPÉTENCE 20
iii. LES DÉTERMINANTS AGRONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX . 23
e) Des dispositifs de protection pour limiter les risques liés à la pratique 24
i. DISPOSITIFS DE PROTECTION PHYSIQUES 24
ii. DISPOSITIFS DE PROTECTION RÉPULSIFS 25
III. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHÈSES 27
IV. MATERIELS ET MÉTHODES 28
a) Sites d'études et dispositifs expérimentaux « ECORCE 2021 » ... 29
i. ESSAI 1 : PÂTURAGE PRINTANIER SOUS LES POMMIERS 29
ii. ESSAIS 2 ET 3 : PÂTURAGE ESTIVAL SOUS LES POMMIERS 32
b) Variables d'étude 36
i. CARACTÉRISATION DES DÉGÂTS SUR FRUITIERS 36
ii. ÉVALUATION COMPORTEMENTALE DES BREBIS 38
iii. CARACTÉRISATION DU POTENTIEL FOURRAGER 41
c) Traitement de données 42
i. CARACTÉRISATION DES DÉGÂTS SUR FRUITIERS 42
ii. ÉVALUATION COMPORTEMENTALE DES BREBIS 44
iii. CARACTÉRISATION DU POTENTIEL FOURRAGER 45
V. RÉSULTATS 46
a) Essai 1 - pâturage printanier sous les pommiers 46
b) Essai 2 et 3 – pâturage estival sous les pommiers 52
i. ESSAI 2 : ÉVALUATION DE DISPOSITIFS DE PROTECTION DU TRONC 52
ii. ESSAI 3 : ÉVALUATION DE DISPOSITIFS DE PROTECTION DU FEUILLAGE 56
iii. ESSAI 2 ET ESSAI 3 COMPARÉS DEUX A DEUX 58
VI. DISCUSSION 60
a) Essai 1 – pâturage printanier sous les pommiers 60
b) Essai 2 et 3 – pâturage estival sous les pommiers 65
VII. LIMITES ET PERSPECTIVES 70
a) Limites méthodologiques et pistes d'améliorations 70
i. CARACTÉRISATION DES DÉGATS SUR FRUITIERS 70

ii. ÉVALUATION COMPORTEMENTALE 70
iii. CARACTÉRISATION DU POTENTIEL FOURRAGER 72
iv. CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES 73
b) Choix des dispositifs de protection 73
i. DISPOSITIF DE PROTECTION ELECTRIQUE 74
ii. BADIGEONS, PULVÉRISATIONS RÉPULSIVES ET ABRASIVES..... 75
iii. DEMARCHE DE CO-CONCEPTION DES DISPOSITIFS DE PROTECTION TESTÉS 76
c) Perspectives de recherche 78
CONCLUSION 78
BIBLIOGRAPHIE .....
ANNEXES.....

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

AIC : Critère d'Information d'Akaike
A.D.L : Lignine sulfurique
A.D.F : Fibre au détergence acide
AP : Après pâturage
AR : Abondance relative
AV : Avant pâturage
BF : Distance par rapport au sol de la plus basse feuille
CB : Cellulose Brute
CCVD : Communauté de Communes du Val de Drôme
CFPPA : Centre de Formation Professionnelle et de Promotion Agricole
C.O.V : Certificat d'Obtention Végétal
DMO : Digestibilité de la Matière Organique
EPLEFPA : Etablissements Publics Locaux d'Enseignement et de Formation Professionnelle Agricoles
ETP : Equivalent Temps Plein
FIBL : Forschungsinstitut für biologischen Landbau = L'institut de Recherche en Agriculture Biologique
FR : Fréquence Relative
GAEC : Groupement Agricole d'Exploitation en Commun
GLMM : Generalized Linear Mixed Model = Modèle Linéaire Généralisé Mixte
GMQ : Gain Moyen Quotidien
HD : Distance par rapport au sol du plus haut dégât
INRAE : Institut National de la Recherche Agronomique et de l'Environnement
LiCL : Chlorure de Lithium
MAT : Matière Azotée Totale
MB : Matière Brute
MO : Matière organique
MM : Matière Minérale
MS : Matière Sèche
MSI : Matière Sèche Ingérée
N.D.F : Fibre au détergent neutre
PDI : Protéines Digestibles dans l'Intestin Grêle
PDIA : Protéines Digestibles d'origine Alimentaire
PDIE : Protéines Digestibles dans l'intestin permises par l'Energie
PDIM : Protéines Digestibles d'origine Microbienne
PDIN : Protéines Digestibles dans l'intestin permises par l'azote
PG : Porte-Greffe
PV : Poids Vif
TAO : Théorie de l'Alimentation Optimale
UE : Unité d'Encombrement
UEM : Unité d'Encombrement Mouton
UF : Unité Fourragère
UFL : Unité Fourragère Lait
UFV : Unité Fourragère Viande
UGB : Unité Gros Bétail

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1. CARTE DU DEPARTEMENT DE LA DRÔME (GAUCHE – SOURCE : CANAL.MONDE) **ET DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE LA VILLE DE LIVRON-SUR-DRÔME DECRIVANT LA TEMPERATURE ET LA PLUVIOMETRIE MOYENNE PAR MOIS SUR UNE ANNEE** (DROITE – SOURCE : CLIMAT.DATA) 5
FIGURE 2. CARTE ET SCHEMA CIRCULAIRE DECRIVANT LES ORIENTATIONS TECHNICO-ECONOMIQUES (OTEX) DES EXPLOITATIONS AGRICOLES DRÔMOISES (SOURCE : RECENSEMENT AGRICOLE DE 2010 -AGRESTE) 6
FIGURE 3. SCHEMA EXPLICATIF DES AXES DE TRAVAIL PRINCIPAUX DU PROJET ECORCE ET DES PARTENAIRES ASSOCIES (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR). 9
FIGURE 4. STREUOBST (GAUCHE – SOURCE : NABU, HANNES HUBER) **ET BREBIS TEXEL SOUS UN PRE-VERGER DE POMMIERS HAUTE-TIGE EN NORMANDIE** (DROITE – SOURCE : M. THIERY, PROJET PARASOL). 10
FIGURE 5. NOMBRE D'ARBRES DES STREUOBST DE BADEN-WURTTEMBER, ALLEMAGNE. SURFACE TOTALE DE LA REGION : 35,750 KM². LES ARBRES DES JARDINS PARTICULIERS ONT ETE PRIS EN COMPTE EN 1900 ET 1912. 11
FIGURE 6. INTERACTIONS NON EXHAUSTIVES POSITIVES (VERT), NEGATIVES (ROUGE) OU INDETERMINEES (NOIR) ENTRE LES BREBIS, LES ARBRES FRUITIERS, LE SOL ET LE COUVERT VEGETAL (SOURCE : FIBL)..... 12
FIGURE 7. SCHEMA CONCEPTUEL DE L'ORGANISATION DES SERVICES ECOSYSTEMES (NON EXHAUSTIFS) DES AGRO-ECOSYSTEME ASSOCIANT ELEVAGE OVIN ET ARBORICULTURE (SOURCE : LE ROUX ET AL., 2018 – MODIFIE D'APRES ZHANG ET AL., 2007, C.RIVOIRE - FIBL) 13
FIGURE 8. BREBIS DE RACE SHROPSHIRE ABROUTISSANT UN ARBRE FRUITIER EN PLEINE SAISON DE VEGETATION (GAUCHE – SOURCE : KOHL ET RUTZEN, 2008) **; DEGÂTS D'ECORCAGE SEVERES SUR POMMIERS PROVOQUES PAR DES BREBIS PRE-ALPES EN SAISON ESTIVALE (MILIEU)** (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR) **ET PAR DES BREBIS MERINOS EN SAISON HIVERNALE (DROITE)** (SOURCE : AGRIBIODRÔME) 14
FIGURE 9. PRINCIPAUX DETERMINANTS INFLUENCANT LE DEVELOPPEMENT DES COMPORTEMENTS A RISQUES CHEZ LES OVINS PÂTURANTS SOUS VERGERS 18
FIGURE 10. BREBIS PÂTURANT DANS UN VIGNOBLE EQUIPE DE FILS ELECTRIQUES EN PLEINE PERIODE DE VEGETATION (A) (SOURCE : KELLY MULVILLE) **; BREBIS PÂTURANT DANS UN VERGER DE POMMIERS EQUIPES DE MANCHONS DE PROTECTION (GAINE AGRICOLE) (B)** (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)..... 27
FIGURE 11. CARTE DES FERMES DU PROJET ECORCE (2021) ACCEUILLANT LES ESSAIS EXPERIMENTAUX SUR LES DISPOSITIFS DE PROTECTION (SOURCE : C.RIVOIRE FIBL FR) 28
FIGURE 12. SCHEMA DESCRIPTIF DE L'ENVIRONNEMENT DES PARCELLES DE L'ESSAI 1 DU SITE EXPERIMENTAL DU LYCEE AGRICOLE DU VALENTIN ; PHOTO DU TROUPEAU D'AGNELLES DE RACE SHROPSHIRE (SOURCE : C.RIVOIRE – FIBL FR) 30
FIGURE 13. SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE L'ESSAI 1 MIS EN PLACE AU LYCEE AGRICOLE DU VALENTIN ; DISPOSITIF ELECTRIQUE DE LA MODALITE « FE » (A) ; BAC D'AFFOURAGEMENT DE LA MODALITE « D » (B) ; JOUET EN BOIS DE LA MODALITE « D » (C) (SOURCE : C.RIVOIRE – FIBL FR)..... 31
FIGURE 14. SCHEMA DESCRIPTIF DE L'ENVIRONNEMENT DES PARCELLES D'ESSAI 2 ET 3 DU SITE EXPERIMENTAL DE LORIOL (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR) 33
FIGURE 15. SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE L'ESSAI 2 MIS EN PLACE SUR LE SITE DE LORIOL (SOURCE : C.RIVOIRE – FIBL FR) 34

FIGURE 16. SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE L'ESSAI 3 MIS EN PLACE SUR LE SITE DE LORIOL (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR). 35
FIGURE 17. SCHEMAS SIMPLIFIES D'UNE PARCELLE D'ESSAI INDIQUANT LES RELEVES QUADRATS (GAUCHE) ET LES TRANSECTS (DROITE) REALISES SUR UN GRADIENT RANG/INTER-RANG (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)..... 42
FIGURE 18. POURCENTAGE MOYEN DE FEUILLES CONSOMMEES (MEAN ± IC = MOYENNE ± INTERVALLE DE CONFIANCE) AU COURS DU TEMPS DANS CHAQUE MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS DE L'ESSAI 1 47
FIGURE 19. HAUTEUR MOYENNE (CM) DE LA FEUILLE LA PLUS BASSE (MEAN ± IC) AVANT ET APRES PÂTURAGE EN FONCTION DE LA MODALITE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 1 48
FIGURE 20. FREQUENCE MOYENNE D'ABROUTISSEMENT (MEAN ± IC) SUR UNE OBSERVATION CONTINUE DE DIX MINUTES EN FONCTION DU TEMPS ET DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 1 49
FIGURE 21. FREQUENCE MOYENNE D'ABROUTISSEMENT SUR UNE OBSERVATION CONTINUE DE DIX MINUTES (MEAN ± IC) EN FONCTION DU CRENEAU D'OBSERVATION – ESSAI 1..... 50
FIGURE 22. POURCENTAGE DE FEUILLES CONSOMMEES AU COURS DU TEMPS EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES (A) ; HAUTEUR DES DEGATS (CM) EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES (B) – ESSAI 2 52
FIGURE 23. NOMBRE DE MARQUES D'ECORCAGE EN FONCTION DE SON EMPLACEMENT SUR L'ARBRE FRUITIER ET DE SA SEVERITE (A) ; NOMBRE MOYEN DE MARQUES D'ECORCAGE PAR ARBRE FRUITIER DE LA MODALITE M (B)..... 53
FIGURE 24. NOMBRE MOYEN D'EVENEMENTS D'ABROUTISSEMENT SUR DIX MINUTES D'OBSERVATION (MEAN + IC) EN FONCTION DE LA MODALITE ET DU TEMPS DE L'ESSAI 2..... 54
FIGURE 25. POURCENTAGE DE FEUILLES CONSOMMEES AU COURS DU TEMPS EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 3 (A) ; HAUTEUR DES DEGATS (CM) EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 3 (B)..... 57
FIGURE 26. FREQUENCE D'ABROUTISSEMENT SUR DIX MINUTES D'OBSERVATION (MEAN + CI) EN FONCTION DU CRENEAU D'OBSERVATION TOUTES MODALITES DE L'ESSAI 3 CONFONDUES (A) ; NOMBRE MOYEN D'EVENEMENTS D'ABROUTISSEMENT SUR DIX MINUTES D'OBSERVATION (MEAN + IC) EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 3 (B)..... 58
FIGURE 27. POURCENTAGE MOYEN DE FEUILLES CONSOMMEES AU QUATRIEME JOUR DE PÂTURAGE EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DES ESSAIS 2 ET 3 58
FIGURE 28. HAUTEUR MOYENNE DES DEGATS (CM) EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS DES ESSAIS 2 ET 3..... 59
FIGURE 29. PARCELLE D'ESSAI DE LA MODALITE FE (A) ET DE LA MODALITE T (B) AU QUATRIEME JOUR DE PÂTURAGE (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR). 61
FIGURE 30. AGNELLES SHROPSHIRE DE LA MODALITE « FE » LORS DU PREMIER JOUR DE PÂTURAGE. L'HERBE EST HAUTE ET A DEJA EPIE (A) ; REFUS APRES 7 JOURS DE PÂTURAGE : LE DACTYLE AGGLOMERE N'EST PAS CONSOMME PAR LES AGNELLES (B) (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR) 62
FIGURE 31. BREBIS DE RACE PRE-ALPES ABROUTISSANT LES POMMIERS EN S'APPUYANT SUR LES MANCHONS DE PROTECTION ET SUR LE DISPOSITIF D'IRRIGATION (A) ; DEGÂTS D'ECORCAGE PROVOQUES PAR LES BREBIS DE LA MODALITE « MANCHON » AU SIXIEME JOUR DE PÂTURAGE (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR) 67
FIGURE 32. AGNELLES SHROPSHIRE PÂTURANT DANS UN VERGER DE POMMIERS BASSE-TIGE EQUIPE D'UN DISPOSITIF DE PROTECTION ELECTRIQUE (A) ; BREBIS GESTANTES

PRE-ALPES PÂTURANT DANS UN VERGER DE POMMIERS BASSE-TIGE EQUIPE DE MANCHONS DE PROTECTION (B) (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR) 74
FIGURE 33. DEGATS D'ABROUTISSEMENT SUR LES ARBRES FRUITIERS DE LA MODALITE « ABRASIVE » APRES 6 JOURS DE PÂTURAGE (A) ; FEUILLES EN ETAT DE SENESCENCE APRES PULVERISATION DE PETIT LAIT (B) ; DEGATS D'ABROUTISSEMENT SUR LES ARBRES FRUITIERS DE LA MODALITE « BADIGEON » APRES 7 JOURS DE PÂTURAGE (C) (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR) 75
FIGURE 34. DEMARCHE DE RECHERCHE PARTICIPATIVE PROPOSEE POUR IDENTIFIER, SELECTION PUIS EVALUERS DES DISPOSITIFS DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS FACILEMENT APPROPRIABLES POUR LES AGRICULTEURS (SOURCE : C. RIVORIE – FIBL FR)..... 77

TABLE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. VARIABLES DE CARACTERISATION DES DEGÂTS SUR FRUITIERS 38
TABLEAU 2. ETHOGRAMME DU COMPORTEMENT OVIN PÂTURANT SOUS VERGERS 39
TABLEAU 3. ETHOGRAMME DES COMPORTEMENTS D'INTERACTIONS ENTRE LE MOUTON, L'ARBRE FRUITIER ET LES DISPOSITIFS DE PROTECTION TESTES 40
TABLEAU 4. VARIABLES DE CARACTERISATION DES DEGÂTS SUR ARBRES FRUITIERS..... 43
TABLEAU 5. VARIABLES D'EVALUATION COMPORTEMENTALE..... 45
TABLEAU 6. INFLUENCE DU JOUR ET DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS SUR LE POURCENTAGE DE FEUILLES CONSOMMEES (MEAN +/- SE) PENDANT L'ESSAI 1 47
TABLEAU 7. INFLUENCE DU JOUR DE PÂTURAGE ET DE LA MODALITE SUR LE HAUTEUR DE LA FEUILLE LA PLUS BASSE (CM) ET DU DEGAT LE PLUS HAUT (CM) (MEAN ± SE) DANS L'ESSAI 1 48
TABLEAU 8. VALEURS NUTRITIONNELLES (MEAN ± SE) DE LA STRATE HERBACEE ET DES FEUILLES DE POMMIERS PRELEVEES DANS LES PARCELLES DE L'ESSAI 1..... 51
TABLEAU 9. INFLUENCE DE LA MODALITE SUR LE POURCENTAGE DE FEUILLES ET DE RAMEAUX CONSOMMES (MEAN ± SE) DANS L'ESSAI 2 52
TABLEAU 10. INFLUENCE DU CRENEAU (A) ET DU JOUR (B) SUR LA FREQUENCE D'ABROUTISSEMENT (MEAN ± SE) DANS LES MODALITES DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 2..... 54
TABLEAU 11. CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES MOYENNES (MEAN ± SE) DE LA STRATE HERBACEE DU VERGER PÂTURE PAR LES BREBIS UTILISEES DANS LE CADRE DES ESSAIS 2 ET 3..... 55
TABLEAU 12. INFLUENCE DE LA MODALITE (A) ET DU JOUR (B) SUR LE POURCENTAGE DE FEUILLES ET DE RAMEAUX CONSOMMES (MEAN ± SE) DANS L'ESSAI 3 56
TABLEAU 13. APPORTS NUTRITIONNELLES PROTEIQUE ET ENERGETIQUE DE LA STRATE HERBACEE DU VERGER PÂTURE (MEAN) RAPPORTES A LA MATIERE SECHE INGEREE MAXIMALE PAR INDIVIDU COMPARES AUX BESOINS NUTRITIONNELS PROTEIQUE ET ENERGETIQUE PAR JOUR PAR INDIVIDU 62
TABLEAU 14. COMPOSITION CHIMIQUE DES FEUILLES DE POMMIERS PRELEVES SUR LES DIFFERENTS SITES EXPERIMENTAUX DES ESSAIS ECORCE 2021 COMPARES AUX VALEURS DE REFERENCES DE NOVAK ET AL. 2020..... 63
TABLEAU 15. APPORTS NUTRITIONNELLES PROTEIQUE ET ENERGETIQUE DE LA STRATE HERBACEE DU VERGER PÂTURE RAPPORTES A LA CAPACITE D'INGESTION MAXIMALE PAR INDIVIDU COMPARES AUX BESOINS NUTRITIONNELS PROTEIQUE ET ENERGETIQUE PAR JOUR PAR INDIVIDU 69

TABLE DES ANNEXES

ANNEXE 1. SCHEMA D'UNE BRANCHE CHARPENTIERE D'ARBRES FRUITIERS (SOURCE : WELDOM).....
ANNEXE 2. GRILLED DE MESURES COMPORTEMENTALES (SCANS D'ACTIVITE).....
ANNEXE 3. GRILLE DE MESURES COMPORTEMENALES (OBSERVATION CONTINUE).....
ANNEXE 4. EQUATIONS INRAE DE PERMETTANT DE CALCULER LA QUANTITE DE PROTEINES DIGESTIBLES D'ORIGINE MICROBIENNE (G/KG DE MS) ET LA QUANTITE DE PROTEINES DIGESTIBLES DE L'INTESTIN GRÊLE (HUSSON ET AL., 2018, MAXIN ET AL., 2019) .....
ANNEXE 5. ABONDANCE ET FREQUENCE RELATIVE (%) DES ESPECES PRAIRIALES DE L'ENHERBEMET DU VERGER DE L'ESSAI 1……
ANNEXE 6. ABONDANCE ET FREQUENCE RELATIVE (%) DES ESPECES PRAIRIALES DE L'ENHERBEMET DU VERGER DE L'ESSAI 2 ET 3………
ANNEXE 7. DISTRIBUTION SPATIALE (%) DES OVINS EN FONCTION DE LA MODALITE………
ANNEXE 8. MODALITES « DETOURNEE » (GAUCHE) ET « TEMOIN » (DROITE) AU SEPTIEME JOUR DE PÂTURAGE ; PHOTOS DEMONTRANT UNE DIFFERENCE DE HAUTEUR D'HERBE ENTRE LES MODALITES (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)……
ANNEXE. 9 MARQUES D'ECORCAGE ET TRACES DE FROTTEMENT SUR LES JOUETS EN BOIS PROPOSES AUX AGNELLES DANS LA MODALITE « DETOURNEE » DE L'ESSAI 1 (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)……..

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

AUTEUR : Clémence RIVOIRE, promotion 119 (ESA d'Angers)
Le pâturage ovin, une stratégie de gestion de l'enherbement en arboriculture fruitière : Evaluation de moyens de protection des arbres fruitiers. – Stage de fin d'études, 78pp.
Organismes encadrants : FiBL France (Martin Trouillard)

Mots clés : Ovin – Vergers - Agroforesterie – Ecorçage – Abroutissement - Protection

RESUME D'AUTEUR

CONTEXTE

Le pâturage ovin sous vergers est une pratique d'intérêt fourrager en période estivale ayant le potentiel pour s'inscrire au cœur des stratégies de gestion de l'enherbement en arboriculture fruitière. Cependant, les agriculteurs peinent à se l'approprier du fait de nombreuses contraintes techniques, et notamment des dégâts sur fruitiers. L'écorçage et l'abroutissement des arbres fruitiers par les ovins en pleine période de végétation font en effet partie des principales préoccupations des arboriculteurs mais aucune solution ne permet à ce jour d'en lever les freins au développement et d'en pérenniser la pratique.

BUTS DE L'ETUDE

L'objectif de ce travail était d'observer le développement des comportements « abroutisseur » et « écorceur » chez les ovins, et d'évaluer dans quelle mesure des moyens de protection permettaient de limiter ces comportements.

MATERIELS METHODES

Les dégâts sur fruitiers (i.e. consommation de feuilles, rameaux et écorce) et le développement des comportements « abroutisseur » et « écorceur » ont été évalués dans trois essais réalisés dans deux vergers de pommiers pâturés l'un par des agnelles shropshire, l'autre par des brebis gestantes de race pré-alpes. Le potentiel fourrager a été caractérisé en termes de composition floristique et de valeurs nutritionnelles. Différents dispositifs de protection du tronc (manchons de protection, badigeons) et de la strate arborée (fils électriques, produits répulsifs) ont été évalués.

RESULTATS

Parmi les six dispositifs de protection testés, seul le dispositif de protection électrique a démontré une réelle efficacité. La pulvérisation d'excréments de mouton a tout de même pu ralentir le développement du comportement « abroutisseur » les quatre premiers jours de pâturage. L'écorçage des arbres n'a pas été observé en période estivale hormis après la consommation intégrale de la ressource arborée accessible par les ovins, confirmant l'éventuelle origine alimentaire de ce comportement. Le potentiel fourrager des vergers répondait difficilement aux besoins nutritionnels des ovins, notamment en termes de valeur protéique.

CONCLUSION

Cette étude offre des pistes de réflexion sur les leviers de protection des arbres fruitiers disponibles pour les éleveurs et arboriculteurs désireux de s'essayer à la pratique et démontre la complexité de réintégrer l'élevage dans les cultures pérennes.

BIBLIOGRAPHIC NOTE

AUTHOR : Clémence RIVOIRE, promotion 119 (ESA of Angers)

Sheep grazing in orchards, a strategy to manage orchard grass cover : evaluation of fruit trees protective measures. – Final internship of master thesis, 78pp.

Organizations and supervisors : FiBL France (Martin Trouillard)

Keys words : Sheep – Orchard - Agroforestry – Debarking – Browsing - Protection

AUTHOR SUMMARY

CONTEXT	Sheep grazing in orchards during the vegetation season can be interesting for fodder availability in summer and orchard ground cover management. Nevertheless, farmers struggle to implement this practice because of numerous technical brakes such as damage to fruit trees. Debarking and browsing by sheep are the main farmers' concerns. To date, no efficient protective measures of fruit trees exist to secure the practice.
STUDY PURPOSES	The study purpose was to observe the development of debarking and browsing behaviours in sheep grazing in orchards after bud break, and to evaluate tree protective measures.
MATERIELS & METHODS	Damage to fruit trees (i.e., leaves, branches and bark consumption), along with sheep behaviour have been measured in three on-farm experiments taking place in two apple orchards grazed either by shropshire sheep or by pre-alpes sheep. Orchard 's fodder potential has been also measured regarding floristic composition and nutritional values. Tree-stem protection devices (muff, distemper) and tree-leaves and branch protection (electric wires, repellents) have been tested.
RESULTS	Among the six protective measures tested, only electric wires have demonstrated some efficiency. Sheep manure sprayed on fruit tree foliage slowed down the sheep browsing development the first four days of grazing. Debarking behaviour has not been observed in spring and summer except after full consumption of accessible leaves and branches, suggesting an alimentary origin of the debarking behaviour. In the conditions of the experiments, orchard herbaceous vegetation hardly answered to sheep nutritional needs, especially in terms of proteins.
CONCLUSION	This study offers food for thought on fruit tree protective solutions available for farmers who have the desire to practice sheep grazing in orchards after bud break. This work also demonstrates the complexity of integrating sheep in perennial crops.

INTRODUCTION

Sous l'influence de la mondialisation et des politiques agricoles, l'agriculture productiviste développée durant la deuxième moitié du XXIème siècle a provoqué l'uniformisation, la simplification et l'intensification des systèmes de production (*Flamant, 2010*). Les exploitations et les territoires se sont vus se spécialiser (*Chatellier et al., 2009*), favorisant la disparition des systèmes de polyculture-élevage et des systèmes agroforestiers intégrant l'arbre aux productions agricoles *(Eichhorm et al., 2006*). Aujourd'hui, les désastreuses conséquences environnementales qui en résultent (*Horrigan et al., 2002*), appuyées par les enjeux liés au réchauffement climatique (*Bindi et Olesen., 2010*), participent à l'émergence de nouveaux modèles agricoles reposant sur les principes d'une agriculture écologiquement intensive se caractérisant notamment par la complexification et la diversification des systèmes de productions via la réintégration des pratiques de culture-élevage *(Griffon, 2013).*

Dans le département de la Drôme, 2ème département biologique de France, l'arboriculture et l'élevage ovin sont des filières clés du dynamisme agricole territorial (*Agreste, 2019*). Les complémentarités potentielles entre ces deux systèmes de production sont déjà mises à profit par la pratique du pâturage ovin hivernal sous vergers. Les principaux bénéfices dont témoignent les éleveurs et arboriculteurs pratiquants sont une meilleure gestion de l'enherbement, la réduction de la pression phytosanitaire, et la valorisation d'une ressource gratuite en fourrages (*Cazaux, 2015*). Dans un contexte de réchauffement climatique se matérialisant notamment par des sécheresses estivales de plus en plus extrêmes dans le Sud de la France (*Amigues et al., 2006*), cette ressource fourragère pourrait devenir une ressource estivale de qualité du fait de l'ombrage créé par les arbres (*Béral et al., 2018*) et de l'irrigation couramment utilisée en arboriculture. Le pâturage ovin pourrait également permettre une gestion de l'enherbement des vergers moins coûteuse en travail mécanisé, voire en herbicides de synthèse. Malheureusement, peu de références techniques existent sur une telle pratique et les agriculteurs expriment des craintes quant aux risques de dégâts potentiels générés par les brebis (*López-Sánchez et al., 2020*), l'intoxication chronique au cuivre (*Trouillard et al., submitted*) et le parasitisme (*O'Connor et al., 2006)*.
Motivé par l'intérêt croissant porté à la réintégration de l'élevage dans les cultures pérennes, le FiBL France (Institut de Recherche en Agriculture Biologique), en lien étroit avec des agriculteurs intéressés par cette pratique, s'est proposé à travers le projet ECORCE (« Etudier la Cohabitation de l'élevage Ovin et de l'aRboriCulturE ») d'approfondir l'étude de la cohabitation entre élevage ovin et arboriculture en saison de végétation. Ce rapport s'intéresse plus précisément aux déterminants potentiellement responsables du développement des comportements à risque chez les ovins pâturant sous vergers et aux moyens de protection destinés à limiter les risques liés à la pratique. Il présente les premiers résultats expérimentaux issus des essais de l'année 2021.

Une première partie de ce travail reviendra à présenter des éléments de contexte sur les enjeux des filières arboricoles et ovines et le territoire drômois. Une synthèse bibliographique permettra de faire l'état des lieux des connaissances produites à ce jour sur la pratique du pâturage ovin sous vergers et de dresser une problématique et des hypothèses de travail pour en lever les freins au développement. La méthodologie expérimentale mise en place pour y répondre sera détaillée dans une 3ème partie puis les premiers résultats obtenus

des essais 2021 seront présentés et discutés dans une 4ème et 5ème partie. Ce travail exploratoire permettra d'apporter de nouveaux éléments de compréhension sur la pratique du pâturage ovin estival sous verger et d'approfondir les axes de recherche pour la suite du projet.

I. CONTEXTE DE L'ETUDE

a) Des filières arboricoles et ovines en crise : vers un besoin de reconception des systèmes de production

i. LES ENJEUX DE LA FILIERE ARBORICOLE

L'érosion des surfaces de vergers (-17%) et du nombre d'exploitations fruitières (-30%) entre 2000 et 2010, des volumes de production et d'exportation en baisse associés à la hausse des importations, décrit une filière arboricole française en crise (*Agreste, 2012*). Economiquement, l'important coût de la main d'œuvre française combiné à l'utilisation intensive d'intrants et notamment de produits phytosanitaires, la concurrence sur les marchés européens, le faible niveau d'aides financières et les fortes exigences liées à la qualité produit sont des facteurs de baisse de compétitivité de la filière arboricole française (*Hochart, 2014*). Ceux-ci reflètent la nécessité de réduire les coûts de production et de repositionner les productions fruitières en baisse sur des marchés à forte valeur ajoutée (IGP, AB, AOP etc.) (*Jeannequin et al., 2010*). La filière est également sujette à des aléas climatiques et sanitaires croissants, accentués par la vulnérabilité des vergers au changement climatique (*Legave et al., 2009*), ses caractéristiques agronomiques (cultures pérennes) et le système sociotechnique dans lequel elle s'insère. Le projet « Prunus », réalisé en Drôme-Ardèche, a par exemple permis de mettre en avant les fortes contraintes imposées par l'aval des filières pêche-abricot, notamment sur le calendrier de production, les exigences de qualité et le modèle d'innovation variétale dominant, aujourd'hui centré sur le produit, au détriment des stratégies de réduction d'intrants, d'adaptation au réchauffement climatique, et de la pérennité même des vergers et des exploitations arboricoles (*Lamine et al., 2017).*
En agriculture biologique, les marges de manœuvre et d'adaptation aux enjeux de la filière arboricole sont plus restreintes. Le temps de travail, plus important dû à des pratiques majoritairement manuelles, questionne la pénibilité et les conditions de travail des arboriculteurs installés en agriculture biologique (*Lamine et al., 2009).* Le nombre limité de produits de lutte phytosanitaire responsables du développement de résistances chez les ravageurs cibles (*Sauphanor et al., 2009*) et un IFT (Indice Fréquence Traitement) parfois supérieur au conventionnel (*Sautereau et al., 2020*) posent également les limites d'une logique de substitution d'intrants (*Hill et al., 1996*).
La prédominance des filières de « circuit long », des systèmes de production fragiles en termes de charges de main d'œuvre, de dépendance aux intrants, et de concurrence européenne et mondiale, associées à la volonté de faire évoluer les pratiques vers plus de durabilité, incitent à la re-conception des systèmes de production arboricoles (*Cazaux et al., 2015*).

ii. LES ENJEUX DE LA FILIERE OVINE

Le changement climatique, et notamment l'élévation des températures associée à la baisse des précipitations caractéristiques de déficits hydriques estivaux de plus en plus fréquents, met également en péril les systèmes d'élevage dont l'autonomie alimentaire repose

sur la ressource herbagère. En 2003, les déficits pluviométriques et les températures supérieures de 6°C aux normales saisonnières ont entrainé un déficit de production fourragère estivale de 60% par rapport à la normale (*Soussana, 2013*). La viabilité économique dépendant grandement de la productivité animale et indirectement de la qualité et de la quantité de la ressource fourragère accessible, il parait primordial de sécuriser cette dernière et de mettre à disposition des éleveurs de nouvelles surfaces à vocation fourragère pour leur permettre d'atteindre l'autonomie alimentaire (*Landais et Jousseins, 2019)*. Enfin, le revenu des éleveurs ovins dépendant grandement des charges d'alimentation, les économies potentielles d'intrants permises par l'intégration permettraient d'améliorer la viabilité économique des exploitations (*Benoit et al., 2009*) et de les rendre moins dépendantes des subventions et des intrants extérieurs (*Simon et al., 2007*).

iii. DES COMPLÉMENTARITÉS ENTRE LES DEUX FILIERES ?

Du fait des risques climatiques croissants, de l'instabilité économique auxquels font face les arboriculteurs, et des nombreux enjeux environnementaux attribués à l'arboriculture fruitière, il semble indispensable de reconcevoir les systèmes de production actuels (*Lamine et al., 2009*). L'introduction de l'élevage ovin en système arboricole biologique basse-tige doté d'un enherbement permanent est une voix de diversification et d'intégration prometteuse. Elle pourrait promouvoir une diversité de services écosystémiques et socio-économiques et améliorer la résilience, l'autonomie et la viabilité des exploitations arboricoles. En effet, l'enherbement permanent des vergers est couramment utilisé en agriculture biologique pour améliorer la structure et la portance des sols par rapport au maintien d'un sol nu, prévenir les problèmes d'érosion et de lessivage, et préserver une faune auxiliaire des cultures (*Gomez, 2009 ; Alvarez et al., 2021*). Son entretien nécessite des interventions mécaniques de broyage/fauche régulières afin de limiter les relations de compétition, notamment sur la ressource en eau, entre le couvert herbacé et la culture pérenne (*Celette, 2007).* Le pâturage ovin sous vergers serait donc une alternative d'entretien de l'enherbement intéressante aux opérations mécaniques et pourrait répondre aux besoins de reconception des systèmes de production. La pratique saurait également répondre à la volonté qu'ont certains arboriculteurs de diversifier leur production et de travailler avec des animaux (*Cazaux et al., 2015*). Au-delà d'un raisonnement à l'échelle de l'exploitation où l'arboriculteur développerait un atelier d'élevage sur sa ferme à vocation de diversification ou d'atelier-outil, cette pratique d'intégration culture-élevage permettrait également de répondre aux enjeux rencontrés par les éleveurs ovins conduisant leur troupeau en agriculture biologique et voulant atteindre l'autonomie fourragère.

Ainsi, dans le département de la Drôme, où l'élevage ovin et les cultures arboricoles coexistent, le développement du pâturage ovin sous vergers basse-tige en période de végétation (avril-septembre) serait une pratique d'intégration culture-élevage d'intérêt fourrager ayant le potentiel pour s'inscrire au cœur des stratégies de gestion de l'enherbement en arboriculture fruitière.

b) La Drôme, un territoire d'élevage et bassin arboricole propice au développement des pratiques d'intégration culture-élevage

i. UN DÉPARTEMENT GEOGRAPHIQUEMENT ET CLIMATIQUEMENT CONTRASTÉ A L'AGRICULTURE DIVERSIFIÉE

La Drôme est un département français du sud-est de la France situé au cœur de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Le département est recouvert aux deux tiers par des montagnes et à un tiers par des plaines, vallées et plateaux, situés le long du Rhône dans l'ouest du département. La vallée de la Drôme, localisée au centre du département, est considérée comme une zone de transition avec le sud du pays ouvrant la voie à un secteur plus provençal au climat méditerranéen (*cf. figure 1.a)* (*Joly et al., 2010*).
La pluviométrie est de 850-950mm sur le département, à hauteur de 60 à 100 jours de pluie/an mais gagne en variabilité avec des pluies de plus en plus abondantes en automne et de plus en plus rares en été (*cf. figure 1.b*). Les températures peuvent atteindre les 40°C en été et être inférieures à 0°C en hiver. Ces variabilités inter et intra-annuelles se renforcent avec l'évolution du changement climatique et peuvent donner lieu à des phénomènes climatiques extrêmes (sécheresses estivales, orages, érosion hydraulique etc.) (*Coumou et al., 2012*). D'après un rapport publié en 2018 par la *Direction Départementales des Territoires Drômois* (DDT 26) et le Cerema (*Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement*) sur le changement climatique, les températures moyennes annuelles du département ont augmenté de +1 à 1,5°C depuis 1976 et devraient encore monter de +1,5 à 2°C selon les projections de Météo France à horizon 2050. Ces projections devraient provoquer une hausse du nombre de journées estivales (> 25°C ; +15-20 jours) et augmenter les risques qui pèsent sur la ressource en eau (*Bindi et al., 2010*). Le déplacement des optimums températures vers le nord laisse penser que les zones cultivables drômoises de basse-altitude, mais également les zones de pâturage de montagne devraient être de plus en plus sujettes aux évènements climatiques extrêmes.

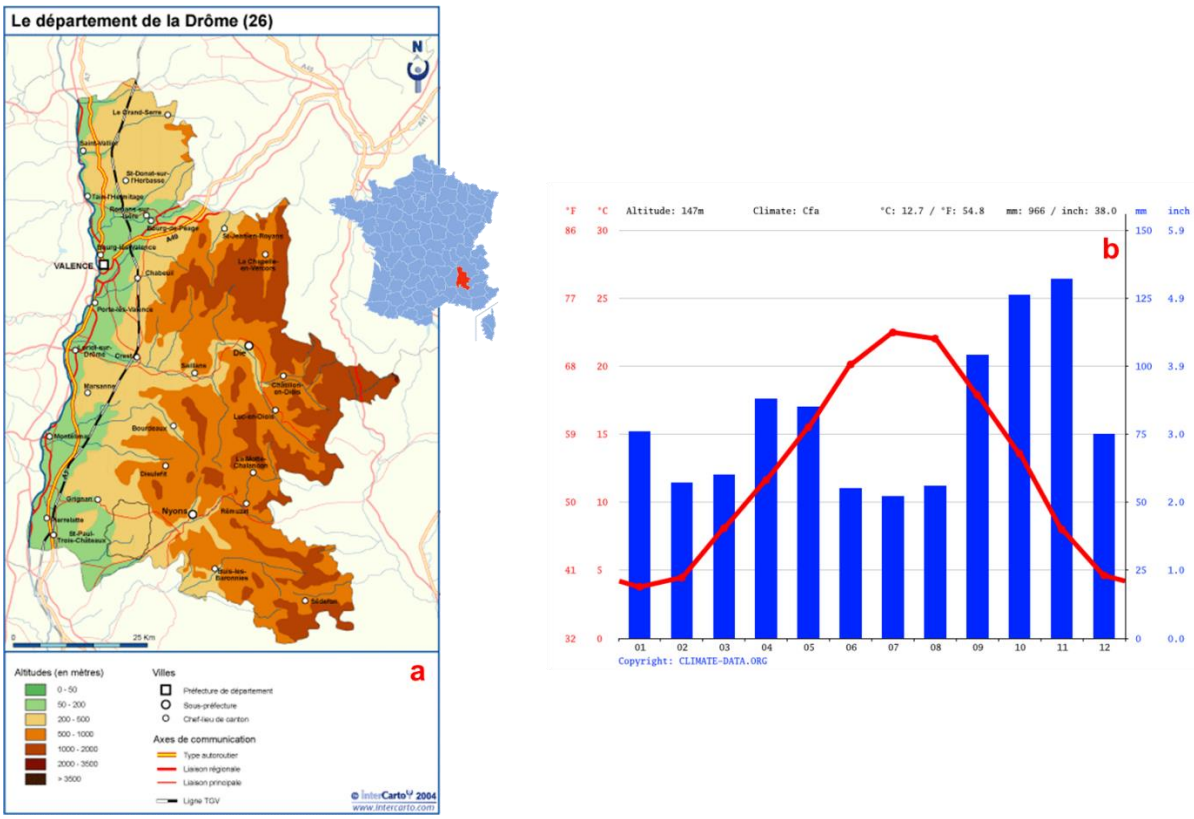


FIGURE 1. CARTE DU DEPARTEMENT DE LA DRÔME (GAUCHE – SOURCE : CANAL.MONDE) **ET DIAGRAMME OMBROTHERMIQUE DE LA VILLE DE LIVRON-SUR-DRÔME DECRIVANT LA TEMPERATURE ET LA PLUVIOMETRIE MOYENNE PAR MOIS SUR UNE ANNEE** (DROITE – SOURCE : CLIMAT.DATA)

La géographie et le climat contrasté du département en font tout de même un territoire agricole de choix, extrêmement diversifié, dont la dynamique territoriale lui donne la place du 1er département agricole d'Auvergne-Rhône-Alpes en termes de production (770 millions d'€) et d'actifs agricoles (11 000) (*Agreste, 2019*). Le département regroupe 6400 exploitations agricoles dont 24% en grandes cultures, 22% en arboriculture, 15% en viticulture et 10% en élevage de petits ruminants. Le nombre d'ovins dans le département est de 77 000 têtes, ce qui représente 9% du cheptel Rhône-Alpins et seulement 1% du cheptel national (*Agreste, 2019*). La vallée du Rhône et le sud du département regroupent la majorité des vignes, vergers et élevages hors sol tandis que les zones de montagne, plus herbagères, accueillent les élevages d'herbivores (ovins, bovins, caprins) *(cf. figure 2).*

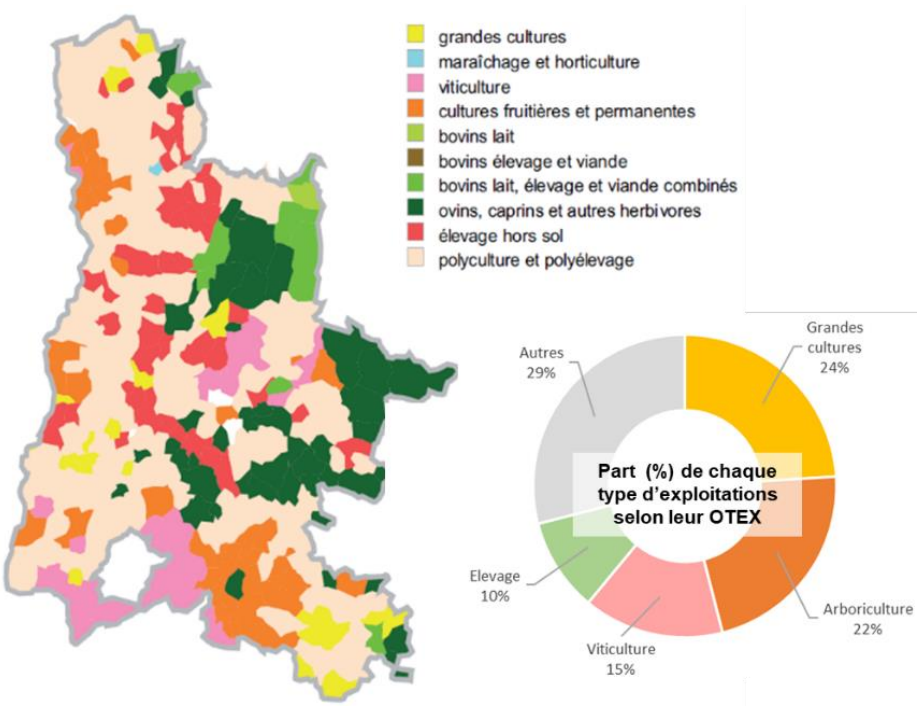


FIGURE 2. CARTE ET SCHEMA CIRCULAIRE DECRIVANT LES ORIENTATIONS TECHNICO-ECONOMIQUES (OTEX) DES EXPLOITATIONS AGRICOLES DRÔMOISES (SOURCE : RECENSEMENT AGRICOLE DE 2010 -AGRESTE)

Le dernier recensement agricole de 2010 indique que le nombre d'exploitations agricoles, et notamment les plus petites (PBs < 25 000€), a chuté de 38% depuis 2000. Une tendance à l'agrandissement et à la hausse du nombre de grandes exploitations (>100ha) s'exprime. Sur le même intervalle de temps, le nombre de fermes en polyculture-polyélevage a également chuté de 42% (Agreste, 2010). La superficie des vergers de fruits à noyaux et à pépins a aussi reculé d'un tiers entre 2000 et 2010, équivalent à une perte de 30% de leur potentiel économique. Cette érosion des exploitations fruitières tire son origine des nombreuses crises successives liées aux maladies et parasites et à la conjoncture économique qui se matérialise par un déficit de compétitivité sur les marchés européens et internationaux. La Drôme reste le 1er département producteur de fruits de la région avec 1401 exploitations fruitières spécialisées, ce qui représente 38% des exploitations fruitières de la région et 7% des exploitations du pays. Les premières productions fruitières du département en termes de quantité sont l'abricot et les pêches/nectarines, elles représentent respectivement 34% et 11% de la production nationale (*Agreste, 2019*).

La diversité des systèmes de productions végétales et animales présents dans le département, et notamment l'importance économique attribuée à la filière arboricole combinée à la nécessité de sécuriser la ressource fourragère pour les éleveurs drômois, laisse penser que le territoire présente un fort potentiel pour la réintégration de l'élevage dans les cultures pérennes enherbées.

ii. UNE RÉFERENCE EN AGRICULTURE BIOLOGIQUE

En 2020, 1785 exploitations agricoles drômoises parmi les 6400 décrites précédemment, soit 28%, sont certifiées ou en conversion vers l'agriculture biologique, représentant alors 31,6% de la SAU départementale contre 9,6% en France métropolitaine et 10,5% en région Rhône-Alpes-Auvergne. Cette caractéristique confère à la Drôme le statut de 1er département biologique en nombre d'exploitations de la Région Rhône-Alpes-Auvergne et la classe 2ème à l'échelle nationale derrière le département du Gers. En termes de SAU, le département est classé 5ème (*AgenceBio, 2021*). Le département regroupe 30% de la production régionale de viande ovine (12 130 têtes) et 31% des surfaces régionales destinées à l'arboriculture biologique (2388 ha) (*AgenceBio, 2021*). Ces dernières ont d'ailleurs augmenté de 14% entre 2018 et 2019, preuve d'une filière arboricole biologique en pleine croissance.

Cette dynamique agricole trouve ses sources dans les années 1970-80, à la suite de l'arrivée de producteurs néo-ruraux de plantes aromatiques. Les agriculteurs locaux suivront et diversifieront les productions biologiques vers les grandes cultures et la viticulture, propulsés par l'installation d'entreprises de transformation. L'appui des pouvoirs publics locaux et des financements européens permettront son développement sur le territoire et feront de la Drôme un département pionnier dans le développement de l'agriculture biologique en France (*Lamine, 2012, 2020*). Ce mouvement rejoint les inspirations de tout un territoire qui se matérialise aujourd'hui par de nombreuses initiatives privées et publiques. Le projet « Biovallée », créé en 2009 par un ensemble de collectivités de la vallée de la Drôme, est un bel exemple de la dynamique territoriale qui s'opère aujourd'hui dans le département. L'association rassemble une multitude d'acteurs (collectivités, associations, entreprises, citoyens etc.) dont les principes de gouvernance et de développement reposent sur les piliers du développement durable. L'ensemble des acteurs vise donc la création d'un « éco-territoire de référence » en termes de gestion et valorisation des ressources naturelles et se fixe notamment des objectifs de sobriété énergétique et de souveraineté alimentaire. Pour arriver à ces fins, le territoire s'était fixé l'objectif d'atteindre 50% d'agriculteurs et de surface en agriculture biologique d'ici 2020.

C'est dans ce contexte d'accompagnement et de soutien au développement de l'agriculture biologique drômoise et française qu'a été créé en 2017 le FiBL France (Forschungsinstitut für biologischen Landbau : L'institut de Recherche en Agriculture Biologique). Le FiBL est une association loi 1901 dont le cœur de métier est la réalisation de projets de recherche appliquée en lien avec les sciences du sol, les sciences des plantes et les sciences animales. L'institut répond également à des questions socioéconomiques en lien avec l'agriculture biologique. Il détient la particularité de mettre en place des expérimentations de terrain avec, et chez des agriculteurs installés en agriculture biologique. Crée à l'origine en Suisse en 1973, le FiBL s'est développé depuis dans plusieurs pays d'Europe (Allemagne, Autriche) dont la France.

Situé en BioVallée au cœur du pôle Bio de l'Ecosite du Val de Drôme, les domaines d'expertises du FiBL France portent pour l'instant sur les domaines de la santé animale (ruminants, porcins), la protection des plantes et l'arboriculture. Les multiples antennes FiBL à l'échelle européenne et la mise en place de projets de recherche appliquée multi-partenariale lui permettent d'agrandir son champ de compétences et notamment d'acquérir une vision holistique des agrosystèmes. A travers des projets de recherche portés par exemple sur la gestion durable du parasitisme animal et les risques d'intoxications chroniques au cuivre pour les ovins pâturant dans les vignes, le FiBL France s'est doté de solides compétences pour travailler sur des pratiques à l'interface des productions animales et végétales.

De ce fait, motivé par l'intérêt croissant porté à la réintégration de l'élevage dans les cultures pérennes, notamment du fait d'enjeux environnementaux, climatiques et socio-économiques, et un contexte territorial favorable au développement des pratiques d'intégration culture-élevage, le FiBL France, en lien étroit avec des agriculteurs intéressés et/ou déjà engagés dans la pratique, s'est proposé d'approfondir l'étude de la cohabitation entre élevage ovin et arboriculture fruitière en saison de végétation.

iii. UN PROJET POUR LEVER LES FREINS A LA PRATIQUE DU PÂTURAGE OVIN SOUS VERGERS

Le projet ECORCE est un projet de recherche appliquée multipartenarial porté par le FiBL France dont les objectifs sont (i) d'évaluer les risques de l'association en vergers basses tiges conduits en agriculture biologique, (ii) d'en capitaliser les performances zootechniques et technico-économiques (ii), et (iii) d'en lever les freins au développement en proposant un nouveau référentiel aux agriculteurs désireux de complexifier leurs systèmes de production.

Le projet rassemble plusieurs partenaires dont l'EPLEFPA Le Valentin, en tant que responsable de projet pédagogique avec des élèves de terminale et en appui à la mise en place des expérimentations ; AgriBioDrôme, en charge du référentiel technico-économique et des actions d'animation entre arboriculteurs et éleveurs ; la CCVD (Communauté de Communes de Val de Drôme) dont le rôle est de faire vivre ce projet à l'échelle territoriale avec un horizon d'intégration aux politiques publiques, et la SCOP Agroof (bureau d'étude en agroforesterie), en charge de l'étude réglementaire sur la pratique (*cf. figure 3*).
Ce rapport s'intéresse plus précisément au premier axe expérimental du projet et notamment aux moyens de protection disponibles permettant de limiter les dégâts provoqués par les ovins écorçant ou abroutissant les arbres fruitiers. En 2021, trois essais *on-farm* ont été menés chez des arboriculteurs et des éleveurs du territoire drômois, consacrés à l'étude des comportements des ovins pâturant sous verger, en lien avec les moyens de protection mis en œuvre.

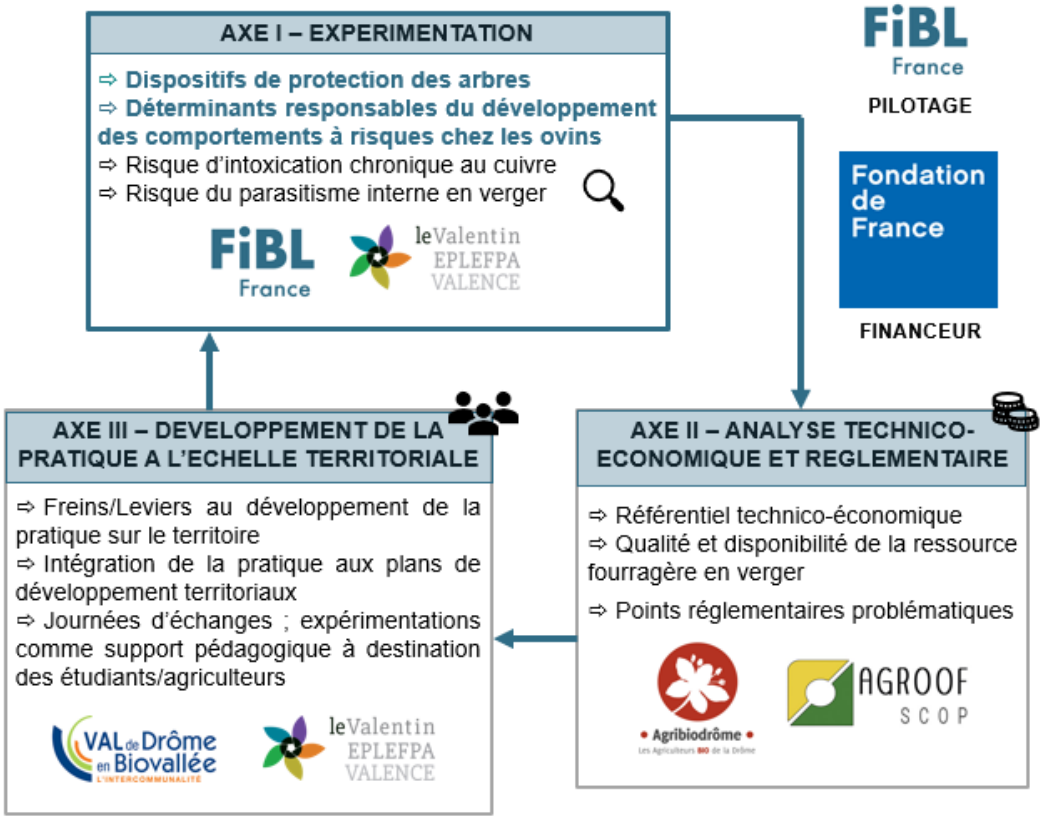


FIGURE 3. SCHEMA EXPLICATIF DES AXES DE TRAVAIL PRINCIPAUX DU PROJET ECORCE ET DES PARTENAIRES ASSOCIES (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR).

II. ETAT DE L'ART : LE PÂTURAGE OVIN SOUS VERGERS

a) Une pratique d'intégration culture-élevage ancestrale

L'intégration culture-élevage, également appelée « systèmes de production mixtes » ou « polyculture-élevage » (*Ryschawy et al., 2014*), est une pratique agricole ancestrale qui consiste à synergiquement associer, par une gestion coordonnée dans le temps et dans l'espace, des ateliers d'élevage, de grandes cultures et/ou de cultures pérennes. La polyculture-élevage, par la production de fourrages, grains, pailles à destination des animaux et la restitution des effluents organiques au champ est dans ce sens un exemple d'intégration culture-élevage ancestral (*Martin et al., 2016*). Le pâturage ovin, bovin et équin dans les cultures pérennes (vergers/vignes) est un autre exemple d'intégration culture-élevage. Nous nous concentrerons sur cette dernière forme d'intégration culture-élevage dans la suite de ce rapport.

Les pré-vergers et les *streuobst* sont des systèmes « sylvopastoraux » traditionnels développés dès le XV et XVI^{ème} siècle associant élevage et arboriculture (pommier, poirier, prunier etc.) à faible densité (20-100 arbres/ha) (*Smith, 2010*) *(cf. figure 4)*. Les pré-vergers se retrouvaient majoritairement dans le nord-ouest et nord-est de la France, plus précisément en Normandie, Lorraine, Alsace, Mayenne et Sarthe tandis que les *streuobst* étaient présents dans plusieurs pays d'Europe : l'Allemagne, la France, l'Espagne, la Suisse et l'Autriche, mais aussi dans les pays de l'Est (République Tchèque, Croatie, Roumanie) (*Herzog, 1998*). Le

propre de ces systèmes extensifs était de produire des fruits, de la viande et du bois à faible coût et consommation d'intrants. Les parcelles de pré-vergers étaient organisées par variété de manière à échelonner les récoltes, éviter l'immobilisation du troupeau et développer un meilleur contrôle sanitaire des maladies et des parasites (*Dupraz et Liagre., 2008*), tandis que les *streuobst* présentaient des schémas d'organisation beaucoup plus hétérogènes et aléatoires en termes d'espèces, de variétés, d'âge de l'arbre et de disposition (*Lucke et al., 1992 ; Herzog, 1998*). Les intérêts de ces systèmes sylvopastoraux étaient multiples : le pâturage des vergers permettait de faciliter la récolte des fruits, d'entretenir l'enherbement et de fertiliser le sol à travers les déjections animales, mais aussi de fournir une protection aux animaux contre les chaleurs estivales à travers l'ombrage des arbres. La pratique venait également valoriser un fourrage tardif en été et sécuriser l'éleveur quant à la ressource fourragère disponible (*Dupraz et Liagre., 2008).*

FIGURE 4. STREUOBST (GAUCHE – SOURCE : NABU, HANNES HUBER) **ET BREBIS TEXEL SOUS UN PRE-VERGER DE POMMIERS HAUTE-TIGE EN NORMANDIE** (DROITE – SOURCE : M. THIERY, PROJET PARASOL).

Ces systèmes traditionnels étaient autrefois majoritaires mais ont depuis la fin de la seconde guerre mondiale graduellement disparu des paysages agricoles (*Nerlich et al., 2013*), phénomène alimenté par le progrès technique, la mondialisation et les réformes des politiques agricoles (*Ryschawy et al., 2012*). La France agricole a en effet opéré une transition vers une agriculture productiviste et excédentaire, s'intégrant au cœur du système capitaliste. Les exploitations se sont agrandies et spécialisées en quête d'économies d'échelles, s'accompagnant d'une diminution du nombre d'actifs agricoles, tandis que les systèmes de polyculture-élevage disparaissaient progressivement *(cf. figure 5)*. *Herzog et al., 2001* considèrent que 50% des *streuobsts* ont été arrachés depuis le XXème siècle du fait de leur faible adaptabilité aux transformations agricoles qui s'opéraient (*Eichhorn et al., 2006).*

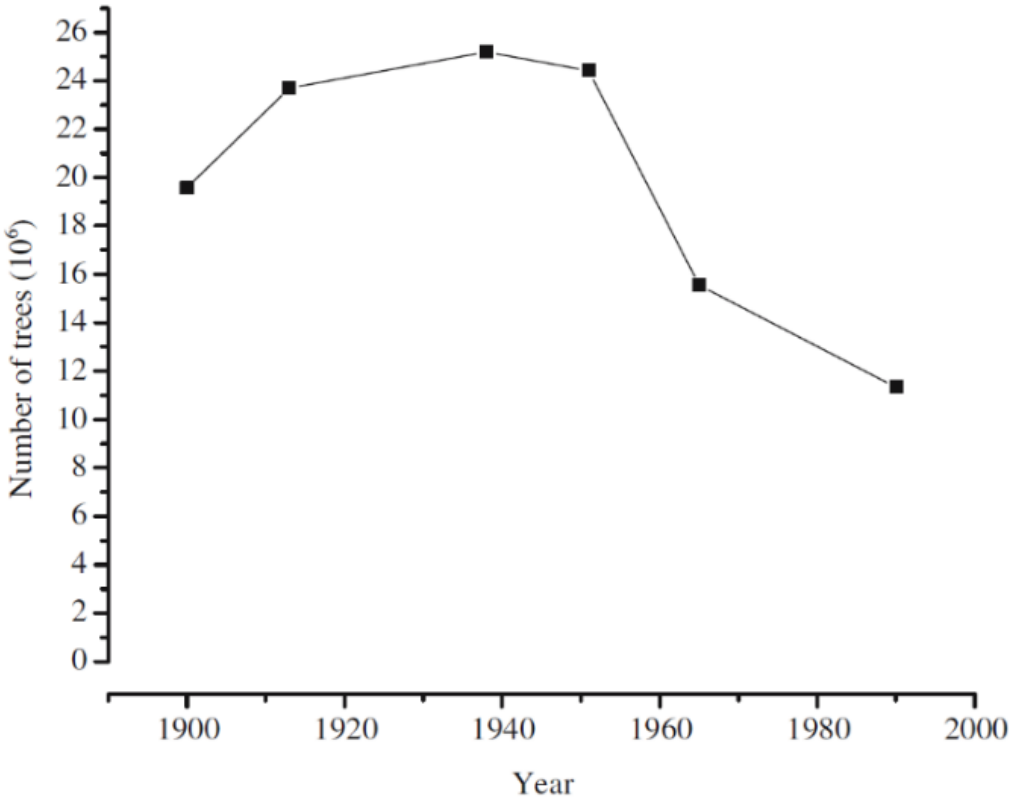


FIGURE 5. NOMBRE D'ARBRES DES STREUOBST DE BADEN-WURTTEMBER, ALLEMAGNE. SURFACE TOTALE DE LA REGION : 35,750 KM². LES ARBRES DES JARDINS PARTICULIERS ONT ETE PRIS EN COMPTE EN 1900 ET 1912. (SOURCE : EICHHORN ET AL., 2006 - GRAPHIQUE REDESSINE ISSUS DES TRAVAUX DE HERZOG ET OETMANN, 2001)

Aujourd'hui, les pratiques d'intégration culture pérennes-élevage se réinventent pour s'intégrer aux modèles de production actuels et répondre aux besoins de transition vers une agriculture plus performante sur les plans environnemental, économique et social (*Nerlich et al., 2013 ; Lemaire et al., 2014, Caquet et al., 2020, Ryschawy et al. 2017*). Néanmoins, et malgré les bénéfices qui peuvent leurs être associés, la complexification induite par la présence d'animaux rencontre certains freins à son développement.

b) Un équilibre instable entre bénéfices et contraintes

i. LES BÉNÉFICES

La volonté de réintégrer l'élevage ovin dans les cultures pérennes, et notamment dans les systèmes arboricoles intensifs enherbés en pleine période de végétation, émerge de nombreux intérêts agronomiques, socio-économiques et environnementaux.
D'après de nombreuses enquêtes réalisées auprès d'agriculteurs pratiquant cette association, (*Landais et Jousseins, 2019 ; Cazaux, 2015*), les principaux bénéfices perçus obtenus par l'association élevage ovin/arboriculture sont l'entretien de l'enherbement, la valorisation d'un fourrage de qualité en été assuré par l'irrigation et l'ombrage des arbres et la mise à disposition de zones d'ombres favorables au bien-être animal (*Béral et al., 2018*). Dans une moindre mesure, la réduction de la pression phytosanitaire et la hausse de la fertilité des sols à travers l'apport de fumure, notamment aux pieds des arbres, sont aussi des avantages attribués à la

pratique (*Landi et al., 2016* ; *Schmiedgen et al., 2016*). Les économies doubles permises par la diminution des charges d'alimentation et de carburant, elles-mêmes liées à une diminution du nombre de broyage, sont également en faveur d'un partenariat gagnant-gagnant entre éleveurs et arboriculteurs (64€/ha/an en système dissocié) ou pour un arboriculteur/éleveur (~130€/ha/an en système mixte) (*Burgess, 2017*). La pratique pourrait également être vue comme une alternative au désherbage chimique en arboriculture conventionnelle (*Niles et al., 2018*). Enfin, au-delà des bénéfices techniques et économiques précédemment cités, la plupart des agriculteurs ayant développé une association arboriculture/élevage expriment également une motivation personnelle, et donc une satisfaction, à travailler avec des animaux au sein d'une ferme « mixte » (*Cazaux et al., 2015*). La *figure 6* ci-contre présente les principaux avantages (vert) et inconvénients (rouge) liés à la pratique. Ces derniers seront traités dans la partie suivante.

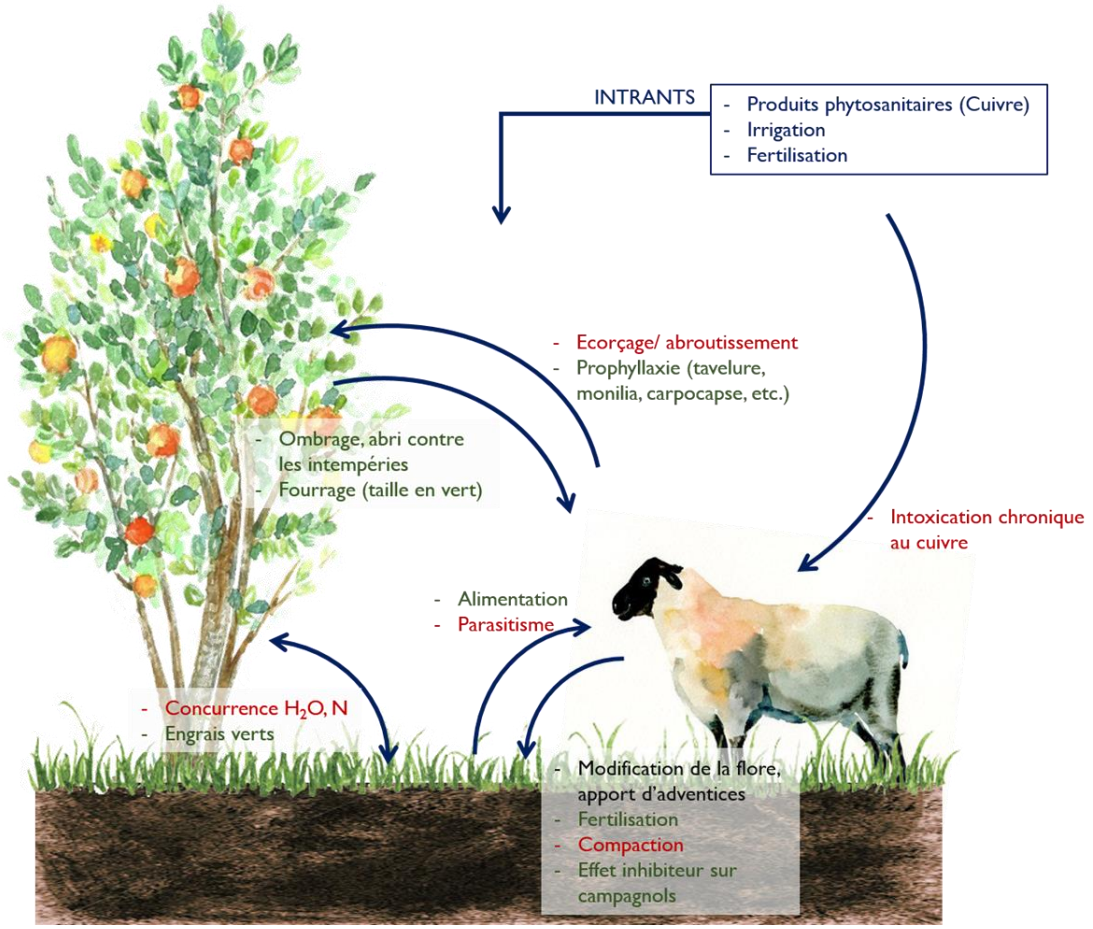


FIGURE 6. INTERACTIONS NON EXHAUSTIVES POSITIVES (VERT), NEGATIVES (ROUGE) OU INDETERMINEES (NOIR) ENTRE LES BREBIS, LES ARBRES FRUITIERS, LE SOL ET LE COUVERT VEGETAL (SOURCE : FIBL)

Ces bénéfices rejoignent les concepts développés par *Moraine et al. (2015)* et *Ryschawy et al. (2017)* à l'échelle territoriale sur les bénéfices des systèmes de productions mixtes : le gain d'efficience (i), c'est-à-dire l'optimisation des flux de nutriments (N,P,K) et d'énergie induisant une meilleure efficience d'utilisation des ressources naturelles, et la substitution d'intrants (ii) (mécanisation, engrais, produits phytosanitaires etc.) à travers l'amplification des processus écologiques et indirectement des services écosystémiques. Ces concepts se traduisent à l'échelle de l'exploitation par la limitation de l'utilisation d'intrants et

le renforcement de l'autonomie, de la résilience et de la flexibilité des exploitations face aux aléas climatiques et socio-économiques *(Hendrickson et al., 2008).* La diversification des systèmes de production par la réintégration de l'élevage ovin dans les cultures pérennes est un des leviers cités par *Ryschawy et al. (2017)* pour renforcer les services écosystémiques fournis par les agroécosystèmes. En pâturage ovin sous vergers, ces services écosystémiques peuvent-être classés en trois groupes non exhaustifs : services d'intrants, services de productions agricoles et services produits hors revenu agricole (*Le Roux et al., 2012) (cf. figure 7).*

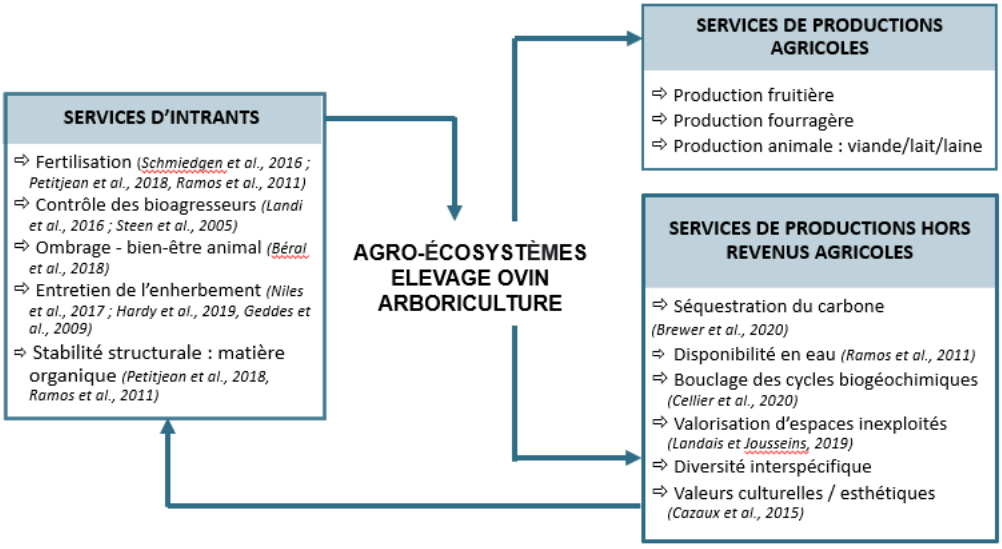


FIGURE 7. SCHEMA CONCEPTUEL DE L'ORGANISATION DES SERVICES ECOSYSTEMES (NON EXHAUSTIFS) DES AGRO-ECOSYSTEME ASSOCIANT ELEVAGE OVIN ET ARBORICULTURE (SOURCE : LE ROUX ET AL., 2018 – MODIFIE D'APRES ZHANG ET AL., 2007, C.RIVOIRE - FiBL)

ii. LES CONTRAINTES

La réintégration de l'élevage ovin dans les cultures pérennes se heurte néanmoins à plusieurs contraintes : (i) opérationnelles, du fait d'une faible main d'œuvre, (ii) organisationnelles, de par une difficile coordination entre ateliers, (iii) techniques, à cause d'un manque et d'une perte de compétences à l'échelle individuelle et à l'échelle des territoires, et (iv) économiques, lorsque les filières peinent à se développer *(Hardesty et al., 1996 ; Ryschawy et al., 2017)*. En effet, même si l'intégration culture-élevage est souvent promue pour générer des économies de gamme, celles-ci ne sont pas systématiques et dépendent grandement des dynamiques territoriales (*Ryschawy et al., 2012*). Dans le département de la Drôme, où l'élevage ovin et les cultures arboricoles coexistent, le développement du pâturage ovin sous vergers en période de végétation (avril-septembre) pourrait avoir un important potentiel de maximisation des bénéfices mutuels pour ces deux filières (*Cazaux, 2015 ; Landais et Jousseins, 2019*).

Le pâturage ovin sous vergers fait cependant face à certains freins, notamment d'ordre technique du fait de la complexification induite par la présence d'animaux d'élevage, créant des réticences vis-à-vis de l'appropriation par les acteurs du monde agricole, et empêchant pour le moment sa pérennisation : parasitisme du fait d'un environnement irrigué plus humide (*O'Connor et al., 2006*) et d'un retour à la parcelle potentiellement plus fréquent ; intoxication chronique au cuivre de par son utilisation en lutte fongique (*Trouillard et al., 2021*) ; compétition sur les ressources (eau/nutriments), compaction (*Sharrow et al., 2007*) ; écorçage et abroutissement (*López-Sánchez et al., 2020*) (*cf. figure 6*). La suite de ce rapport se concentrera uniquement sur ce dernier point.

En effet, même si les bénéfices perçus sur l'introduction du pâturage ovin dans les cultures pérennes en période hivernale semblent surpasser les contraintes techniques et logistiques rencontrées pour certains agriculteurs (*Niles et al., 2018*), la plupart d'entre eux expriment des craintes quant aux risques d'écorçage et d'abroutissement par les brebis en pleine période végétative et pointent du doigt le manque de références techniques sur la pratique (*Landais et Jousseins, 2019*). En effet, les ovins pâturant en systèmes arboricoles peuvent être responsables d'une multitude de dégâts intervenant sur le tronc et les branches charpentières (écorçage, branches charpentières ou coursonnes cassées), les bourgeons, les rameaux et les feuilles des arbres (abroutissement) (*López-Sánchez et al., 2020*) (*cf. figure 8, annexe 1*).

FIGURE 8. BREBIS DE RACE SHROPSHIRE ABROUTISSANT UN ARBRE FRUITIER EN PLEINE SAISON DE VEGETATION (GAUCHE – SOURCE : KOHL ET RUTZEN, 2008) **; DEGÂTS D'ECORCAGE SEVERES SUR POMMIERS PROVOQUES PAR DES BREBIS PRE-ALPES EN SAISON ESTIVALE (MILIEU)** (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR) **ET PAR DES BREBIS MERINOS EN SAISON HIVERNALE (DROITE)** (SOURCE : AGRIBIODRÔME)

Une mauvaise gestion du pâturage peut ainsi entrainer une réduction du nombre de fruits et de fleurs (*Corroyer et al., 2017)*, des dégâts d'écorçage (*López-Sánchez et al., 2020*) et le rehaussement des étages fruitiers productifs compliquant les interventions techniques et notamment les activités de récolte (*Guimarães Filho et al., 2000*). Même si la propension des ovins à écorcer semble supérieure aux autres espèces d'herbivores, ils le font néanmoins avec une sévérité moindre. Seul 3% des arbres fruitiers suivis par *López-Sánchez et al. (2020),* contre 16% et 11% pour les bovins et les chevaux, présentaient des dégâts d'écorçage supérieurs à 50% de la circonférence des arbres, un seuil limite défini comme maximal pour ne pas impacter la croissance, le développement et les performances agronomiques des arbres (*Sharrow, 1992).* D'après le travail bibliographique établi, le lien entre les dégâts d'herbivores et l'altération de la croissance, du développement et des performances agronomiques des arbres n'a à ce jour qu'été faiblement étudié en contexte de production

arboricole (*Katsma et al., 1980*). Il est en revanche assez bien documenté en contexte forestier (*Charco et al., 2016 ; Gerhard et al., 2013, Anderson et al., 1985*). Dès 1994, *Reimoser* insistait sur le fait que chaque rameau brouté ne représentait pas forcément un dommage pour un arbre, incitant à nuancer l'impact des dégâts potentiellement observables en arboriculture. La partie suivante tâchera d'apporter des éléments de compréhension supplémentaires quant à l'éventuel impact des dégâts d'ovins sur les arbres fruitiers.

c) Des dégâts plus ou moins impactants pour l'arboriculteur

i. L'ÉCORCAGE AU CŒUR DES PRÉOCCUPATIONS

L'écorçage se caractérise par l'action d'arracher l'écorce de l'arbre (*CNRTL, 2012*). L'écorce peut ensuite être éventuellement consommée par les animaux à des fins alimentaires (*Kurek et al., 2019 ; Verheyden et al., 2006 ; Ueda et al., 2002*), digestives (*Keenan, 1986*) ou parasitaires (*Hoste et al., 2006 ; Saint-Andrieux et al., 2009*) mais les avis d'experts divergent (*Ando et al., 2003 ; Kuiters et al., 2006*). Les dégâts sévères et incontrôlés d'écorçage peuvent lourdement affecter le fonctionnement physiologique et indirectement le développement, la croissance et la productivité des arbres fruitiers (*Zwieniecki et al., 2004 ; Chen et al., 2013*). L'écorçage peut également altérer les réserves de carbohydrates et d'azote situées dans le bois et l'écorce des arbres à feuilles caduques indispensables au retour des arbres en végétation (*Millard, 2001*). Il peut aussi favoriser le développement fongique et le dépérissement des arbres (*Vasiliauskas et al., 1998 ; Humphrey et al., 1998*).

Le peu d'études d'impact existantes sur les dégâts d'écorçage d'ovin en système arboricole nous oblige à faire des parallèles avec les innombrables études publiées en contexte forestier tropical et tempéré sur les essences médicinales et les essences à bois.
Delvaux et al. (2010) ont par exemple démontré que les arbres tropicaux à feuilles caduques écorcés à hauteur de 100% et de 50% de circonférence avaient après 2 ans des taux de survie respectifs de 80% et 40%. Ceux écorcés à hauteur de 75% de leur circonférence avaient néanmoins tous survécus, rendant la corrélation entre degré d'écorçage et survie de l'individu moins évidente. En contexte tempéré forestier et arboricole, *Sharrow et al. (1992)* et *López-Sánchez et al. (2020)* s'accordent respectivement à dire que l'impact d'écorçage devient préoccupant lorsqu'il est supérieur à 50% de circonférence. Dépasser ce niveau induirait un ralentissement de la cicatrisation, une diminution de la croissance du tronc et une hausse des dégâts sur les étages supérieurs de l'arbre. Qui plus est, une corrélation positive entre la sévérité d'écorçage (>50%) et la probabilité d'observer des dégâts sur la couronne de branches charpentières (>90%) des arbres fruitiers (pommiers – *Malus spp.*, poiriers – *Pyrus spp*., et pruniers – *Prunus spp*) a été mis en avant par *López-Sánchez et al. (2020)*, traduisant un seuil d'écorçage presque systématiquement relié à des dégâts supplémentaires sur la couronne de branches charpentières et donc à des impacts potentiels sur la croissance, le développement et la production fruitière.

Au-delà du pourcentage de circonférence écorcée caractéristique de la sévérité du dégât d'écorçage, l'impact d'une marque d'écorçage dépend également de l'espèce ligneuse écorcée, de la saison d'écorçage, caractérisée par une ambiance climatique et microclimatique bien spécifique, et du diamètre du tronc de l'arbre *(Delvaux et al., 2010 ; Neely, 1988).* En contexte tropicale, la saison humide semble plus propice à la cicatrisation du

fait de l'humidité ambiante et de la présence d'un feuillage activant le mécanisme de photosynthèse (*Delvaux et al., 2010*). De ce fait, en contexte tempéré, la cicatrisation des marques d'écorçage d'ovins sur les arbres fruitiers pourrait aussi être favorisée par l'humidité ambiante du verger (i.e., irrigué) et la présence active du feuillage des arbres. La défoliation des arbres, liée à l'affouragement des brebis sur leur strate arborée, pourrait néanmoins tamponner cet effet et ralentir la cicatrisation.
Finalement, le manque de références techniques et scientifiques sur la pratique ne permet pas de véritablement définir la période végétative comme une période à risque vis-à-vis des dégâts d'écorçage. Ce propos est d'autant plus vrai que l'écorçage peut parfois être volontairement induit par les arboriculteurs pour améliorer les performances agronomiques de leurs arbres fruitiers. *Fallahi et al. (2018)* ont en effet démontré que l'écorçage total du tronc des arbres fruitiers (Pommiers – *Malus domestica*) sur 3 à 4 cm d'épaisseur jusqu'au cambium à 30cm au-dessus du porte-greffe permettait d'augmenter la taille des fruits de l'année en cours et le rendement des arbres fruitiers l'année suivante. *Fallahi et al. (2018)* amènent cependant à la prudence car aucune étude connue à ce jour sur l'écorçage volontaire des arbres fruitiers ne permet d'évaluer l'impact long terme d'une telle intervention technique sur les performances agronomiques des arbres.

ii. L'ABROUTISSEMENT CONSIDERÉ COMME SECONDAIRE

Au-delà de l'écorçage, l'abroutissement, c'est-à-dire la consommation de feuilles, bourgeons, jeunes pousses et rameaux (*Saint-Andrieux, 1994*), peut également affecter l'arbre fruitier. En effet, en période végétative, la défoliation et la suppression des rameaux et des fruits peuvent pénaliser le rendement de l'année n et la production de l'année n+1 en détériorant le matériel ligneux productif et le matériel photosynthétique. Ces impacts potentiels peuvent dépendre d'une multitude de facteurs dont notamment, l'architecture et le stade de développement de l'arbre, les conditions environnementales, les stress exercés par les herbivores et les organismes fongiques, la saisonnalité, l'intensité et la fréquence d'abroutissement (*Kupferschmid, 2017*). Ici, le terme « stress » utilisé par *Kupferschmid (2017)* se réfère aux réponses physiologiques limitantes pour la croissance et le développement des arbres au contact des herbivores, champignons et insectes (*Körner, 2003*).

En simulant des dégâts de cervidés sur les bourgeons de branches de pommiers adultes (>11ans) en période hivernale, *Katsma et al. (1980)* ont par exemple pu démontrer une réduction de la production de pommes l'année suivante plus ou moins importante selon la variété, ce qui s'explique par un phénomène de compensation : la perte de bourgeons a engendré plus de pommes par bouquet floral chez une des variétés étudiées par rapport à son propre témoin non endommagé. *Millard et al. (2001)* ont également observé un phénomène de compensation de croissance foliaire chez certaines espèces à feuilles caduques proches des arbres fruitiers *(*Sorbier - *Sorbus aucuparia* de la famille des *Rosaceae,* Bouleau - *Betula pendula* – Bouleau*)* chez lesquels 50% des pousses de l'année précédente avaient été coupées de manière à simuler l'abroutissement de cervidés à deux intervalles de temps différents (hiver – dormance ; printemps – avant débourrement). Le nombre de feuilles moins important était compensé par un poids et une surface foliaire par feuille plus élevés qu'en modalité témoin, aboutissant à une biomasse foliaire similaire aux deux périodes de coupes. Cette réponse de l'arbre à l''abroutissement simulé n'est en revanche pas la même après débourrement (i.e., développement foliaire). En effet, l'arbre aura tendance à réajuster son activité photosynthétique en printemps/été en cas de défoliation afin de limiter la baisse de

son potentiel photosynthétique plutôt que de produire de nouvelles feuilles (*Ovaska et al., 1993*). Ces mécanismes de compensation interviennent en réponse aux attaques d'herbivores afin d'en pallier les effets négatifs potentiels et sont en interactions. La réallocation des réserves de l'arbre à sa propre croissance ou encore l'induction d'un retard phénologique de floraison et/ou nouaison peuvent donc se réaliser au détriment de sa propre production fruitière (*Tiffin, 2001*). Cependant, la bibliographie connue à ce jour, majoritairement réalisée sur des essences forestières, ne permet pas de définir l'impact réel de l'abroutissement sur les capacités productives des arbres fruitiers.

L'abroutissement peut négativement impacter la production agricole en année n et n+1 et pourrait altérer la vitalité de l'arbre et la pérennité du système de production si régulièrement répétés. Ils sont néanmoins considérés comme secondaires par les arboriculteurs par rapport à l'écorçage dont l'occurrence et la sévérité peut rapidement remettre en question la survie de l'arbre. Ces risques insécurisent la pratique et peuvent être des facteurs rédhibitoires à son développement. Ce constat incite donc à s'intéresser aux déterminants potentiellement responsables du développement de comportements à risques chez les ovins vis-à-vis des arbres fruitiers, caractérisés ici par le comportement d'écorçage et d'abroutissement, et aux moyens de protection disponibles pour contrer de tels comportements.

d) Une diversité de déterminants potentiellement responsables du développement de comportements à risques chez les ovins pâturant sous vergers

Les comportements d'écorçage et d'abroutissement définis plus haut sont les principaux comportements à risques vis-à-vis des arbres fruitiers développables par les ovins et désignent en général la consommation des organes végétatifs des arbres (i.e., feuilles, rameaux, bourgeons, écorce) (*Saint-Andrieux, 1994 ; CNRTL, 2012*). L'origine de ces comportements est complexe et difficilement identifiable du fait d'influences multiples d'ordre génétique, épigénétique, environnementale et sociale (*Rodenburg, 2014*).

Leur développement peut dépendre d'une diversité de déterminants biotiques et abiotiques similaires à ceux cités par *Öllerer et al. (2019)* sur l'étude des facteurs influençant l'impact du pâturage ovin sur la végétation forestière. Cette étude peut être complétée par l'approche éthologique de *Ginane et al. (2008)* et *Dumont et al. (1996, 1999)* sur les facteurs d'influence du comportement alimentaire[1] des ovins au pâturage.
Quatre déterminants avec lesquels il est possible de faire un parallèle peuvent ainsi être mis en avant : i/ les déterminants zootechniques (caractéristiques morphologiques, physiologiques, cognitives et sociales, conduite du troupeau), ii/ les déterminants agronomiques (caractéristiques de la parcelle arboricole : densité, variété, porte-greffe, âge et conduite des arbres), iii/ les déterminants alimentaires (quantité, qualité, appétence de la ressource fourragère disponible, espèces végétales), et iv/ les déterminants environnementaux (saisonnalité, climat, topographie, aménagement du site (eau/pierre à sel)) (*cf. figure 9*).

[1] « Série de décisions prises à différentes échelles spatio-temporelles qui vont de la préhension des bouchées jusqu'au choix des sites alimentaires dans une parcelle, et du comportement instantané à l'échelle de quelques secondes, à celui du repas et de la journée » - Ginane et al. (2008).

La partie suivante tâchera d'éclairer ces 4 déterminants en contexte arboricole à travers un travail de recherche bibliographique s'intéressant plus précisément au développement des comportements « abroutisseur » et « écorceur ».

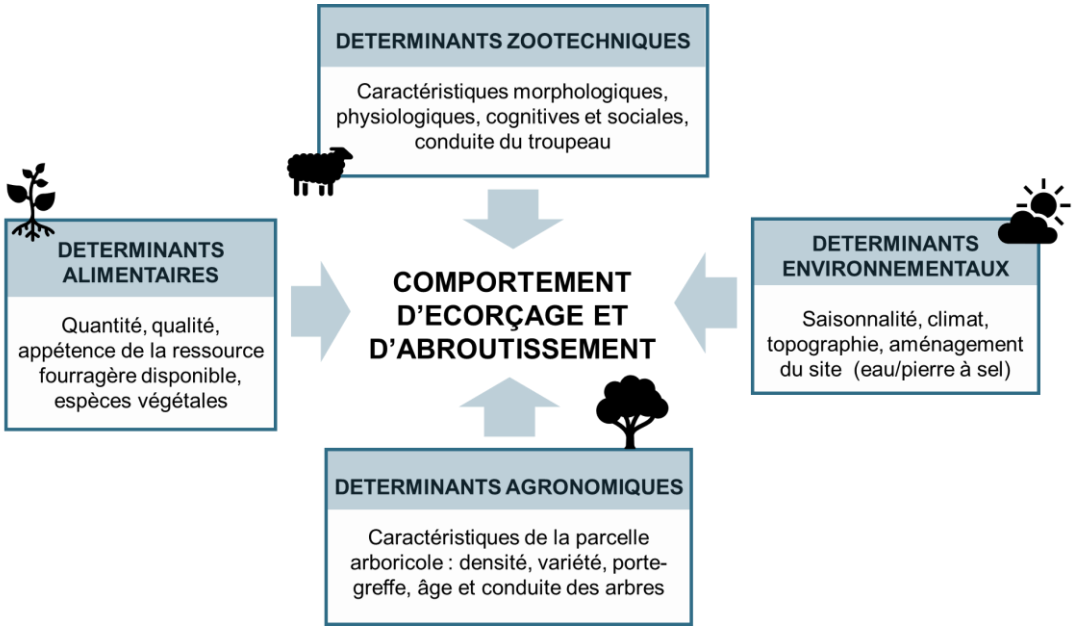


FIGURE 9. PRINCIPAUX DETERMINANTS INFLUENCANT LE DEVELOPPEMENT DES COMPORTEMENTS A RISQUES CHEZ LES OVINS PÂTURANTS SOUS VERGERS
(SCHEMA MODIFIE DE OLLERER ET AL., 2019 ; C. RIVOIRE – FIBL FR)

i. LES DÉTERMINANTS ZOOTECHNIQUES

Les déterminants zootechniques des comportements d'écorçage et d'abroutissement regroupent l'ensemble des caractéristiques morphologiques (i.e., race), physiologiques (i.e., âge, sexe, état et régime alimentaire) et cognitives (i.e., aptitudes de perception, de discrimination, d'apprentissage et de mémorisation, *Roguet et al., 1998*) des animaux, l'organisation sociale du troupeau et sa conduite (chargement, temps d'accès au pâturage, complémentation) (*Ginane et al., 2008, Dumont et Boissy, 1999, Boissy et al., 2009*).

L'existence de traits génétiques plus ou moins propices au développement de comportements à risque chez les ovins pâturant sous vergers fait de la race un déterminant important (*Dwyer, 2008*). Les moutons de race Shropshire sont par exemple couramment utilisés pour l'entretien de l'enherbement des plantations de conifères car ils sont apparemment génétiquement déterminés pour ne pas s'attaquer à l'écorce des arbres (*Geddes et al., 2009).* Cette caractéristique ne les empêche cependant pas d'abroutir le feuillage des arbres (*Kohl et Rutzen, 2008)* et cela peut tout de même parfois donner lieu à des comportements d'écorçage dans le cas d'une mauvaise conduite du troupeau (surchargement) ou de pâturage (faible ressource fourragère) (*Corroyer et al., 2017* ; *Fraser et al., 2001*).
La race influence également les préférences alimentaires des ovins. Ces dernières s'expriment face à « une situation de complète liberté de choix », situation quasiment inexistante en conditions de pâturage du fait de contraintes d'ordres zootechniques (état

physiologique des animaux, expériences alimentaires, influence sociale) et agronomique (végétation disponible, structure du couvert, hauteur d'herbe) *(Dumont, 1996).* Il est donc plus rigoureux de parler de sélection alimentaire décrivant ce que l'animal prélève, mais qui reflète la préférence alimentaire s'exerçant dans un environnement contraint. En alimentant quotidiennement et équitablement 3 groupes d'individus de race différente (Manchega, Lacaune et Ripollesa) de feuilles d'oliviers, *Manuelian et al. (2014)* ont ainsi démontré que la race était un facteur influençant la propension à consommer de feuilles d'oliviers chez des brebis naïves. Selon eux, cette variabilité inter-race ferait intervenir le comportement de néophobie, un mécanisme de protection consistant pour l'animal à éviter un aliment inhabituel ou inconnu, mécanisme qui peut s'amoindrir au cours du temps (*Dam Van Tien et al., 1999*) et dont l'origine serait génétique. Après 70 jours d'essai, les différences significatives inter-race de consommation de feuilles d'oliviers initialement observées avaient disparues, ce qui déterminait une grande disparité de degré de néophobie (variation de la quantité de feuilles d'oliviers refusées entre le début et la fin de l'essai : Lacaune – 1,1% ; Manchega : 30,2% ; Ripollesa : 76,7%). Ces résultats incitent à penser que les individus d'un troupeau conduit quotidiennement en verger viendraient à diminuer leur comportement de néophobie vis-à-vis des feuilles de fruitiers et à atteindre un rythme de consommation seuil journalier. A l'inverse, les individus d'un troupeau pâturant ponctuellement en systèmes arboricoles sur une courte durée et n'ayant pas l'habitude de s'en alimenter pourraient être moins propices à consommer les feuilles des arbres fruitiers.
Selon *Dumont (1996)*, la race n'est pas l'unique facteur d'influence des préférences alimentaires des animaux, elles dépendraient également des caractéristiques physiologiques et notamment du stade physiologique (i.e. gestation, lactation, engraissement), de l'état de faim des animaux et de leurs expériences antérieures. Ces dernières participent à l'apprentissage alimentaire des animaux et débute dès la période juvénile (*Dumont et Boissy, 1999).* Selon *Scott et al. (1995)*, l'apprentissage alimentaire consiste à associer les caractéristiques sensorielles des aliments avec leurs conséquences digestives et métaboliques. Par échantillonnage, il participe à l'affinement des connaissances alimentaires des animaux. L'apprentissage de groupe facilite l'acquisition de préférences et d'évitements alimentaire par rapport à l'apprentissage individuel par l'imitation par les plus jeunes des comportements alimentaires des ainés (*Dumont et Boissy, 1999 ; Ginane et al., 2008*). *Lécrivain et al. (1996)* ont ainsi pu démontrer que des antenaises élevées précocement sur parcours en compagnie d'adultes expérimentés étaient 15% plus nombreuses à développer un régime alimentaire arbustif que des antenaises naïves.

Le chargement du troupeau, c'est-à-dire le nombre d'individus ou d'UGB (Unité Gros Bétail[2]) en rapport à une surface (ha), pourrait également avoir un impact sur les dégâts observés en systèmes arboricoles. En effet, *Blanc et al. (1999)* ont démontré que le surchargement, dû à une compétition sur les ressources, altérait le choix alimentaire fait par les animaux et donc leur comportement au pâturage. Ce phénomène a été observé sur parcours par *Lécrivain et al. (1990)* : en contexte de surchargement (charge cumulée de 300 brebis taries de race pré-alpes/ha) et de faible disponibilité de la ressource fourragère, 60% du temps de pâturage a été consacré à l'abroutissement d'espèces ligneuses par les brebis. Cette durée d'abroutissement augmentait significativement avec la hausse du chargement (50 brebis/ha vs. 150 brebis/ha). *López-Sánchez et al. (2020)* n'ont en revanche observé aucun

[2] Unité de référence permettant de calculer les besoins nutritionnels d'un animale d'élevage.
1 UBG = 1 vache laitière pendant consommant 4500kg/MS/an de fourrages grossiers (*Vaissaire et al. 2018*).

effet de chargement/ha sur l'intensité et l'occurrence d'écorçage en système arboricole toutes espèces animales confondues (ovin, bovin, équin) mais recommandent d'en approfondir les recherches du fait d'un lien confirmé chez les cervidés en contexte forestier (*Kiffner et al., 2008 ; Verheyden et al., 2006)*. En effet, la plupart des études existantes à ce jour tendent à seulement comparer une modalité pâturée à une modalité non pâturée et peu de références techniques sur les chargements appropriés existent (*Öllerer et al., 2019*).

Le sexe et l'âge corrélés à la taille de l'animal sont également d'autres facteurs discriminants du développement du comportement écorceur/abroutisseur (*Hardesty et al., 2006*). Selon *Sharrow (1994),* en contexte forestier, les jeunes brebis semblent être responsables de plus de dégâts que les brebis adultes d'une même race. *Fraser et al. (2001)* recommandent également l'utilisation de brebis mères adultes en contexte forestier. Le pâturage de béliers semble aussi être à risque du fait de dégâts d'abroutissement, de frottement et d'écorçage aggravés (*Kohl et Rutzen, 2008*). Ces données sont renforcées par les retours empiriques obtenus dans le cadre du projet Brebis-Link, qui visait l'identification des facteurs favorables, freins et leviers potentiels au développement du pâturage ovin sur surfaces additionnelles (vergers, vignes, couverts végétaux etc.). Les éleveurs et arboriculteurs du projet s'accordent en effet à dire qu'il faut éviter le pâturage d'agnelles, jeunes brebis et béliers dans les vergers *(Landais et Jousseins, 2019*). Les dégâts observés avec ces classes d'âge de mâle et femelle et indirectement leurs poids peuvent s'expliquer par des besoins nutritionnels différentiels auxquels le potentiel fourrager des vergers peut ne pas répondre, ou par des comportements propres à chaque classe d'âge (*Delaby et al., 2018*). L'impact des animaux sur la ressource fourragère (i.e., strates herbacée et arborée) est en effet directement influencé par les quantités de fourrage ingérées et la nature du régime alimentaire sélectionnée par les animaux (*Dumont et Boissy, 1999 ; Ginane et al., 2008).*

ii. LES DÉTERMINANTS ALIMENTAIRES : QUANTITÉ, QUALITÉ ET APPÉTENCE

(1) La ressource herbacée

Un enherbement ne répondant pas quantitativement et qualitativement aux besoins d'un troupeau peut être source de carences chez les ovins, et favoriser les comportements à risques parfois bien avant l'avènement d'un phénomène de surpâturage, bien que ce dernier les encourage (*Sharrow, 1994 ; Blanc et al., 1999 ; Lécrivain et al., 1990*).

Même si le potentiel fourrager de l'enherbement spontané des vergers n'a à ce jour jamais été finement caractérisé, les conditions microclimatiques créées par les arbres et l'irrigation laissent penser que l'enherbement des vergers pourrait présenter un intérêt zootechnique en période estivale (*Amigues et al., 2006).*
Béral et al. (2018) ont démontré que l'ombrage des arbres entrainait un retard phénologique sur les espèces prairiales et que le rendement herbacé diminuait à proximité des arbres. Une hausse de la valeur nutritive (MAT, digestibilité) des prairies agroforestières en été et une modification de leur composition floristique se caractérisant notamment par une baisse en légumineuses ont également été observés. Ces résultats rejoignent l'étude de *Péri et al. (2007)* sur l'impact de l'ombrage sur le dactyle aggloméré (*Dactylis glomerata*) démontrant une baisse du taux de protéines brutes et une hausse de la production de matière sèche sur un gradient

positif d'éloignement de l'arbre. Ces observations peuvent s'expliquer par des relations de compétition entre la strate arborée et la strate herbacée au regard de la ressource lumineuse et dépendent donc de l'espèce d'arbre, déterminant leur architecture et la densité de leur ramure. Les travaux de *Béral et al. (2018)* et *Péri et al. (2007)* suggèrent que l'enherbement des vergers pourrait s'avérer être une ressource intéressante en pleine période estivale pour les animaux à forts besoins nutritionnels. En contexte tropical et en situation de sècheresse, lorsque les précipitations sont faibles, les arbres semblent également faciliter le développement végétatif de la strate herbacée et favoriser la production de biomasse en rapport à des pâtures non agroforestières (*Moustakas et al., 2013*). En revanche, cette relation de facilitation évolue en compétition lorsque la ressource hydrique n'est pas limitante comme il serait possible de le retrouver sur les rangs de fruitiers irrigués en système arboricole. L'irrigation pourrait également être un facteur pénalisant la qualité et l'appétence de la ressource fourragère, notamment en termes de teneur protéique et de digestibilité (*Jensen et al., 2003 ; Küsters et al., 2021),* du fait la baisse du poids des feuilles relativement à celui des tiges et de l'accélération de la maturation de la strate herbacée (*Peterson et al., 1992*). Le manque de fibres dans la ration, favorisé par l'irrigation, serait également un facteur d'aggravation du comportement « écorceur » (*Keenan, 1986*).

Les effets de l'ombrage des arbres et de l'irrigation sur la productivité et la qualité de la strate herbacée en pleine période estivale semblent donc s'opposer et nous invitent à s'intéresser au potentiel fourrager de l'enherbement des vergers fruitiers aujourd'hui malheureusement encore très peu documenté. Ses caractéristiques nutritionnelles pourraient être proches d'un regain (i.e., herbe de deuxième coupe), du fait qu'il soit régulièrement broyé ou fauché par l'arboriculteur. Selon la classification *GERM Services*, ses valeurs nutritionnelles énergétiques et protéiques seraient respectivement comprises entre 0,70-0,85 UFL (/kg MS) et 55-125 PDIN (g/kg). Ces valeurs nutritionnelles peuvent répondre qualitativement et quantitativement à un ovin dépendamment de son état physiologique, de son poids et de l'objectif de performances zootechniques de l'éleveur (*Hassoun et al., 2018*). Pour ces raisons, il est extrêmement difficile de définir un enherbement type dont les caractéristiques nutritionnelles sont également très variables dépendamment de sa composition floristique, du stade phénologique des espèces présentes et des conditions pédoclimatiques (*Hassoun et al., 2018*). Les agriculteurs curieux de développer la pratique du pâturage ovin sous vergers se reposent donc sur des retours empiriques assez contradictoires. En effet, certains considèrent que la valeur nutritive de l'enherbement est suffisamment bonne pour faire pâturer l'intégralité de leur troupeau et leurs animaux à plus forts besoins (i.e., brebis gestantes, agneaux à l'engraissement), tandis que d'autres préfèrent faire pâturer leurs animaux aux plus faibles besoins (i.e., brebis vides, agnelles) (*Landais et Jousseins, 2019*).
Développer de nouvelles connaissances sur le potentiel fourrager des systèmes arboricoles est pourtant primordial pour mieux comprendre les origines du développement des comportements « écorceur » et « abroutisseur » et proposer des dispositifs de protection des arbres fruitiers suffisamment efficaces. En effet, des caractéristiques nutritionnelles énergétiques et protéiques déséquilibrées pourraient expliquer l'attrait des animaux pour les feuilles des arbres dont les valeurs nutritives pourraient potentiellement répondre aux critères de qualité des fourrages classiques et complémenter les besoins du troupeau (*Nahand et al., 2011 ; Emile et al., 2017*).

Enfin, au-delà, des caractéristiques nutritionnelles de la ressource fourragère, son accessibilité influe également sur la sélection alimentaire faite par les animaux. En effet, cette

dernière suit la théorie de l'alimentation optimale (TAO) (*Pyke et al., 1984, 1977)* consistant pour les animaux à maximiser leur ingestion de nutriments (i.e., vitesse d'ingestion d'énergie), et donc leur bilan énergétique, tout en en minimisant les coûts de recherche et de prélèvement associés (*Dumont, 1996 ; Ginane et al., 2008 ; Stephens et Krebs, 1986*). Ainsi, la sélection alimentaire va dépendre des préférences alimentaires, mais également de l'accessibilité des différents *items* alimentaires, c'est-à-dire des éléments de la végétation caractérisés par l'espèce végétale, le stade phénologique, l'état ou la combinaison de ces facteurs (*Ginane et al., 2008*)). Ainsi, les ruminants peuvent se détourner d'un fourrage de meilleure qualité au profit d'un fourrage de moindre qualité en raison d'une diminution de son accessibilité (*Dumont et al., 1995*). La conduite basse-tige des arbres fruitiers rend par exemple la ressource fourragère arborée facilement accessible par les ovins et pourrait de ce fait faciliter le développement de comportements à risques comme le comportement « abroutisseur ».

(2) La ressource arborée

Dans une étude menée à l'est de la Turquie en début d'automne, *Temel et al., (2015)* ont démontré que les feuilles d'arbres, et notamment de fruitiers à noyaux tel que le pêcher, présentaient des valeurs fourragères égales voire supérieures aux fourrages herbacés communément utilisés à la même période. Même si les conditions pédo-climatiques diffèrent du contexte d'étude dans lequel ce travail s'inscrit (précipitation moyenne / an – Igdir : 232mm vs. Drôme : 850-950mm ; température moyenne / an – Igdir : 13,8°C vs. Drôme : 18,0°C), ces résultats amènent à réfléchir sur le potentiel fourrager des arbres fruitiers en période estivale. En effet, tout comme la ressource herbacée évolue au cours du temps (*Le Goffe et al., 1993*), les valeurs nutritives des feuilles évoluent également en fonction de la saison et de la phase phénologique de l'arbre. Au printemps, en début de développement, les feuilles sont riches en protéines puis voient leurs valeurs nutritionnelles diminuer en parallèle de la hausse de leur teneur en fibres (*Roukos, 2016 ; Parissi et al., 2005).* La strate herbacée suivant une dynamique de maturation similaire en période estivale, la consommation du feuillage par les ovins pâturant sous vergers pourrait dépendre de la qualité nutritionnelle de la ressource herbacée présente aux pieds des arbres. Ces propos peuvent être soutenus par *Fitzgerald et al. (1986)* dont l'étude démontre qu'il existe une corrélation positive entre la maturation de la strate herbacée, et donc sa lignification, et la tendance des bovins à s'attaquer aux arbres (essence caduque – *Populus tremula* – Tremble). Une corrélation positive entre la quantité de biomasse herbacée disponible et la tendance des bovins à s'attaquer aux arbres a également été mise en lumière par *Humphrey et al., 1998*. Ces observations sont néanmoins à nuancer car les bovins ont un comportement de pâturage différencié de celui des ovins, notamment grâce à un système digestif facilitant la consommation de couverts herbacés fibreux (*Boissy et al., 2009*). Ils sont également responsables de dommages bien plus importants que les ovins en contexte arboricole (*López-Sánchez et al., 2016 et 2021*).

Le développement du comportement « abroutisseur » ne dépend pas seulement de la qualité et de la quantité de la ressource fourragère disponible mais également de l'appétence des organes végétatifs des arbres fruitiers (*McEvoy et al., 2008 ; Sharrow, 1994*). *Hodgson (1979)* et *Stuth et al. (1991)* décrivent l'appétence comme étant une caractéristique inhérente au végétal se traduisant par un goût plaisant incitant l'animal à faire une sélection entre deux ou plusieurs espèces végétales. En contexte forestier, *Zamora-Nascal et al. (2020)* a démontré que les espèces du genre *Pinus* présentaient une appétence différentielle caractérisée par leur résistance foliaire, la teneur hydrique de leurs feuilles et la présence de métabolites

secondaires anti-herbivores (i.e., α-pinene ; *Iason et al., 2005*). La résistance foliaire et la présence de certains métabolites secondaires seraient corrélées négativement à l'intensité d'abroutissement des ovins sur les arbres. A l'inverse, la teneur hydrique des feuilles y serait positivement corrélée. Ces observations faîtes sur le genre *Pinus* pourraient expliquer l'attractivité supérieure des ovins pour les feuilles d'essences caduques (*Sharrow et al., 1994*), telles que les feuilles de fruitiers, des organes végétatifs tendres, riches en eau et en azote en période estivale (*Millard et al., 1996*).

L'étude de *López-Sánchez et al. (2020)* réalisée non pas sur le feuillage mais sur les dégâts d'écorçage après une trentaine d'années de pâturage ne démontre à l'inverse aucune différence significative de sévérité et d'occurrence d'écorçage entre espèces fruitières de la même famille (*pommiers – Malus spp., poiriers – Pyrus spp., et pruniers – Prunus spp.).* Ces résultats suggèrent que l'appétence de l'écorce des arbres et la sélection qui en est faite par les ovins ne diffèrent pas. Dans cette étude, la longue durée de pâturage des herbivores dans les vergers et les dégâts répétés années après années ne permettent cependant peut-être pas de déterminer les éventuels différences inter-espèces et les déterminants potentiellement responsables du développement du comportement « écorceur ».

iii. LES DÉTERMINANTS AGRONOMIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX

La probabilité de voir des ovins développer un comportement « abroutisseur » ou « écorceur » dépend également des caractéristiques de la parcelle arboricole (densité, âge et conduite des arbres), de la saisonnalité et des facteurs externes regroupant le climat, la topographie et l'aménagement (eau/pierre à sel) du site (*Öllerer et al., 2019*).

Selon *Sharrow et al. (1994)*, la probabilité d'observer des dégâts sur les arbres est d'autant plus grande que la densité d'arbres est faible sur la parcelle. *Anderson (1985)* a également observé cette corrélation négative entre la densité d'arbres de genre *Pinus* et la consommation du feuillage et les dégâts d'écorçage par les ovins. Il suggère qu'une faible densité d'arbres sur une même parcelle induit une plus forte pression des ovins sur la ressource arborée, donc par arbre, et proportionnellement des dégâts bien plus sévères. Ces résultats laissent penser que la forte densité des arbres fruitiers cultivés en systèmes arboricoles basse-tige (1667 arbres/ha en moyenne) pourrait diluer la sévérité des attaques. En revanche, l'occurrence des attaques sur les écorces n'est pas forcément corrélée à la densité d'arbres (*López-Sánchez et al., 2020)*, ce qui reste un frein majeur pour les arboriculteurs donc l'acceptabilité d'observer des dégâts sur leurs arbres est proche de zéro. *Anderson (1985)* a également observé que la fréquence et la sévérité d'écorçage diminuaient avec la hausse du diamètre des arbres et donc leur âge, et que les dégâts d'abroutissement et d'écorçage augmentaient à proximité des zones de repos et d'abreuvement, comme l'ont observé les éleveurs et arboriculteurs de projet Brebis_Link (*Landais et Jousseins, 2019*) et *Geddes et al. (2009)* sur les ovins de race shropshire.

La conduite des arbres et leur architecture peuvent également être des facteurs de variation quant au développement du comportement « abroutisseur » et « écorceur », et aux dégâts crées sur les arbres. En effet, *Triches et al. (2020)* ont observé que l'occurrence de dégâts de bovins sur branches, feuilles et rameaux d'*Eucalyptus benthamii* étaient bien supérieurs lorsque les arbres n'étaient pas taillés (100%) que lorsqu'ils l'étaient (9,6% sur feuilles/rameaux vs 6,2% sur branches) (i.e., taillé : suppression des branches dont la hauteur

d'insertion est inférieure à la moitié de la hauteur de l'arbre). En revanche, aucune différence significative en termes d'occurrence d'écorçage entre la modalité « taillée » (78,5%) et la modalité « non taillée » (86,5%) n'a été observée. La sévérité globale des dégâts reste néanmoins supérieure lorsque les arbres sont non taillés. Ces résultats corroborent ceux de *Hartley et al. (1997)* démontrant que l'architecture de l'arbre, tels que sa largeur de canopée, influençait positivement le comportement « abroutisseur » des cervidés en l'accentuant. Ces études questionnent donc l'effet de la conduite des arbres fruitiers (gobelet, palissé, taille courte ou longue, conduite centrifuge, mur fruitier, etc.) sur le comportement « abroutisseur ».

Ce dernier semble aussi dépendre de la période de pâturage et de la saisonnalité (*Sharrow et al., 1994*). *McEvoy et McAdam (2008)* ont par exemple observé en contexte forestier (arbres à feuilles caduques) un taux de dégâts sur branches et écorce supérieur en automne qu'en hiver. Selon eux, ces différences peuvent s'expliquer par un taux d'azote intrinsèque et une appétence des arbres différentiels en cours d'année, ainsi que par une forte variabilité en termes de qualité et de quantité de fourrage (*Millard, 2001*). A l'échelle d'une année de pâturage, *Hester et al. (1996)* ont observé que les dégâts sur jeunes pousses (1-3 ans) et jeunes arbres forestiers (4-7 ans) à feuilles caduques (*Betula pubescens, Sorbus aucuparia*, *Fraxinus excelsior)* étaient plus importants en automne/hiver (octobre-mai) qu'en printemps/été (mai-septembre), pleine période de végétation. En revanche, les conséquences néfastes traduites par le nombre de jeunes arbres abroutis après 7 ans d'étude étaient significativement bien plus élevées dans les modalités pâturées au printemps/été que dans la les modalités pâturées en automne/hiver (100% vs. 60% avec 2,1 – 3,8 ovins/ha). Autrement dit, la probabilité d'observer des dégâts sur les arbres fruitiers en période estivale pourrait être bien plus faible qu'en période hivernale mais les dégâts engendrés beaucoup plus importants. Une hétérogénéité en termes d'abroutissement est également observable en période estivale. *Leininger et al. (1989)* ont ainsi observé que les ovins consommaient préférentiellement les ressources arborées (sapin de Douglas – *Pseudotsuga menziesii*) en mai plutôt qu'en juillet et en août du fait de la reprise de la végétation associée au débourrement, au développement de nouvelles pousses, et à une meilleure appétence.

e) Des dispositifs de protection pour limiter les risques liés à la pratique

Pour limiter le développement du comportement « abroutisseur » et « écorceur », et les dégâts potentiels associés, la mise en place de dispositifs de protection sur les arbres et/ou sur les brebis semble être un levier intéressant pour les arboriculteurs désireux de faire pâturer leurs vergers par des ovins. Ces derniers sont multiples et peuvent être d'ordre (i) physique, utilisés sur les arbres (manchons de protection, filets etc.) (*López-Sánchez et al., 2020 ; McAdam, 1991 ; Van Lerberghe, 2013*) ou sur les brebis (muselières de type « Winebaa ») ou (ii) répulsif basés sur la peur, le goût, l'aversion alimentaire ou la douleur (*Ward et Williams, 2006*).

i. DISPOSITIFS DE PROTECTION PHYSIQUES

Les dispositifs de protection physique peuvent être portés par les arbres sous forme de manchons de protection protégeant le tronc des arbres contre les dégâts d'écorçage. *López-Sánchez et al. (2020)* ont démontré que la protection des troncs à l'aide de manchons

permettait de diminuer les dégâts d'écorçage à hauteur de 95% (*cf. figure 10.a*). La forme des manchons de protection semble également être un facteur discriminant impactant leur longévité et leur résistance. Les dégâts sur manchons observés par *McAdam et al. (1991)* provoqués par le pâturage ovin étaient en effet supérieurs lorsque les manchons étaient de forme carré (30,4%) que de forme ronde (3,3%). Le choix des matériaux utilisés (plastique, acier etc.) semble également porté son importance car ils peuvent avoir un impact sur la vitalité des arbres fruitiers et la biodiversité présente sur le tronc de l'arbre (e.g. impact négatif des métaux lourds sur les bryophytes (*Oishi et al., 2011*)). Les manchons totalement imperméables en matière plastique peuvent en effet limiter la circulation de l'air et provoquer des points chauds entre le tronc et le manchon de protection, aboutissant éventuellement à des brulures du tronc de l'arbre (*Coopérative ValSoleil, comm. pers.*).
Les dispositifs de protection physique peuvent également être portés par la strate arborée de l'arbre. Les filets alt-carpo utilisés contre le carpocapse[3] recouvrent l'intégralité de la strate arborée, de haut en bas, et se ferment par le bas à l'aide de clips. Selon divers retours empiriques d'arboriculteurs, ils pourraient porter une double fonctionnalité et être utilisés en période estivale pour protéger la strate arborée de l'abroutissement *(G. Fichepoil et J. Carle, comm. pers.).*

Les muselières pour mouton, développées par l'entreprise Winebaa ® sont un autre dispositif de protection physique porté ici par les brebis. La muselière s'ouvre lorsque les brebis baissent la tête puis se rabat lorsqu'elles la lèvent grâce à un système de contrepoids. Le dispositif permettrait d'éviter l'écorçage des troncs et la consommation en hauteur de la strate arborée sans impacter le comportement « brouteur » de la brebis. Le dispositif n'est aujourd'hui plus commercialisé mais intéresse toujours arboriculteurs et éleveurs, malgré son éventuel impact sur le bien-être animal.

ii. DISPOSITIFS DE PROTECTION RÉPULSIFS

Ward et Williams (2010) classent les dispositifs de protection répulsifs en 4 catégories basées sur la peur, la douleur, l'aversion alimentaire et le goût.
Les dispositifs répulsifs jouant sur la peur consistent à émettre une odeur imitant celles d'éventuels prédateurs. Les dispositifs basés sur la douleur ont pour objectif d'induire un conditionnement comportemental en affectant les animaux physiquement au niveau des yeux, du nez, de la bouche ou du cou (fils électriques - *Niles et al., 2018 ; Melville K. – comm. pers.*). Les dispositifs répulsifs basés sur l'aversion alimentaire consistent à créer pour les animaux une situation gastro-intestinale inconfortable (e.g., chlorure de lithium - *Ralphs et al., 1999 ; Manuelian et al., 2014)* tandis que les dispositifs jouant sur le goût visent la baisse d'appétence *(Eason et al., 1996 ; Suárez et al., 2002 ; Szukiel et al., 2000*). Ces derniers concernent la plupart du temps les autres catégories de dispositifs répulsifs et peuvent être donc confondus.

Les dispositifs de protection répulsifs basés sur le goût et les odeurs peuvent être badigeonnés sur les troncs ou pulvérisés sur les feuilles des arbres fruitiers (*Szukiel et al., 2000*). *Eason et al. (1996)* ont par exemple démontré que l'application de badigeons abrasifs

[3] « Cydia pomonella, le carpocapse des pommes et des poires, est un lépidoptère de 18 mm d'envergure, dont la larve se développe à l'intérieur des fruits. Cette dernière trouve refuge dans différentes plantes hôtes comme l'abricotier, le noyer, et parfois le pêcher ou encore le prunier. En France, on estime que ce ravageur est responsable de 30 à 40% des traitements insecticides sur les fruits à pépins. » (*Gabelle, 2021*)

(Wobra ®) sur 1.5m de hauteur d'arbres forestiers (*Fraxinus excelsior*) permettait de réduire significativement l'écorçage créé par les ovins : -92% en février de l'année n d'application, -94% en juin, -79% en février de l'année n+1 par rapport au témoin non protégé. L'utilisation de fumier en sec ou humide est un autre moyen de protection répulsif prometteur : *Suárez et al. (2002)* ont démontré qu'il n'existait aucune différence significative en termes de propriétés répulsives entre du fumier sec et humide et que le fumier d'origine bovine détenait les meilleures propriétés répulsives chez les ovins par rapport au fumier d'origine ovine, porcine, avicole (qté nourriture consommée en présence de fumier (g) – bovin : 136 ± 74,5 ; ovin : 183 ± 67,1 ; porcin : 189 ± 65.6 ; avicole : 197,5 ± 78,4 – p-value = 0.02). Les ovins non exposés au fumier ne présentaient pas non plus de réelles différences significatives en termes de nourriture consommée (g) avec les ovins exposés au fumier ovin, porcin et avicole (207 ± 61,5). Selon *Dohi et al. (1991)*, ces propriétés répulsives caractérisées par un comportement d'évitement des animaux vis-à-vis de la ressource fourragère proviendraient en grande partie de l'odeur du fumier qui diminuerait l'appétence de la ressource fourragère disponible. Ce comportement d'évitement pourrait également être lié au risque parasitaire, *Cooper et al. (2000)* ont en effet démontré que les ovins évitaient les zones contaminées par les fèces en zone pâturée et qu'ils utilisaient les déjections comme indice du risque parasitaire.
L'efficacité des produits répulsifs basés sur l'odeur et le goût reste difficile à démontrer du fait de leur faible persistance sur les tissus des végétaux. De plus, les animaux tendent à apprendre à différencier la strate arborée traitée de la strate arborée non traitée, ne permettant pas durablement l'induction d'un comportement non « abroutisseur » et « écorceur » (*Provenza, comm. pers. dans Haines et al., 1997*).

Les dispositifs de protection répulsifs basés sur l'aversion alimentaire et la douleur consistent à conditionner l'animal à ne pas consommer les organes végétatifs des arbres fruitiers (i.e., écorce, feuilles, rameaux). L'utilisation du chlorure de lithium, responsable de nausées et de gênes gastro-intestinales, a déjà fait ses preuves pour prévenir la consommation de plantes toxiques (*Provenza et Ralphs, 1999*), de feuilles de vigne (*Burrit et al., 2013*), de citronniers (*Mazorra et al., 2001*) et d'oliviers (*Manuelian et al., 2014*). En administrant 200 et 225mg LiCl/kg PV (poids vif), *Manuelian et al. (2014)* ont réussi à faire persister un comportement d'aversion alimentaire pendant 33 jours en moyenne pour la première dose et pendant 54 jours en moyenne pour la deuxième. Le chlorure de lithium est cependant questionné du point du vue du bien-être animal. Les fils électriques peuvent également être utilisés pour conditionner les brebis à pâturer en période de végétation sans consommer la strate arborée des arbres fruitiers, ce dont témoignent certains viticulteurs de Nouvelle-Zélande *(Niles et al., 2018 ; Kelly Mulville – retour empirique) (cf. figure 10.b)*.

Le choix du dispositif de protection mis en place est le résultat d'un compromis entre son efficacité, son prix, son temps d'implémentation et sa pérennité au cours du temps. Or, il n'existe pour ainsi dire aucun référentiel permettant d'arbitrer ces critères dans les conditions d'une exploitation fruitière. Une évaluation appropriée de ces dispositifs de protection en contexte arboricole permettrait donc d'apporter des références techniques supplémentaires et de faciliter la prise de décisions par les éleveurs et les arboriculteurs souhaitant s'essayer à la pratique tout en minimisant les risques de dégâts.

FIGURE 10. BREBIS PÂTURANT DANS UN VIGNOBLE EQUIPE DE FILS ELECTRIQUES EN PERIODE DE VEGETATION (A) (SOURCE : KELLY MULVILLE) **; BREBIS PÂTURANT DANS UN VERGER DE POMMIERS EQUIPES DE MANCHONS DE PROTECTION (GAINE AGRICOLE) (B)** (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)

III. PROBLÉMATIQUE ET HYPOTHESES

Cette description sommaire des déterminants responsables des comportements « abroutisseur » et « écorceur » des ovins pâturant sous vergers met en avant la complexité des interactions entre l'animal, l'enherbement et l'arbre fruitier en période de végétation. Le pâturage ovin sous vergers semble néanmoins être une pratique d'intérêt pour les arboriculteurs et les éleveurs Drômois mais également à risque du fait du peu de références techniques existantes sur la pratique. Les principales préoccupations des arboriculteurs s'essayant à la pratique sont les dégâts d'écorçage et d'abroutissement. Malheureusement, il n'existe pour l'instant aucuns moyens de protection suffisamment efficaces pour protéger les arbres fruitiers de tels comportements. Pour sécuriser la pratique, Il parait donc indispensable de trouver des moyens de protection efficaces. Ce constat amène donc à se demander **dans quelles mesures la pratique du pâturage ovin sous vergers, dépendamment des moyens de protection disponibles, amène au développement des comportements « abroutisseur » et « écorceur » chez les ovins.**

De cette question de recherche découlent plusieurs hypothèses :

1. Le comportement « abroutisseur » et « écorceur » des ovins se développe au pâturage sous vergers et s'accentue au cours du temps.
2. Les dégâts sur fruitiers associés aux comportements « abroutisseur » et « écorceur » peuvent être limités à plus ou moins long terme par la mise en place de dispositifs de protection portés par les arbres ou les brebis.

Pour répondre à la problématique posée, le comportement « abroutisseur » et « écorceur » d'ovins pâturant sous vergers et les dégâts engrangés ont été évalués dans différents contextes de protection des arbres fruitiers. Les éléments de réponse apportés permettront de mieux comprendre la dynamique de développement de comportements à risque en contexte arboricole et d'apporter des solutions techniques de protection des arbres aux futurs agriculteurs souhaitant s'essayer à la pratique.

IV. MATERIELS ET MÉTHODES

Pour répondre à la problématique présentée ci-dessus, infirmer ou confirmer les hypothèses faites, et notamment évaluer et quantifier le degré des attaques sur fruitiers tout en étudiant le comportement des ovins sous vergers en cours de pâturage, trois essais testant différents dispositifs de protection dans différentes conditions ont été mis en place (*cf. figure 11).*

1. Le 1er essai **(E1)** a été réalisé en période printanière (mai) et consistait à faire pâturer un troupeau d'agnelles de race shropshire (ovin viande), une race connue pour ne pas s'attaquer aux écorces des arbres, dans un verger de pommiers biologiques palissés.
   Localisation : L'EPLEFPA du Valentin (26500 - Bourg-Lès-Valence).

2. Le 2ème et le 3ème essais **(E2 et E3)** ont été réalisés en période estivale (juillet) dans un verger de pommiers basses tiges palissés pâturé par un troupeau de brebis mères gestantes de race pré-alpes (ovin viande).
   Localisation : 26270 – Loriol-Sur-Drôme.

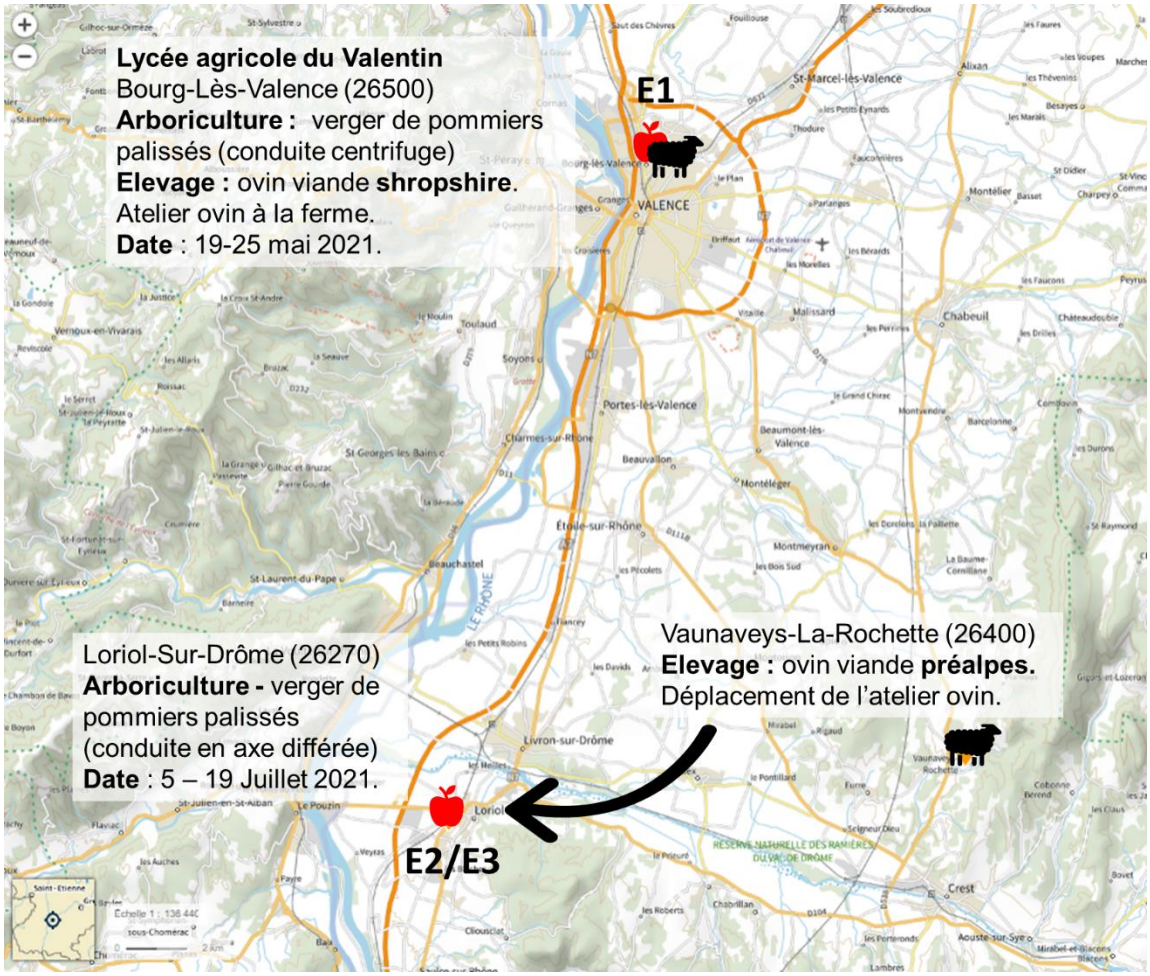


FIGURE 11. CARTE DES FERMES DU PROJET ECORCE (2021) ACCEUILLANT LES ESSAIS EXPERIMENTAUX SUR LES DISPOSITIFS DE PROTECTION (SOURCE : C.RIVOIRE FIBL FR)

a) Sites d'études et dispositifs expérimentaux « ECORCE 2021 »

i. ESSAI 1 : PÂTURAGE PRINTANIER SOUS LES POMMIERS

(1) Site d'étude

L'exploitation - L'EPLEFPA du Valentin est située en zone péri-urbaine de la ville de Bourg-Lès-Valence et s'étale sur 65 ha de terres agricoles. L'exploitation détient deux ateliers dont un atelier principal en bovins lait et un atelier secondaire arboricole concernant 4,4ha de vergers (pommes, prunes, cerises) dont la production est vendue en vente directe ou et/ou transformée sur l'exploitation. Les deux ateliers sont conduits en agriculture biologique. L'exploitation sert de support pédagogique pour les lycéens et les élèves du CFPPA et rassemble une main d'œuvre de 6,5 ETP (Equivalent Temps Plein).
Lieu d'accueil du salon Tech&Bio et exploitation pilote du réseau « Ecophyto 2018 », l'exploitation du Valentin s'inscrit depuis plusieurs années dans une démarche d'innovation agronomique des systèmes arboricoles conduits en agriculture biologique. Dans ce contexte, un intérêt tout particulier s'est porté à la pratique du pâturage ovin sous vergers pour en maîtriser l'enherbement et un atelier ovin a été développé sur la ferme fin avril 2021.

Le système de culture - L'essai a eu lieu au sein du même système de culture, les parcelles d'essai étaient donc conduites uniformément en termes d'itinéraire technique et de matériel végétal. Les pommiers étaient conduits en agriculture biologique, palissés et menés en conduite centrifuge (*Lauri et al., 2004*). Le choix a été fait de réaliser les essais sur une seule et unique variété de manière à ne pas faire peser le facteur variétal dans l'expérimentation, notamment au regard de la phénologie des arbres fruitiers qui pourrait influencer la présence ou non de dégâts sur les branches fruitières. Les pommiers de variété « Dalinette » C.O.V ont été plantés à 4x1,5m (1667 arbres/ha) en 2006/2007 (i.e., 15ème feuille) sur des porte-greffes (PG) PI80 (0,25ha) et Pajam2 (0,44ha) pouvant éventuellement générés une variabilité en termes de développement végétatif. Les pommiers étaient répartis sur 11 rangs regroupés en 3 ilots respectivement de 3 / 4 / 4 rangs au sein du verger. Les îlots étaient séparés par d'autres variétés de pommiers appartenant au même système de culture (Dalinsweet, Crimson Crisp et Opal) *(cf. figure 12*). L'enherbement du verger a été semé l'année de plantation des pommiers et n'a depuis subi aucune intervention. L'irrigation était localisée sur le rang sous forme de micro-jet pendulaire. Dans le cadre de la lutte antigel, l'inter-rang et le rang du verger ont été pour la dernière fois respectivement broyés et fauchés à 7cm et 3,5cm de hauteur en mi-mars 2021.
D'après les dernières analyses de sol réalisées en 2016, le sol de la parcelle d'essai était sablo-limoneux (14% d'argile, 26% de limon et 60% de sable), neutre (pH ~ 7,2) et riche en matière organique (3%). Le climat était de type méditerranéen altéré, avec des été chauds et secs et des hivers humides. La pluviométrie était estimée à 500mm/an en moyenne avec des températures maximales et minimales moyennes de 19,7°C (max – 38,1°C) et 10.2°C (min -2,5°C) (*Station météo de Bourg-lès-Valence, 2020*).

Le système d'élevage - Le troupeau utilisé dans le cadre de l'essai était un troupeau de 15 agnelles de race Shropshire nées en début janvier 2021 et achetées auprès de l'Association Shropshire de France (*cf. figure 12*). Les agnelles étaient depuis leur naissance conduites uniformément en bergerie et nourries avec du foin à volonté et des compléments à base de 2/3 de céréales et 1/3 de tourteaux de colza (0.5kg/j/agnelle). Dans ce sens, le troupeau était considéré comme homogène en termes d'âge et d'historique.

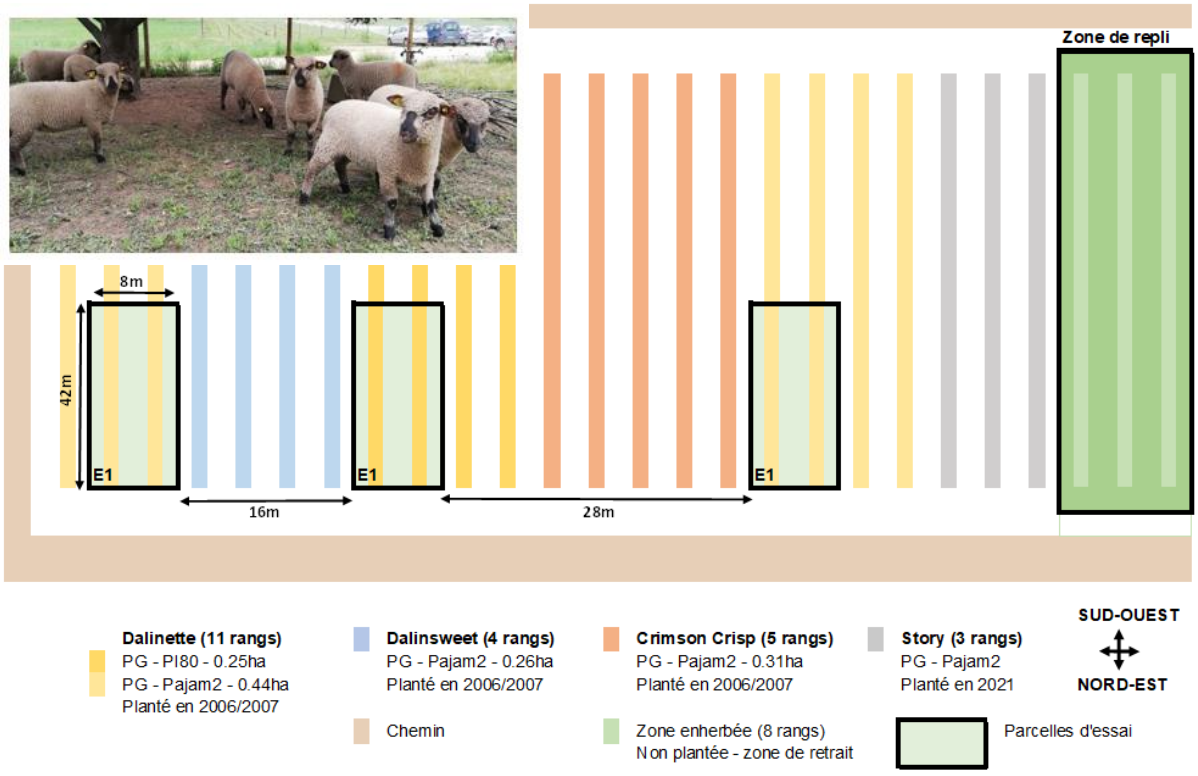


FIGURE 12. SCHEMA DESCRIPTIF DE L'ENVIRONNEMENT DES PARCELLES DE L'ESSAI 1 DU SITE EXPERIMENTAL DU LYCEE AGRICOLE DU VALENTIN ; PHOTO DU TROUPEAU D'AGNELLES DE RACE SHROPSHIRE (SOURCE : C.RIVOIRE – FIBL FR)

(2) Dispositif expérimental

L'essai 1 **(E1)** mis en place sur le site du Valentin consistait à faire pâturer 3 lots de 5 agnelles de race Shropshire dans un verger de pommiers biologiques palissés conduit uniformément selon 3 modalités de protection de la strate arborée des arbres fruitiers *(cf. figure 13)* :

- ⇨ Une modalité « fils électriques » (FE) où les arbres étaient protégés par des fils électriques tendus sur le rang d'arbres fruitiers et positionnés en dessous des premières branches charpentières (<1,20m de hauteur). Un courant de 3000 volts produit par un électrificateur (gallagher) passait dans les fils tout au long de l'essai. Le courant était vérifié quotidiennement.
- ⇨ Une modalité « détournée » (D) où un affouragement et des jouets en bois en forme de tronc d'arbre ont été mis à disposition des agnelles en début d'essai. Le fourrage apporté dans trois bacs (volume de 30L) n'a pas été renouvelé par la suite. La quantité (kg) proposée est inconnue. Les jouets en bois au nombre de trois étaient d'essences

forestières différenciées (1x pin sylvestre, 2x chêne pédonculé) et se caractérisaient par une bûche de bois empalée sur un fer à béton torsadé. Les jouets étaient positionnés en hauteur à une distance inconnue du sol. Leur hauteur et leur diamètre sont également inconnus.

⇨ Une modalité « témoin » (T) non protégée permettant d'accéder à la cinétique de déclenchement du comportement « abroutisseur » en fonction de la ressource fourragère disponible.

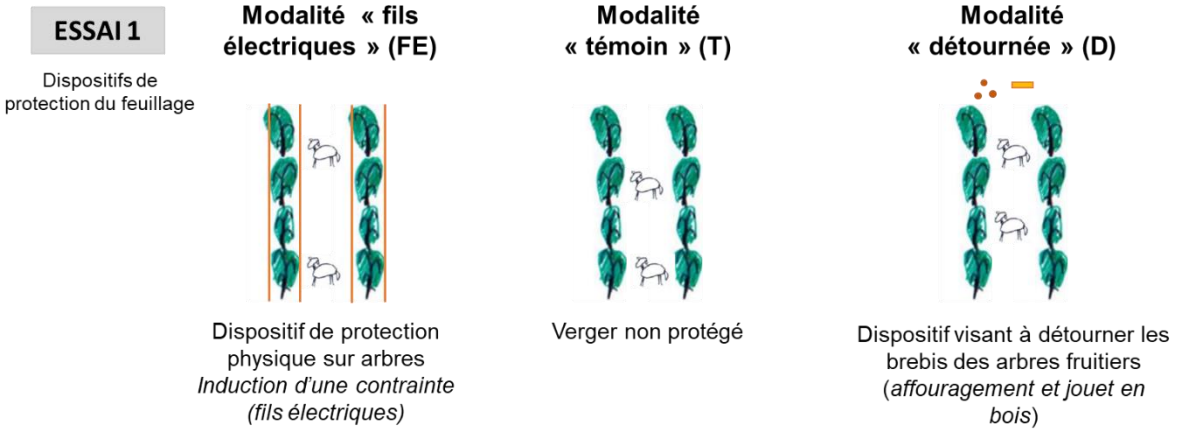


FIGURE 13. SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE L'ESSAI 1 MIS EN PLACE AU LYCEE AGRICOLE DU VALENTIN ; DISPOSITIF ELECTRIQUE DE LA MODALITE « FE » (A) ; BAC D'AFFOURAGEMENT DE LA MODALITE « D » (B) ; JOUET EN BOIS DE LA MODALITE « D » (C) (SOURCE : C.RIVOIRE – FIBL FR)

Les lots ont été définis de manière à conserver un poids moyen des agnelles similaire (T : 29,09 ± 1,90 kg ; D : 28,21 ± 1,67 kg ; FE : 28,89 ± 1,98 kg – p-value = 0,97). Le troupeau a reçu une période d'acclimatation à l'environnement du verger de minimum 15 jours de manière à limiter les biais comportementaux liés à la découverte d'un nouvel environnement (*Ralphs et al., 1999*). Ce processus d'acclimatation réalisé dans une zone de repli enherbée adjacente aux vergers (*cf. figure 12*) a été l'occasion pour les agnelles de transitionner leur régime alimentaire en sec à aqueux, exclusivement à l'herbe, et de découvrir la clôture électrique. Les trois lots d'agnelles ont pâturé 6 jours, du 19 mai (12h) au 25 mai (12h), dans trois parcs distincts de 340m². La taille des parcelles d'essai a été définie dépendamment de la hauteur d'herbe mesurée et de l'intervalle de temps disponible entre deux interventions techniques (pulvérisation) nécessitant la sortie du troupeau et donc l'arrêt de l'expérimentation. L'ambiance microclimatique (température, humidité, ombrage/ensoleillement) du verger était considérée comme uniforme et non discriminante au regard du comportement des agnelles.

Chaque modalité contenait deux rangs de pommiers et était clôturée à l'aide de filets électriques à 3000 volts de 1,2m de haut. Les modalités étaient suffisamment espacées les unes des autres de manière que le comportement des agnelles au contact d'un des dispositifs de protection ne vienne pas impacter le comportement des autres (vision obstruée par 4-5 rangs de pommiers sur une distance de 16 à 28m de long). Les bouts de rangs étaient équipés d'un dispositif d'occultation visuelle et l'abreuvoir et la pierre à sel étaient isolés du passage et installés en bout de rang afin d'éviter les attroupements au cœur du verger.

ii. ESSAIS 2 ET 3 : PÂTURAGE ESTIVAL SOUS LES POMMIERS

(1) Site d'étude

L'exploitation - T'Air de Famille est un GAEC (Groupement agricole d'exploitation en commun) dirigé par Virginie et Yann Houlette, arboriculteurs, situé dans la plaine du Rhône à Loriol-Sur-Drôme. L'exploitation de 12 ha, dont 7ha sont dédiés à l'arboriculture, produit en agriculture biologique des fruits à noyaux et à pépins et notamment des pommes, des poires, des abricots, des kiwis et des mirabelles depuis 2012. Ils vendent leur production en circuit-court et en transforment une partie en jus, compotes et nectars. 3,5 ETP travaillent sur l'exploitation en plus des saisonniers.
Virginie et Yann ont accepté d'accueillir le deuxième et le troisième essai du projet dans une de leur parcelle de pommiers frappée par le gel. L'absence de production et le projet d'arrachage des pommiers a permis de tester des dispositifs de protection contre les dégâts d'écorçage, sans créer d'inquiétudes particulières chez les arboriculteurs partenaires.

Le système de culture - Comme lors du précédent essai, l'expérimentation a eu lieu au sein du même système de culture, les parcelles d'essai étaient donc conduites uniformément en termes d'itinéraire technique et de matériel végétal. Les pommiers étaient palissés et conduits en axe différé. Les pommiers ont été plantés en 1996/1997 (i.e., 25ème feuille) en 1,25x3,5m (4375 arbres/ha) sur des porte-greffes de type M9 - Pajam2 et étaient de variété « Braeburn ». Les pommiers « Braeburn » étaient répartis sur 10 rangs regroupés en 3 îlots respectivement de 4 / 4 / 2 rangs au sein du verger. Les îlots étaient séparés par deux rangs de pommiers de variété « Granny Smith» appartenant au même système de culture (*cf. figure 14*).
L'enherbement du verger a été semé l'année de plantation des pommiers et n'a depuis subi aucune intervention. L'irrigation était en goutte à goutte au pied de l'arbre mais n'a pas été réactivée après les gels printaniers (début avril 2021) du fait de la perte de la majorité de la production. Le rang étant travaillé et l'irrigation localisée sur le rang de fruitier, l'absence de cette dernière peut être considérée comme non-impactante vis-à-vis de la dynamique de pousse de l'herbe sur l'inter-rang. Néanmoins, ce n'est pas forcément le cas pour les arbres fruitiers dont le développement végétatif, les caractéristiques nutritionnelles et l'appétence de leurs organes végétatifs peuvent être influencés par les déficits hydriques (*Zamora-Nasca et al., 2020*). Les interventions de taille et de travail du sol sur le rang ayant également été interrompus depuis les gels printaniers, le rang a été nettoyé des broussailles et les branches très basses ont été supprimées avant l'essai 1 afin de travailler dans des conditions de conduite proches d'une situation arboricole standard. Le manque de temps lors de la préparation de l'essai 2 n'a pas permis de réitérer ces interventions avant-essai. Le dernier broyage sur l'inter-rang a été réalisé 3 semaines avant le début de l'essai 1 et 4 semaines

avant le début de l'essai 2. Le sol est décrit comme argileux mais aucune analyse pédologique disponible ne permet d'en préciser la texture et les caractéristiques (pH, % de matière organique). Les conditions climatiques sont celles de la vallée du Rhône, similaires à celles décrites lors du premier essai (*Station météo de Bourg-lès-Valence, 2020*).

Le système d'élevage - Le troupeau utilisé dans le cadre de l'essai était un troupeau de 15 brebis mères de race pré-alpes de 4 à 11 ans. Au moment de l'essai, les brebis étaient en fin de gestation, leur mise bas étant prévue pour le mois d'août. Avant l'essai, les brebis étaient à l'herbe avec une consommation quotidienne moyenne de 1.5 kg/MS (*Kessler, 2003*) et conduites uniformément par l'éleveur. Du fait de leur âge hétérogène, les brebis présentaient un historique différent mais détenaient toutes une première expérience de pâturage en environnement arboricole aux dires de l'éleveur.

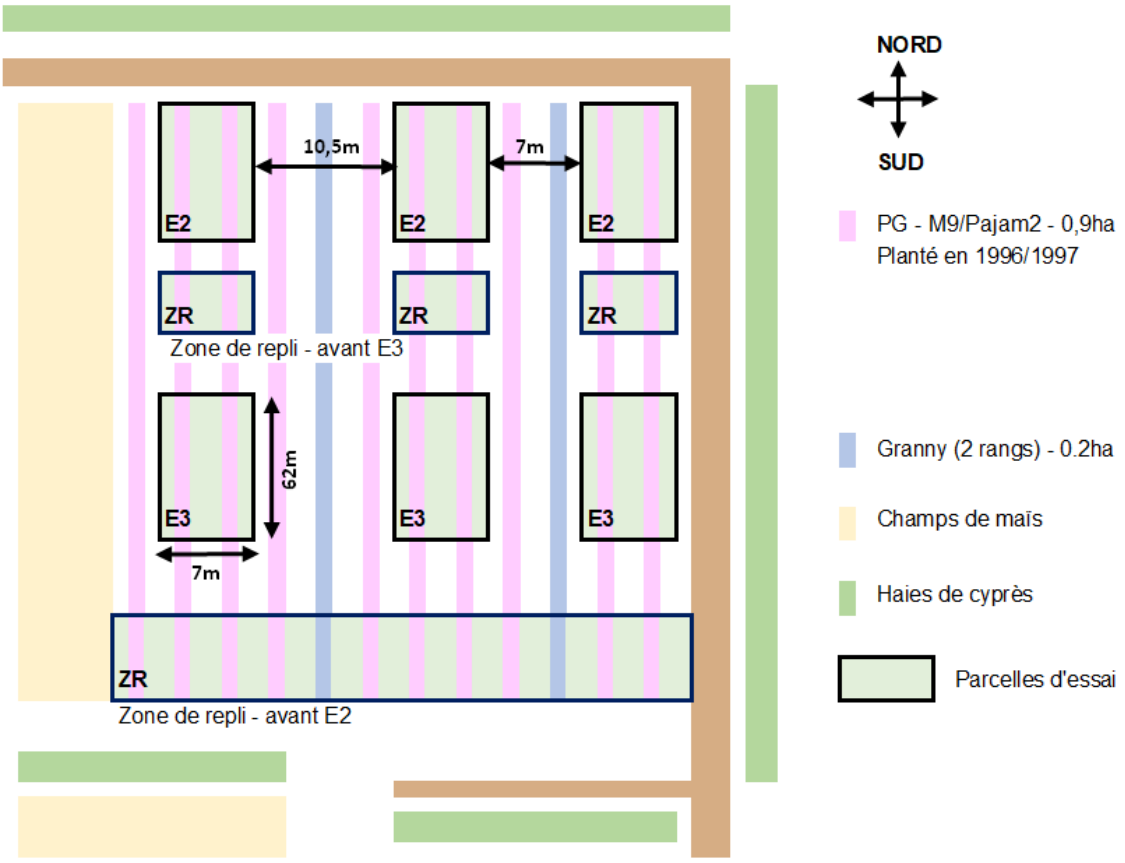


FIGURE 14. SCHEMA DESCRIPTIF DE L'ENVIRONNEMENT DES PARCELLES D'ESSAI 2 et 3 DU SITE EXPERIMENTAL DE LORIOL (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)

(2) Dispositif expérimental

Les deux essais mis en place dans la plaine de Loriol-Sur-Drôme ont été réalisés successivement avec le même troupeau et dans le même verger de pommiers. Ils consistaient chacun à faire pâturer trois lots de cinq brebis de race pré-alpes selon trois modalités de protection des arbres.

L'essai 2 (E2) était axé sur l'évaluation de moyens de protection des troncs *(cf. figure 15)* :

- ⇨ Une modalité « badigeon » (B) où le tronc des arbres fruitiers a été badigeonné du sol jusqu'à la couronne des premières branches charpentières d'un mélange d'argile arboricole (Solkalciarbo®, AgriSynergie), de sable fin (sable jaune d'Ambonil, < 0.4mm) et de matière fécale fraîche issue du troupeau utilisé dans le cadre de l'expérimentation. Les excréments ont été pilé (2 volumes), puis mélangé avec le sable (4 volumes) puis l'eau (3 volumes) et le Solkalciarbo® (3 volumes). L'application du badigeon a été faite en une seule fois en début d'essai jusqu'à ce que la couverture du tronc soit totale. Les composés du produit ont été sélectionnés de manière à être facilement accessibles pour un éleveur ou un arboriculteur. L'objectif était également de tester un produit simple à la confection et simple d'utilisation.
- ⇨ Une modalité « manchon » (M) où les troncs ont été équipés de drains agricoles rigides perforés en plastique de 200mm de diamètre et de couleur jaune (PVC flexible, PUM Plastiques) en guise de manchons de protection. La hauteur des manchons de protection a été adaptée à chaque arbre fruitier et partait du sol jusqu'à la hauteur du départ des premières branches charpentières. Le drain a été découpé à l'aide d'un cutter puis placé autour du tronc. La rigidité du drain agricole n'a pas nécessité de renforcer les attaches, la forme circulaire du drain et son large diamètre permettaient de suffisamment englober le tronc de l'arbre pour le protéger en intégralité.
- ⇨ Une modalité « témoin » (TT) non protégée permettant d'accéder à la cinétique de déclenchement du comportement « abroutisseur » en fonction de la ressource fourragère disponible.

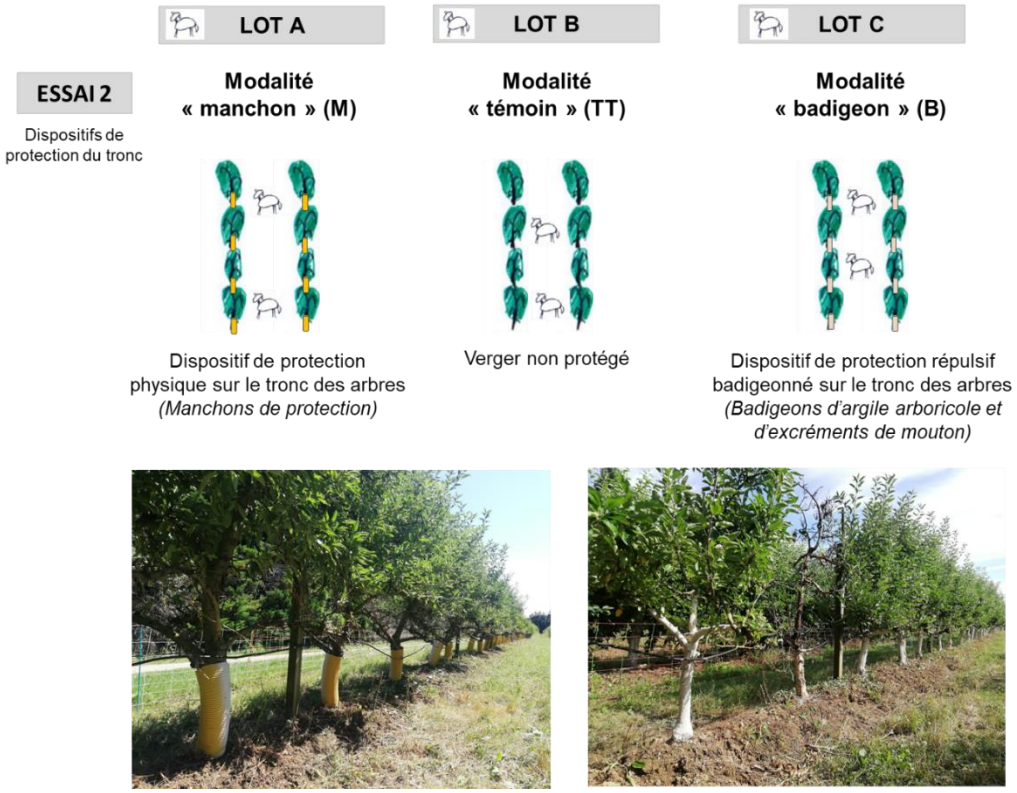


FIGURE 15. SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE L'ESSAI 2 MIS EN PLACE SUR LE SITE DE LORIOL
(SOURCE : C.RIVOIRE – FIBL FR)

L'essai 3 (E3) était axé sur des moyens de protection du feuillage *(cf. figure 16)* :

- ⇨ Une modalité « répulsive » (R) où a été pulvérisé sur le premier étage de branches charpentières des arbres fruitiers un mélange d'argile arboricole (Kaolinite calcinée - Solkalciarbo ®, AgriSynergie) et de matière fécale fraiche issue du troupeau utilisé dans le cadre de l'expérimentation. Les excréments de moutons ont été pilés (~3L) puis lavés dans 1L d'eau et filtrés sur tamis (< 1mm puis < 0.5mm). La manipulation a été réalisée trois fois. 1kg de de Sokalciarbo a ensuite été ajouté, et le volume de bouillie a été ajusté à 7,5L, correspondant à 20kg/ha de Sokalciarbo® pour 150L/ha de bouillie. Le produit a été pulvérisé une première fois la veille de l'essai et une deuxième fois le matin même de l'essai à l'aide d'un atomiseur à dos (pneumatique) de marque Stihl®.
- ⇨ Une modalité « abrasive » (A) où a été pulvérisé sur le premier étage de branches charpentières des arbres fruitiers de l'argile arboricole (Kaolinite calcinée - Solkalciarbo ®, AgriSynergie) et du sable fin (sable jaune d'Ambonil, < 0.4mm). L'argile a été pulvérisée à 20kg/ha, soit un volume de produit abrasif de 150L/ha, à l'aide d'un atomiseur à dos (pneumatique) Stihl ®. Le sable tamisé à 1mm a été pulvérisé à la suite sur le feuillage encore humide des arbres à l'aide d'un atomiseur à dos (pneumatique) Stihl® utilisé en mode poudrage. L'adhérence du sable s'étant avérée insuffisante en présence de kaolinite comme fixateur, la même procédure a été répétée une première fois la veille de l'essai et une deuxième fois le matin même de l'essai, en utilisant du petit-lait (lactoserum doux et frais de brebis, ferme des Voies Lactées) comme adjuvant. Le petit-lait a été pulvérisé pur sur le feuillage des arbres à une dose d'environ 400L/ha, et le sable appliqué immédiatement après, sur feuillage humide.
- ⇨ Une modalité « témoin » (TF) non protégée permettant d'accéder à la cinétique de déclenchement du comportement « abroutisseur » en fonction de la ressource fourragère disponible.

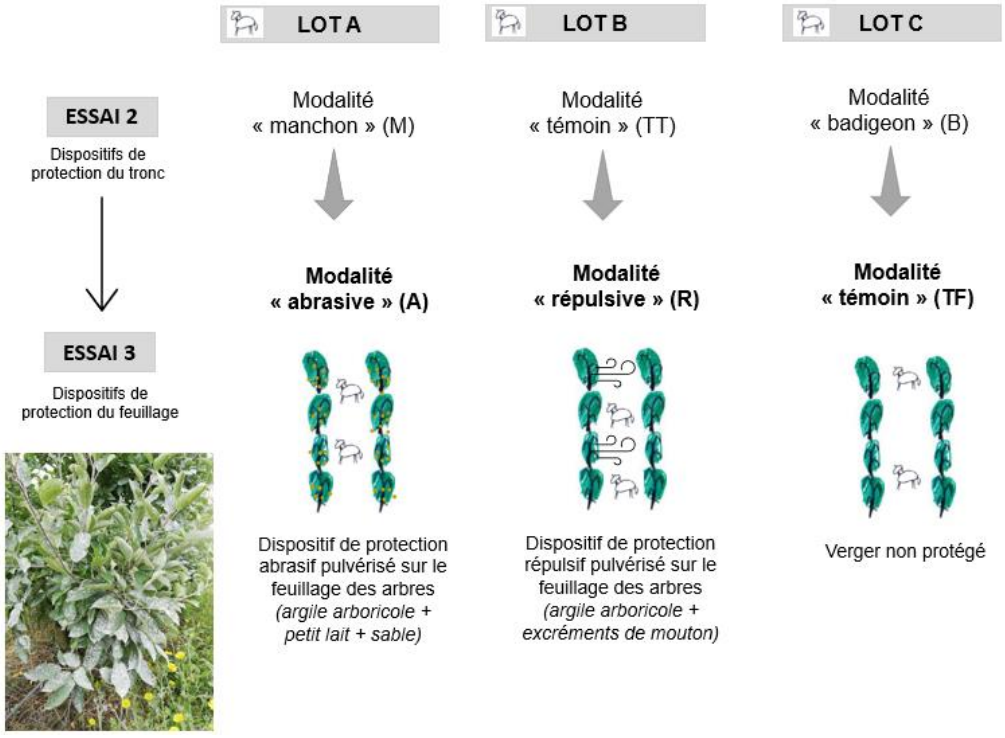


FIGURE 16. SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL DE L'ESSAI 3 MIS EN PLACE SUR LE SITE DE LORIOL
(SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR).

Les trois lots de brebis ont pâturé 7 jours dans le cadre de l'essai 2, du 5 juillet (12h) au 12 juillet (12h) et 6 jours dans le cadre de l'essai 3, du 13 juillet (12h) au 19 juillet (12h). Dans chaque essai, les lots ont pâturé dans trois parcs distincts de 430m², surface définie dépendamment de la ressource fourragère disponible, des besoins du troupeau et du temps minimum d'expérimentation requis pour répondre à la problématique posée.
Les lots ont été définis de manière à conserver un poids moyen des brebis similaire (TT/R : 68,6 ± 3,31 kg ; M/A : 69,20 ± 3,06 kg ; B/TF : 68,40 ± 1,33 kg, p-value = 0,94). Le troupeau s'est donc acclimaté à son nouvel environnement par lot dans une partie du verger opposée à celle de la zone d'essai. Cette période d'acclimatation de 4 jours avait pour objectif d'habituer les brebis à leur nouvel environnement et de réduire leur comportement potentiel de néophobie vis-à-vis des arbres fruitiers (*Ralphs et al., 1999*). Les brebis n'ont pas été complémentées en granulés pendant l'essai mais avaient accès à une pierre à sel.
L'aménagement des parcelles d'essai développé en essai 1 fut répliqué en essai 2 et 3. Cependant, le manque de surface disponible n'a pas permis d'avoir accès à un bout de rang en essai 3. Quatre arbres fruitiers ont été arrachés en extrémité de parcelles d'essai dans les modalités de l'essai 3 pour recréer une zone propice à l'attroupement et l'abreuvement et maintenir une surface de pâturage de 430m². Entre les deux essais, les lots ont été brièvement (2 jours) placés dans des parcelles d'attente séparées, d'une surface de 140m², aménagées dans le verger entre les parcelles de l'essai 2 et celles de l'essai 3.

b) Variables d'étude

De manière à observer le développement du comportement « abroutisseur » des ovins pâturant sous vergers dépendamment de la ressource fourragère disponible et des dispositifs de protection testés, les dégâts sur fruitiers, le comportement des ovins et la ressource fourragère disponible ont été caractérisés. Le protocole explicité ci-dessous prend pour référence l'essai 1 réalisé au site expérimental du lycée agricole du Valentin. Le même protocole a été mis en place sur le site expérimental de Loriol mais des améliorations permises par le retour d'expérience de l'essai 1 ont été faites. Celles-ci seront précisées dans les parties du protocole correspondantes.

i. CARACTÉRISATION DES DÉGÂTS SUR FRUITIERS

Les dégâts sur fruitiers peuvent se caractériser par des dommages occasionnés à l'écorce des arbres, aux branches charpentières et coursonnes insérées ou aux organes végétatifs de l'année : feuilles, infrutescences, rameaux et bourgeons.

Dans chaque modalité, dix coursonnes situées à hauteur de brebis (point d'insertion des branches charpentières < 1m par rapport au sol) ont été aléatoirement sélectionnées puis marquées à l'aide d'une rubalise parmi les arbres fruitiers non affranchis. Leurs nombres de rameaux, infrutescences et feuilles ont été comptabilisés et la longueur de leurs rameaux mesurés avant/après pâturage, puis quotidiennement en cours d'essai afin d'accéder à la cinétique des dégâts engendrés par les ovins au cours du temps. La différence de comptage (feuilles) et de longueur (rameaux) entre un jour et son précédent permettait d'accéder au pourcentage de feuilles et de rameaux consommés par coursonne. Les comptages ont été réalisés hors périodes d'observations comportementales de manière à ne pas influencer sur le comportement des brebis également évalué en cours de journée. Lors des relevés, seules

les feuilles non altérées, c'est-à-dire ne présentant pas de traces d'abroutissement (i.e., feuille dont la surface foliaire a été partiellement consommée) ont été comptabilisées.
Sur chaque coursonne sélectionnée, la distance de la plus basse feuille (cm) par rapport au sol, indépendamment de sa distance au tronc, a été mesurée avant et après pâturage. La hauteur du plus haut dégât, c'est-à-dire l'organe végétatif altéré le plus haut par rapport au sol a également été mesurée sur chaque coursonne de manière à caractériser la hauteur seuil des dégâts créés par les brebis.

Une surveillance globale des éventuelles traces d'écorçage a également été quotidiennement effectuée dans chaque modalité. L'identifiant de l'arbre écorcé, le nombre de marques d'écorçage et la sévérité de l'écorçage relatif à la circonférence du tronc ou de la branche écorcée ont été relevés (*Charco et al., 2016*). Les marques d'écorçage espacées de moins de 2cm étaient comptabilisées comme une marque d'écorçage.
En fin de pâturage, les dégâts d'écorçage présents sur chaque arbre fruitier ont été mesurés (largeur maximale (cm) - de gauche à droite, en suivant la circonférence du tronc x hauteur maximale (cm) – du bas vers le haut) et positionnés qualitativement sur l'arbre (tronc, branches charpentières). Le diamètre du tronc ou de la branche endommagée (cm) ont également été mesurés au niveau de la marque d'écorçage à l'aide d'un maître ruban. Le calcul du rapport de la circonférence de la marque d'écorçage sur la circonférence du tronc ou de la branche charpentière avait pour objectif de finement classer les dégâts selon l'échelle de *Charco et al. (2016)* et de faire un parallèle avec les études existantes sur les dégâts d'écorçage d'ovin pâturant sous vergers *(López-Sánchez et al., 2020).* La sévérité des dégâts d'écorçage a donc été évalué d'après l'échelle modifiée de *Charco et al. (2016)* sur un score de 0 à 5 :

- ⇨ 0 – aucun dégât (0%)
- ⇨ 0.5 – dégât ponctuel (< 1%)
- ⇨ 1 – dégât très léger (<10%)
- ⇨ 2 – dégât léger (10-25%)
- ⇨ 3 – dégât préoccupant (25-50%)
- ⇨ 4 – dégât important (50-75%)
- ⇨ 5 – dégât sévère (75-100%)

Evolutions du protocole en essai 2 et 3 : Le nombre de coursonnes suivies est passé de 10 à 8 individus afin d'alléger le temps des relevés et de mise en place de l'essai. Sur les coursonnes suivies, la hauteur par rapport au sol de la feuille la plus haute (cm) a également été mesurée avant et après pâturage afin de mieux caractériser l'occupation dans l'espace de la ressource arborée. La hauteur de l'organe végétatif intacte le plus bas (cm) a été mesurée un arbre sur deux dans chaque modalité et de part et d'autre de l'arbre. L'ensemble des variables mesurées pour caractériser les dégâts d'ovins sont récapitulés dans le *tableau 1.*

TABLEAU 1. VARIABLES DE CARACTERISATION DES DEGÂTS SUR FRUITIERS

Individus suivis (n) / modalité	Variables	Fréquence des mesures
10 coursonnes Identifiées sur les branches charpentières les plus basses (8 en E2/E3)	Nombre de rameaux	Quotidienne
	Longueur des rameaux (cm)	
	Nombre de feuilles / rameaux	
	Nombre de fruits / rameaux	
	Distance entre le sol et l'organe végétatif le plus bas **(E1)** et le plus haut (cm) **(E2/E3)**	
Arbres fruitiers	Nombre d'arbres présentant au moins un dégât d'écorçage	Quotidienne
	Nombre de marques d'écorçage / arbre écorcé	
	Appréciation visuelle du degré d'écorçage *(Charco et al., 2016)*	
	Diamètre des arbres écorcés (cm)	Après pâturage
	Nombre de marques d'écorçage / arbre écorcé	
	Distance entre le sol et l'organe végétatif intact le plus bas (cm) **(E2/E3)**	
Marques d'écorçage / arbre	Largeur maximale (cm) de gauche à droite	
	Longueur maximale (cm) de bas en haut	
	Positionnement sur l'arbre (tronc/branches charpentières)	
	Score de sévérité d'écorçage *(Charco et al., 2016)*	

ii. ÉVALUATION COMPORTEMENTALE DES BREBIS

Le comportement des brebis au contact des différents dispositifs de protection a été évalué dans chaque modalité. Des observations ont été réalisées quotidiennement et successivement toutes les heures, de 8h à 21h, dans chaque modalité. Deux observateurs se sont quotidiennement alternés pour réaliser les mesures. Des expériences préliminaires réalisées avant essai ont permis de s'assurer que les observateurs s'accordaient sur la méthode déployée, et notamment sur les méthodes de notations, mais aucun test de concordance des observations n'a été statistiquement réalisé. Le choix des créneaux d'observation s'est fait sur des bases bibliographiques attribuant une périodicité et un rythme circadien au comportement de pâturage des ovins (*Rook et al., 1991, Champion et al., 1994*) mais aucune bibliographie existante n'a permis de mettre en lumière une période réellement à risque vis-à-vis des arbres fruitiers. Les comportements ont été observés en continu et les créneaux d'observations réalisés étaient : le matin (8h-11h – AM), le midi (11h-14h - MD), l'après-midi (14h-17h -PM), le début de soirée (17h-20h - SR) et le soir (20h-22h - N).

A chaque heure d'observation, dix minutes d'observation continue ont été réalisées par modalité. Chaque temps d'observation continue de dix minutes débutait et terminait par un scan d'activité *(Martin et al., 1986)* où la position de chaque individu par rapport au rang d'arbres fruitiers et au reste du troupeau, son activité et l'ambiance climatique dans laquelle il se trouvait ont été relevés. L'objectif était de caractériser au mieux les conditions dans lesquelles se développait le comportement « abroutisseur » des ovins au pâturage en contexte arboricole. Pour faciliter les relevés, un code a été attribué à chaque entrée *(cf. tableau 2).* Les individus de chaque modalité ont été numérotés du plus lourd au plus léger (1 à 5) à l'aide d'une bombe de couleur, ce qui a permis leur identification au cours des observations.

TABLEAU 2. ETHOGRAMME DU COMPORTEMENT OVIN PÂTURANT SOUS VERGERS

Catégorie	Entrée	Description	Code
Ambiance	Ombragée	L'individu est situé dans une zone ombragée lors d'une journée ensoleillée.	O
	Ensoleillée	L'individu est situé en plein soleil lors d'une journée ensoleillée.	S
	Couverte	Le temps est couvert.	C
	Pluvieuse	Le temps est pluvieux.	P
Position ~ arbre	Inter-rang central	L'individu est localisé sur une zone d'inter-rang située au centre de la parcelle d'essai, en zone nue.	IRC
	Inter-rang bordure	L'individu est localisé sur une zone d'inter-rang située en bordure de la parcelle d'essai, en zone nue.	IRB
	Rang	L'individu est localisé sur le rang d'arbres fruitiers, sous le houppier des arbres.	R
	Bout de rang	L'individu est localisé en bout de rang, en zone nue.	BR
Position ~ troupeau	Isolé	L'individu est isolé du reste du troupeau.	I
	Groupé	L'individu est à proximité d'au moins un individu (< 2m).	G
Activité	Pâturage	L'individu est immobile et pâture ou se déplace en pâturant.	P
	Repos	L'individu est immobile, debout ou allongé, et ferme les yeux.	RE
	Rumination	L'individu rumine.	RU
	Arbre	L'individu est en contact avec l'arbre fruitier.	**A + …**
	Dispositif	L'individu interagit physiquement avec le dispositif de protection ou de détournement des arbres fruitiers.	**DP + …**
	Irrigation	L'individu joue avec ou endommage le dispositif d'irrigation.	I
	Autre	L'individu fait autre chose que les activités décrites précédemment (urine, défèque, se déplace, s'abreuve, interagit avec ses congénères, est débout sur ses gardes etc.).	A
	Non vu	L'individu n'est pas présent dans le champ de vision de l'observateur ou son observation est difficile.	NV

Entre deux scans d'activités, les individus ont été observés en continu pendant 10 minutes avec un intérêt centré sur l'identification des activités d'interactions avec les arbres fruitiers (comportement « abroutisseur » et « écorceur ») et les dispositifs de protection testés (*cf. annexe 2 et 3*). Une activité était considérée comme terminée lorsque l'individu en entamait une nouvelle *(cf. tableau 3).* Lorsqu'un individu baissait la tête puis pâturait ou n'abroutissait plus pendant 15 secondes (individu immobile, tête levée ou baissée), l'activité d'abroutissement était considérée comme terminée. Les résultats comportementaux ont été basés sur la présence ou l'absence du comportement d'abroutissement sur une observation continue de dix minutes (distribution binomiale – 0/1), permettant ainsi d'obtenir une **fréquence moyenne d'abroutissement / 10min**. Ils ont également été basés sur un comptage du nombre d'évènements d'abroutissement sur une observation continue de dix minutes (distribution de poisson), permettant d'obtenir un **nombre moyen d'évènements d'abroutissement / 10min**.

TABLEAU 3. ETHOGRAMME DES COMPORTEMENTS D'INTERACTIONS ENTRE LE MOUTON, L'ARBRE FRUITIER ET LES DISPOSITIFS DE PROTECTION TESTES

Catégorie	Entrée	Description	Code	Code complémentaire
Activité ~ arbre	Ecorce	L'individu est en contact avec le tronc des arbres fruitiers.	T	+ E : L'individu écorce l'arbre. + L : L'individu lèche le tronc de l'arbre. + F : L'individu se frotte contre le tronc de l'arbre. + X : Il est impossible d'observer plus finement l'individu.
	Abroutissement	L'individu mâchouille un rameau ou effeuille les feuilles présentes d'un rameau fruitier.	AB	
	Non vu	Impossible de caractériser plus finement son activité ~ arbre.	NV	
Activité ~ dispositif	Protection	L'individu mâchouille le dispositif de protection (piquets).	P	
	Affouragement	L'individu s'alimente à l'auge.	AF	
	Jouet	L'individu joue avec le jouet en bois.	J	+ E : L'individu écorce le jouet. + L : L'individu lèche le jouet. + F : L'individu se frotte contre le jouet.
	Fils électriques	L'individu sursaute au contact des fils électriques.		
	Non vu	Impossible de caractériser plus finement son activité ~ dispositif.	NV	

Evolutions du protocole en essai 2 et 3 :

Les observations comportementales dans l'essai 1 ont montré que le comportement collecteur était plus fréquent le matin (AM) et le soir (N). Les observations des essais 2 et 3 ont ainsi été réalisées au lever du jour (6h – 11h) et à la tombée de la nuit (18h-22h). Les observations ont ainsi pu être réparties entre 4 créneaux d'observation type : à l'aube (6h-8h30 – AM1), le matin (8h30-11h), le début de soirée (18h-20h - SR) et le soir (20h-22h).

Six temps d'observations (2 scans + 10 minutes d'observation continue / temps d'observation) ont été réalisés pour chaque créneau d'observation (matin/soir). Quatre observateurs se sont relayés pour réalisés les observations quotidiennement.

iii. CARACTERISATION DU POTENTIEL FOURRAGER

Dans chaque modalité, l'enherbement du verger a été caractérisé avant/après pâturage à travers un diagnostic floristique, des mesures de hauteur d'herbe et des analyses de composition chimique et de valeur alimentaire en laboratoire.

Neuf relevés quadrats (33cm x 33cm) ont été aléatoirement réalisés sur l'inter-rang et le rang d'arbres fruitiers de manière à capter toutes hétérogénéités liées au microclimat et à l'irrigation : rang de plantation, inter-rang piétiné (passage de roue), inter-rang non piétiné (3 relevés dans chaque zone) (*cf. figure 17*). Les grandes familles de plantes (graminées/légumineuses/autres) et les espèces majoritaires ont été identifiées et leur taux de recouvrement visuellement estimé d'après leur abondance-dominance selon la *Méthode Braun-Blanquet (Meddour, 2011)*. La biomasse a été prélevée à hauteur de coupe (4cm pour les ovins) à l'aide de ciseaux (*Duru et al., 2002*). La matière fraiche de chaque quadrat a été pesée (kg MB/ha), les échantillons prélevés sur l'inter-rang (piétiné et non piétiné) regroupés puis envoyés à un laboratoire d'analyse (GERM Service) où leur composition chimique (matière azotée totale - MAT[4], constituants pariétaux (Méthode Van Soest – *Van Soest, 1964*), digestibilité de la matière organique - DMO (méthode Boever – *Aufrère et al., 2007*), lipides, matières minérales - MM) et leur valeur alimentaire (UF[5], PDI[6], UE[7]) ont été analysés *(Maxin et al., 2019).* Ces mesures ont permis de définir les apports énergétiques (UFV ou UFL/j) et protéiques (g PDI/j) de la strate herbacée pâturée. Les valeurs protéiques (g PDI/j/kg MS) de la ressource herbacée ont été calculé d'après les équations INRAE présentées en *annexe 4*.

Un échantillon de feuilles de pommiers (i.e. limbe et pétiole) a également été prélevé aléatoirement à la main sur chaque site expérimental puis envoyé en laboratoire d'analyses pour en connaitre la composition chimique : cellulose brute (méthode WEENDE - *Van Soest, 1964*), matières minérales, MAT, digestibilité enzymatique (méthode Aufrère – *Aufrère et al., 2007*) et matière sèche. Du fait d'un manque de références notoire sur les valeurs nutritionnelles des arbres fourragers, il n'a pas été possible de mettre en miroir les caractéristiques nutritionnelles de la strate herbacée avec celles de la strate arborée. Néanmoins, les caractéristiques de composition chimique décrites ci-dessus pourront être des premiers éléments de comparaison.
Dans chaque modalité, la hauteur d'herbe a été mesurée avant/après pâturage et quotidiennement au cours de l'essai sur le rang de plantation, l'inter-rang piétiné et l'inter-rang non piétiné à l'aide d'un herbomètre (Jenquip EC-01 – mécanique avec compteur analogique – en E1 et HerboMETRE® en E2/E3). Les mesures ont été réalisées aléatoirement tous les 3 pas sur un même transect allant d'un bout à l'autre de la parcelle d'essai. Vingt points de mesure ont été réalisés par gradient (*cf. figure 17*).

[4] Matière azotée totale : ensemble des constituants azotés des aliments végétaux (protéines, acides aminées libres, amides, nitrates ect.) = N * 6.5 (*Boutes et al., 2017*)
[5] Unité fourragère : valeur énergétique apportée par 1kg d'orge standard de qualité moyenne contenant 86% de MS (UFL pour la production laitière ; UFV pour la production de viande) (*Meyer, 2021*)
[6] Protéines digestibles dans l'intestin : expression des valeurs nutritives azotées pour les ruminants. Somme des protéines d'origines alimentaires (PDIA) et microbiennes (PDIM) que l'animal peut digérer dans l'intestin (*Boutes et al., 2017*)
[7] Unité d'encombrement : unité relative à la digestibilité d'un aliment ou à la capacité d'ingestion de l'animal. Aliment de référence : 1kg de matière d'herbe jeune (15% de matière azotée totale, 25% de cellulose brute, 77% de digestibilité de la matière organique) (*Meyer, 2021*)

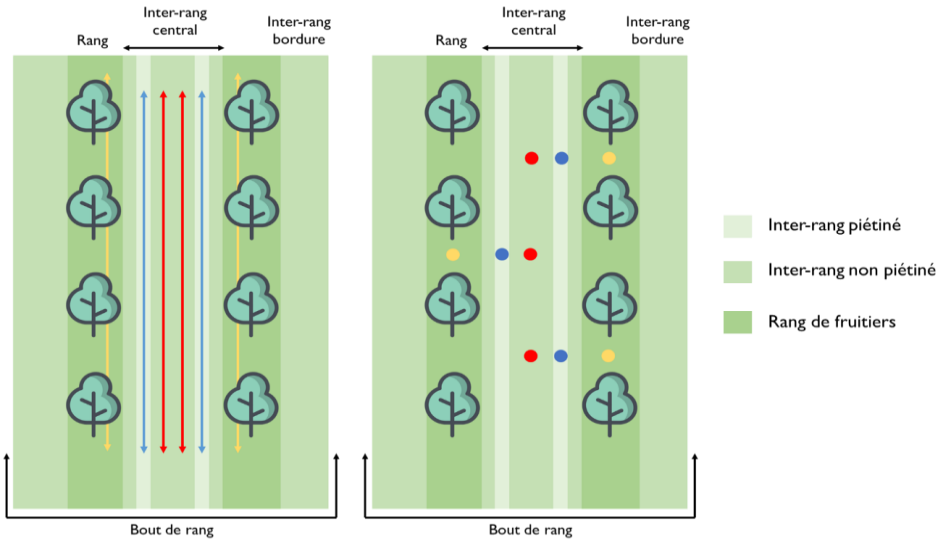


FIGURE 17. SCHEMAS SIMPLIFIES D'UNE PARCELLE D'ESSAI INDIQUANT LES RELEVES QUADRATS (GAUCHE) ET LES TRANSECTS (DROITE) REALISES SUR UN GRADIENT RANG/INTER-RANG (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)

Evolution du protocole en essai 2 et 3 : L'absence de végétation sur le rang du fait du travail du sol n'a pas permis de réaliser le même plan d'échantillonnage qu'en E1. Six quadrats par modalité ont donc été réalisés dont deux à chaque extrémité de l'inter-rang et deux au centre de l'inter-rang. Seuls les transects de hauteur d'herbe situés en inter-rang ont été maintenus en E2 et E3.

c) Traitement de données

i. CARACTÉRISATION DES DÉGÂTS SUR FRUITIERS

De manière à caractériser la cinétique des dégâts sur les arbres fruitiers en fonction des différents dispositifs de protection testés et du temps, deux modèles mixtes linéaires généralisés (GLMMs, *Zuur et al., 2009*) ont été réalisés dans chaque essai avec pour variable de réponse respectives le pourcentage de feuille (Modèle I) et le pourcentage de rameaux consommés (Modèle II). Les deux modèles introduisaient la modalité de protection des arbres fruitiers et le jour de pâturage comme facteurs fixes et l'individu (la coursonne) comme facteur aléatoire. Les variables de réponse suivaient une loi normale. La totalité des modèles disponibles avec ces variables explicatives ont été testés et comparés à l'aide de l'AIC (Critère d'information d'Akaike – *Akaike, 1974*), un indicateur permettant de décrire les données avec le plus petit nombre de variables explicatives possibles et avec le plus de robustesse (*Burnham et Anderson, 2002*). Le modèle détenant l'AIC le plus faible a été sélectionné puis interprété.

La hauteur des dégâts, caractérisée en essai 1 (E1) par la distance par rapport au sol de la plus basse feuille (BF) sur les coursonnes identifiées, a aussi été analysée sous forme de GLMMs avec comme facteurs fixes la modalité de protection des arbres fruitiers et le temps (avant/après pâturage). Le facteur aléatoire retenu était l'individu (la coursonne). Les résidus des données analysées étaient distribués selon une loi normale et le modèle sélectionné par la méthode proposée précédemment par *Burnham et Anderson (2002).* La distance par

rapport au sol du plus haut dégât (HD) sur les coursonnes identifiées a également été mesurée pour caractériser aux mieux les dégâts observés entre les modalités de protection. La consommation du feuillage n'était en effet pas hétérogène sur les coursonnes suivies dans le cadre de l'essai et la présence de feuillage au plus bas de la coursonne ne signifiait pas forcément l'absence de dégâts plus haut. La variable HD a été analysée à l'aide d'un test non paramétrique de Kruskall-Wallis (α = 0.05) du fait du non-respect des hypothèses indispensables à l'utilisation des tests paramétriques.
La hauteur des dégâts supérieure à la hauteur des coursonnes suivies dans le cadre des essais 2 (E2) et 3 (E3) a été mesurée un arbre sur deux dans chaque modalité de protection et de part et d'autre de l'arbre. La variable a été traitée à l'aide d'un GLMMs à un facteur fixe (Modalité de protection) et un facteur aléatoire (Arbre).
Les dégâts d'écorçage n'ayant été observés dans aucune des modalités de protection des arbres fruitiers des essais réalisés, hormis en modalité « manchon » de l'E2, aucun test statistique n'a été réalisé sur ces données et seuls des figures descriptives seront présentées.

Lorsque les variables de réponse ne présentaient aucunes cinétiques et ne respectaient pas les conditions nécessaires pour réaliser un test paramétrique à deux (Modalité de protection * Jour ; Modalité de protection + Jour) ou un facteur (Modalité de protection), et ce, malgré la transformation des données (log, racine carré, box-cox), un test non paramétrique de Kruskal-Wallis (α = 0.05) et son test post-hoc associé (Wilcoxon Test - α = 0.05) n'intégrant ni le facteur aléatoire ni le facteur fixe de temps a été réalisé. L'ensemble des tests et transformation de données réalisées pour caractériser les dégâts crées par les ovins sont résumés en *tableau 4.*

TABLEAU 4. VARIABLES DE CARACTERISATION DES DEGÂTS SUR ARBRES FRUITIERS

Variable de réponse	Test statistique	Effets fixes	Effet aléatoire	Test post_hoc	Test statistique alternatif
Feuilles consommées (%)	**Modèle I** GLMMs Distribution normale	Modalité de protection x Jour	Coursonne	Anova (Type III) + Comparaison deux à deux lsmeans()	Anova ou Kruskall-Wallis Test à 1 facteur (Modalité de protection) + Wilcoxon Test (α = 0.05)
Rameaux consommés (%)	**Modèle II** GLMMs Distribution normale	Modalité de protection x Jour	Coursonne		
Distance au sol de la feuille la plus basse (cm)	**Modèle III** GLMMs Distribution normale	Modalité de protection x Jour	Coursonne		/
Distance du sol du dégât le plus haut (cm)	**Modèle IV** GLMMs Distribution normale	Modalité de protection	Coursonne		Kruskall-Wallis Test + Wilcoxon Test (α = 0.05)

Hauteur au sol de l'organe végétatif intacte le plus bas de l'arbre	**Modèle V** GLMMS Distribution normale	Modalité de protection	Arbre	Anova à 1 facteur (Modalité de protection) + Tukey Test (α = 0.05)

L'analyse de données a nécessité l'utilisation du logiciel RStudio (Version 1.41717) (*R Development Core Team, 2015*) et les packages «lmerTest », « lme4 » *(Bates et al., 2015)* et « MASS » pour les GLMMs ; « stats » et « car » pour les tests paramétriques type anova, ; « rstatix » pour les tests non paramétriques ; « emmeans » pour les tests post-hoc de GLMMs et GLM et « ggplot2 » et « RColorBrewer » pour la mise en forme graphique des données.

ii. ÉVALUATION COMPORTEMENTALE DES BREBIS

De manière à caractériser les différences de comportement « abroutisseur » entre les différentes modalités de protection et d'en suivre le développement au cours du temps, deux GLMMs (*Zuur et al., 2009*) ont été réalisés dans chaque essai avec pour variable de réponse respectives la fréquence d'abroutissement (0/1 – Modèle I et II) et le nombre d'évènement d'abroutissement (Modèle III).

Le modèle I avait pour facteurs fixes la modalité de protection des arbres, le jour de pâturage et le créneau d'observation. Il prenait comme facteur aléatoire l'individu observé, c'est-à-dire le mouton, du fait d'une forte variabilité comportementale potentielle entre les individus choisis aléatoirement au sein d'une même population. Le modèle II avait pour objectif d'expliquer plus finement l'effet d'une modalité de protection sur le comportement individuel et s'intéresse donc seulement à la variabilité comportementale entre individus d'une même modalité. Le modèle II détient un seul facteur fixe qu'est l'individu (i.e., mouton). La distribution de la variable réponse « fréquence d'abroutissement » des modèles I et II est binomiale. Elle comptabilise si un individu a été observé en train d'abroutir un arbre (1) ou non (0) au cours d'une observation continue de 10 minutes. Cette distribution binomiale a permis de compléter l'anova (Type III) et les tests post-hoc de comparaison deux à deux par la mesure des Odds Ratio. Ces derniers ont permis de comparer au sein d'un même facteur fixe (ex : Modalité de protection) la « probabilité d'observer un individu abroutir un arbre » pour chaque niveau (ex : Modalité D et Modalité FE) par rapport à un niveau de référence (ex : Modalité T). Un Odds ratio équivalent à 1 signifie que les probabilités entre le niveau comparé et le niveau de référence sont égales et qu'il n'y pas d'effet du niveau sur la variable réponse observée par rapport au niveau de référence.
Le modèle III intègre les mêmes facteurs fixes et aléatoires que le modèle I mais a comme variable de réponse une variable de distribution binomiale. Le modèle permet d'étudier plus finement et quantitativement le développement du comportement « abroutisseur » en termes de fréquence d'abroutissement par heure au cours du temps.

Les interactions entre facteurs fixes ont été intégrés au modèle lorsque les modèles convergeaient, à l'inverse, elles ont été supprimées lorsque les modèles ne convergeaient pas. Lorsque les interactions entre facteurs fixes n'étaient pas significatives, elles étaient

supprimées des modèles pour en diminuer la dispersion. Dans les modèles I et III, lorsque les résidus d'un jeu de données ne respectaient pas l'hypothèse de surdispersion (residual deviance / ddl > 1), les données étaient traitées selon une loi quasi-binomiale dite binomiale négative. Dans le modèle II, si les résidus étaient surdispersés et que le paramètre de forme de la distribution binomiale négative « theta » tendait vers l'infini induisant le modèle en erreur, la fonction summary.glm () intégrant la surdispersion était utilisée. L'ensemble des tests réalisés pour évaluer le comportement « abroutisseur » sont décrits en *tableau 5.*

TABLEAU 5. VARIABLES D'EVALUATION COMPORTEMENTALE

Variable de réponse	Test statistique	Effets fixes	Effets aléatoires	Test post_hoc	Test statistique alternatif
Fréquence d'abroutissement / 10min (0/1) **Unité statistique** = Observation de 10min	**Modèle I** GLMMs Distribution binomiale	Modalité de protection x Jour + Créneau	Mouton	Anova (Type III) + Comparaison deux à deux lsmeans() + Odds Ratio	GLMMs Distribution négative binomiale
	Modèle II GLM Distribution binomiale	Mouton	/		GLM Distribution binomiale summary.glm ()
Nombre d'évènement d'abroutissement / 10min **Unité statistique** = Observation de 10min	**Modèle III** GLMMs Distribution de Poisson	Modalité de protection x Jour + Créneau	Mouton	Anova (Type III) + Comparaison deux à deux lsmeans()	GLMMs Distribution négative binomiale

L'analyse de données a nécessité le même logiciel d'analyse statistique et les packages associés utilisés pour caractériser les dégâts sur fruitiers. Les packages additionnels « questionr » et « gtsummary » pour les odds ration et « phia » pour les GLM ont été installés.

iii. CARACTÉRISATION DU POTENTIEL FOURRAGER

Les données prélevées pour caractériser le potentiel fourrager des sites d'étude ont été le sujet d'une analyse descriptive de manière à mettre en avant les spécificités de la strate herbacée des essais 1 et 2/3 et d'alimenter la discussion des résultats.

Les pourcentages de recouvrement par famille et espèces relevés dans chaque essai grâce aux relevés quadrats ont été traités sur le logiciel Microsoft Excel (Version 2108) de manière à obtenir l'abondance (AR – *cf. équation 1*) et la fréquence (FR – *cf. équation 2.1 et 2.2*) relative de chaque espèce présente sur le rang et/ou l'inter-rang du verger avant/après pâturage. Ces

données avaient pour objectif de donner des indications sur la composition floristique du verger avant/après pâturage, et notamment sur les espèces préférentiellement consommées ou non par les ovins.

$$(1) \quad Abondance\ relative/esp\grave{e}ce\ (\%) = \frac{\sum recouvrement\ (\%)\ de\ l'esp\grave{e}ce}{\sum recouvrement\ total\ (\%)}$$

$$(2.1) \quad Fréquence\ relative/esp\grave{e}ce\ (\%) = \frac{Fréquence\ absolue\ (\%)\ de\ l'esp\grave{e}ce * 100}{\sum Fréquence\ absolue\ totale}$$

$$(2.2) \quad Fréquence\ absolue\ /\ esp\grave{e}ce\ (\%) = \frac{Nb\ de\ quadrats\ o\grave{u}\ l'esp\grave{e}ce\ est\ présente * 100}{Nb\ total\ de\ quadrats}$$

Les indicateurs issus des analyses de fourrages permettant de caractériser plus finement le potentiel fourrager des sites d'études en termes de composition chimique et valeurs nutritionnelles ont été moyennés à l'échelle du site expérimental (Lycée agricole du Valentin - E1 / Site expérimental de Loriol – E2/E3) et du gradient rang/inter-rang (E1) à l'aide du logiciel Microsoft Excel (Version 2108).

Les données de hauteur d'herbe qui avait pour but de démontrer une diminution de la ressource fourragère au cours du temps n'ont pas été traité du fait d'un biais méthodologique et d'une trop forte variabilité.

V. RÉSULTATS

a) Essai 1 - pâturage printanier sous les pommiers

Caractérisation des dégâts – Aucun des dispositifs de protection testés en essai 1 (*cf. figure 13*) n'ont permis d'éviter la consommation de la strate arborée des arbres fruitiers (i.e., feuilles et rameaux). Le pourcentage moyen de feuilles consommées évoluait significativement au cours du temps en fonction de la modalité de protection (p-value < 0,001) (*cf. figure 18*).

Les premières différences observées entre les modalités de protection sont apparues au quatrième jour de pâturage (FE < D = T avec FE : 23,6 ± 6,05 % ; D : 41,9 ± 7,6 % ; T : 45,5 ± 8,7 % – p-value < 0,05). Le pourcentage moyen de feuilles consommées en modalité FE était significativement inférieur au pourcentage moyen de feuilles consommées de la modalité T (p-value = 0,05) et tendait à l'être de la modalité D (p-value = 0,11). Dès le sixième jour, et jusqu'en fin de pâturage, le pourcentage moyen de feuilles consommées de la modalité FE (J6 : 23,4 ± 6,0 % ; J7 : 24,6 ± 5,90 %) restait significativement inférieur aux modalités D (J6 : 52,1 ± 9,1 % ; J7 : 54,0 ± 9,1 %) et T (J6 : 53,2 ± 9,04 % ; J7 : 60,7 ± 9,16 %) (*tableau 6*).

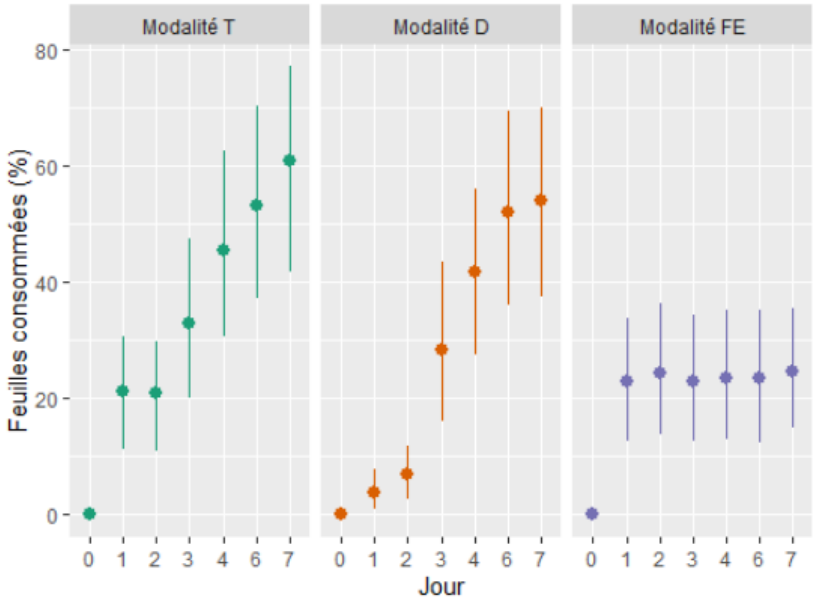


FIGURE 18. POURCENTAGE MOYEN DE FEUILLES CONSOMMEES (MEAN ± IC = MOYENNE ± INTERVALLE DE CONFIANCE) AU COURS DU TEMPS DANS CHAQUE MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS DE L'ESSAI 1

TABLEAU 6. INFLUENCE DU JOUR ET DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS SUR LE POURCENTAGE DE FEUILLES CONSOMMEES (MEAN +/- SE = MOYENNE ± ERREUR STANDARD) PENDANT L'ESSAI 1

			Modalité			p-value
			T	D	FE	
	0		0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0	ns
Jour	1		21,1 ± 4,9	3,9 ± 1,9	22,9 ± 5,74	ns
	2		20,9 ± 5,03	7,0 ± 2,5	24,3 ± 6,08	ns
	3		33,0 ± 7,4	28,4 ± 7,7	23,0 ± 5,9	ns
	4		45,5 ± 8,7 [a]	41,9 ± 7,6 [ab]	23,6 ± 6,05 [b]	0,05
	6		53,2 ± 9,04 [a]	52,1 ± 9,1 [a]	23,4 ± 6,0 [b]	0,01
	7		60,7 ± 9,16 [a]	54,0 ± 9,1 [a]	24,6 ± 5,90 [b]	0,001
		Min	9,21	6,25	4,40	
		Max	100	100	52,5	

Les lettres identiques indiquent qu'il n'y aucune différence significative à p-value < 0,05 (GLMMs – Modèle I) **;** en gris, le jour où le pourcentage moyen de feuilles consommées est significativement différent du jour précédent **au sein de la même modalité**.

Aucuns des dispositifs de protection testés n'a permis d'éviter la consommation des rameaux des arbres fruitiers et aucune différence significative de consommation de rameaux n'a été observée entre modalités (T : 12,9 ± 3,02 % ; D : 5,60 ± 3,31 % ; FE : 8,90 ± 3,76 % – p-value = 0,2 – Kruskall-Wallis Test).

La hauteur des dégâts, caractérisée par la distance par rapport au sol de la feuille la plus basse avant et après pâturage, et la hauteur du plus haut dégât après pâturage, différait d'une modalité à l'autre (p-value < 0,001). La hauteur de la feuille la plus basse augmentait en modalité T (J0 : 84,1 ± 3,62 cm ; J7 : 93,7 ± 1,36 cm - p-value < 0,01) et D (J0 : 75,1 ± 4,10 cm ; J7 : 91 ± 2,01 cm - p-value < 0,001) mais stagnait en modalité FE (J0 : 86,2 ± 4,66 cm ; J7 : 81,6 ± 3,77 cm - p-value = 0,16). En revanche, aucune différence significative entre les modalités (i.e., comparées deux à deux) n'a pu être démontré avant et après pâturage (p-value > 0,05), même si la modalité FE tendait tout de même à présenter une hauteur de feuille inférieure à la modalité T en J7 (p-value = 0,07) (*cf. figure 19).* La hauteur du plus haut dégât

variait significativement (p-value < 0,01) entre les modalités et s'avérait être inférieure en modalité FE (35,8 ± 14,8 cm) qu'en modalité T (96,4 ± 1,83 cm) et D (86,5 ± 9,83 cm) (*cf. tableau 7*).

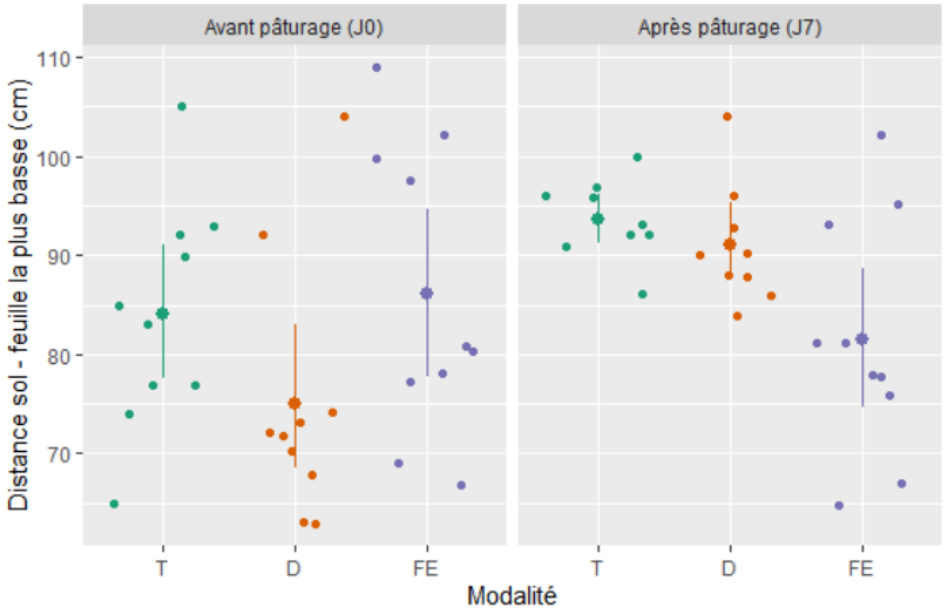


FIGURE 19. HAUTEUR MOYENNE (CM) DE LA FEUILLE LA PLUS BASSE (MEAN ± IC) AVANT ET APRES PÂTURAGE EN FONCTION DE LA MODALITE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 1

TABLEAU 7. INFLUENCE DU JOUR DE PÂTURAGE ET DE LA MODALITE SUR LE HAUTEUR DE LA FEUILLE LA PLUS BASSE (CM) ET DU DEGAT LE PLUS HAUT (CM) (MEAN ± SE) DANS L'ESSAI 1

		Modalité			p-value
		T	D	FE	
Hauteur de la feuille le plus basse (cm)	Avant pâturage (J0)	84,1 ± 3,62	75,1 ± 4,10	86,2 ± 4,66	ns
	Après pâturage (J7)	93,7 ± 1,36	91,0 ± 2,01	81,6 ± 3,77	ns
	p-value	0,01 **	0,001 ***	ns	
Hauteur du dégât le plus haut (cm)	Après pâturage	96,4 ± 1,83 [a]	86,5 ± 9,83 [a]	35,8 ± 14,8 [b]	0,05

Les lettres identiques indiquent qu'il n'y aucune différence significative à p-value < 0,05 (GLMMs – Modèle III et IV)

Evaluation comportementale – Aucune modalité de protection n'a permis d'empêcher le développement du comportement « abroutisseur ». La fréquence moyenne d'abroutissement, c'est-à-dire le nombre moyen d'observations de dix minutes où à été observé le comportement « abroutisseur », était significativement influencée par le créneau d'observation (p-value < 0,001) et variait au cours du temps en fonction de la modalité de protection des arbres fruitiers (p-value = 0,02). Au troisième jour de pâturage, la modalité FE présentait une fréquence d'abroutissement moyenne significativement inférieure à la modalité T (FE : 0,01 ± 0,01 /10min ; T : 0,33 ± 0,06 /10min – p-value = 0,03). Cette différence s'est lissée par la suite et aucune différence significative n'a été observée entre les modalités de protection des arbres les jours qui suivaient (jour 4 – pvalue > 0,95 et jour 6 – p-value > 0,71). La fréquence moyenne d'abroutissement était stable jour après jour en modalité D (0,39-0,40 ± 0,05-0,06 /10min – p-value > 0,99) mais augmentait significativement en modalité T entre J2 (0,14 ± 0,04 / 10min) et J3 (0,33 ± 0,06 /10min) et tendait à augmenter en modalité FE entre J3 (0,02 ± 0,02 /10min) et J4 (0,19 ± 0,05 10min) (p-value = 0,06) (*figure 20*).

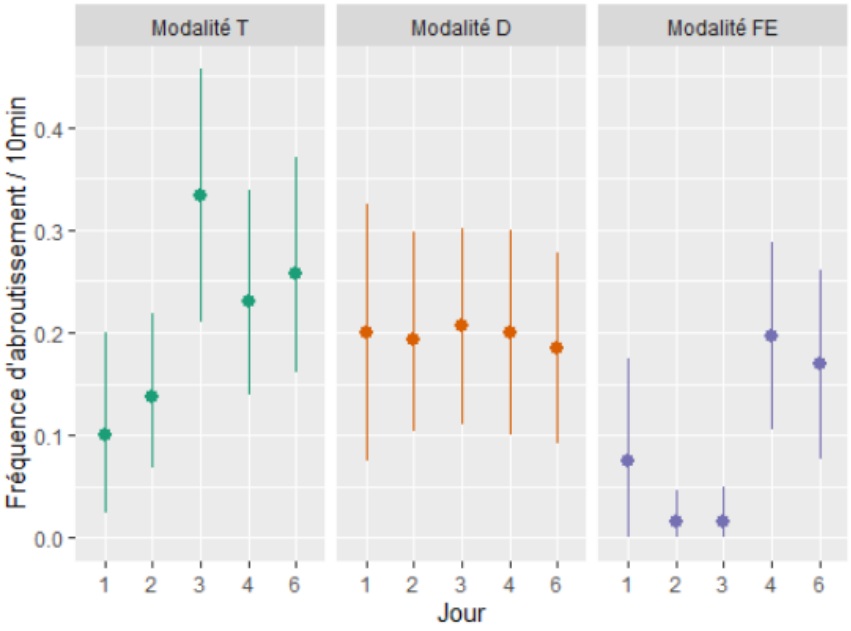


FIGURE 20. FREQUENCE MOYENNE D'ABROUTISSEMENT (MEAN ± IC) SUR UNE OBSERVATION CONTINUE DE DIX MINUTES EN FONCTION DU TEMPS ET DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 1

A l'échelle d'une journée de pâturage, la fréquence moyenne d'abroutissement était significativement plus élevée le soir (20h-22h – 0,29 ± 0,4 /10min) qu'en matinée (8h-11h – 0,17 ± 0,03 /10min – p-value < 0,05), midi (11h-14h – 0,11 ± 0,02 /10min – p-value < 0,001) et après-midi (14h-17h – 0,12 ± 0,02 /10min – p-value < 0,001). La probabilité d'observer un individu abroutir les arbres fruitiers le soir était en effet 2,24 fois plus élevée que le matin (p-value < 0,01) (*cf. figure 21*). L'analyse comportementale à l'échelle individuelle décrivait une forte variabilité comportementale en termes de fréquence d'abroutissement entre les individus de la modalité D (p-value < 0,001) et entre les individus de la modalité T (p-value < 0,001). En revanche, les individus de la modalité FE ne présentaient aucune différence significative : la fréquence moyenne d'abroutissement sur une observation de 10min était la même pour tous les individus (p-value = 0,27).

Le nombre moyen d'évènements d'abroutissement par observation de 10 minutes était également influencé par le créneau d'observation (p-value < 0,05) et variait au cours du temps dépendamment de la modalité de protection des arbres fruitiers (p-value = 0,05). Le nombre moyen d'évènement d'abroutissement augmentait significativement au sein de la modalité T à partir du sixième jour de pâturage (J1 : 0,1 ± 0,05 /10min ; J6 : 0,7 ± 0,18 a/10min - p-value < 0,05) mais aucune différence n'a été en revanche observée en cours de pâturage au sein des autres modalités. Les modalités de protection des arbres ne se différenciaient pas significativement entre elles peut-importe le jour de pâturage, même si la modalité FE semblait se différencier de la modalité T au troisième jour de pâturage (FE < T - p-value = 0,08).

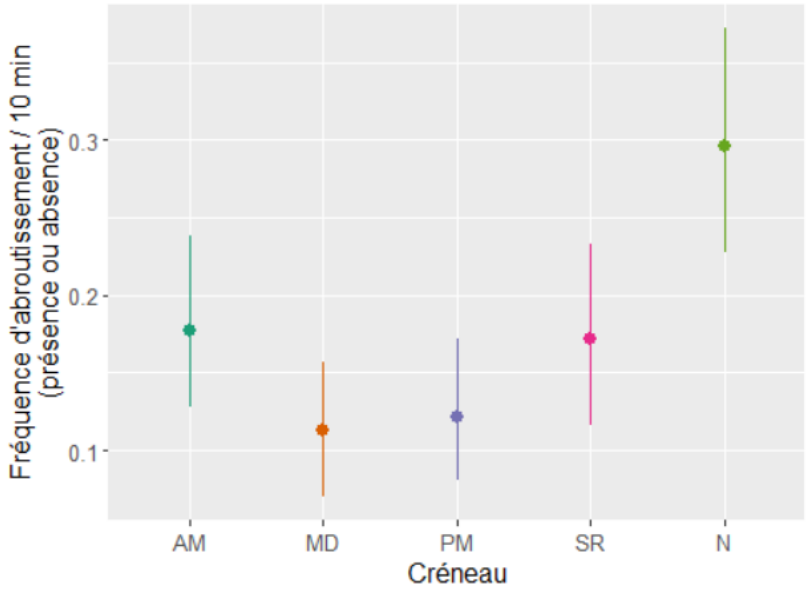


FIGURE 21. FREQUENCE MOYENNE D'ABROUTISSEMENT SUR UNE OBSERVATION CONTINUE DE DIX MINUTES (MEAN ± IC) EN FONCTION DU CRENEAU D'OBSERVATION – ESSAI 1

Caractérisation de la ressource fourragère disponible – L'analyse de fourrages réalisée sur les échantillons d'herbe prélevés sur le rang et sur l'inter-rang des parcelles d'essai de l'essai 1 ont permis de révéler les caractéristiques nutritionnelles de le strate herbacée pâturée (*cf. tableau 8).* La ressource fourragère consommée était proche des caractéristiques nutritionnelles d'un regain, c'est-à-dire d'une herbe de deuxième coupe (i.e., selon la classification GERM Services : 0,70 UFL/kg MS et 55 PDIN g/kg MS < regain < 0,85 UFL/kg MS et 125 PDIN g/kg MS).

L'herbe prélevée sur le rang de fruitiers détenait des taux de matière sèche (MS), de cellulose brute (CB), d'A.D.L, (lignine), de N.D.F (hémicellulose) et d'A.D.F (cellulose + lignine) supérieurs à l'herbe prélevée sur l'inter-rang (IR) (MS-R : 23,3 ± 3,28 % MB > MS-IR : 20,88 ± 2,89 % MB ; CB-R : 30,88 ± 1,61 % MS > CB-IR : 27,94 ± 1,69 % MS). Ces plus hautes teneurs avaient pour conséquence un encombrement supérieur (UEM-R : 1,47 ± 0,03 / kg MS > 1,37 ± 0,14 / kg MS) et une digestibilité (DMO-R : 66,70 ± 2,15 % MO < DMO-IR : 68,68 ± 1,93 % MO) inférieure à l'herbe de l'inter-rang. A l'inverse, les protéines et les indicateurs d'énergie fournis (UFL/UFV) étaient supérieurs sur l'inter-rang que sur le rang (MAT-IR : 12,95 ± 2,13 > MAT-R : 10,92 ± 1,55 % MS). L'herbe de l'inter-rang était plus riche en eau (H2O-IR : 79,12 ± 2,89 % MB > 76,70 ± 3,28 % MB), en sucres (S-IR : 10,70 ± 2,93 % MS > 8,44 ± 3,19 % MS), et détenait un taux de matière sèche inférieur au rang de fruitier (MS-IR : 20,88 ± 2,89 % MB < MS-R : 23,30 ± 3,28 % MB). Ces différences ne semblent cependant pas grandement significatives car la strate herbacée de l'inter-rang et du rang ont toutes les deux des caractéristiques nutritionnelles proches du regain.

Les analyses non exhaustives de composition chimique de feuilles de pommiers ont révélé que les feuilles (F) présentaient un taux de matière sèche supérieur à la strate herbacée (H) (F : 34,60 % MB > H : 22,09 ± 3,18 % MB) et donc une teneur en eau inférieure (F : 65,50 % MB < H : 77,91 ± 3,18 % MB). Les feuilles étaient moins riches en minéraux (F : 6,38 % MS < H : 9,27 ± 0 ,58 % MB) et en cellulose (F : 11,09 % MS < H : 29,41 ± 2,20 % MS) que la strate herbacée mais présentaient un taux de MAT (F : 12,12 % MS > H : 11,94 ± 2,06 % MS) et une digestibilité de la matière organique supérieure (F : 70,09 % MO > H : 67,69 ± 2,19 % MO).

TABLEAU 8. VALEURS NUTRITIONNELLES (MEAN ± SE) DE LA STRATE HERBACEE ET DES FEUILLES DE POMMIERS PRELEVEES DANS LES PARCELLES DE L'ESSAI 1

		Inter-rang + Rang	Inter-rang	Rang	Feuilles de pommiers
Général	Teneur en eau (% MB)	77,91 ± 3,18	79,12 ± 2,89	76,70 ± 3,28	65,50
	Matière sèche (%MB) (g/kg MB)	22,09 ± 3,18 220,90 ± 31,8	20,88 ± 2,89	23,30 ± 3,28	34,60 346,00
	Matières minérales (%MS) (g/kg MS)	9,27 ± 0,58 92,70 ± 5,8	9,60 ± 0,40	8,95 ± 0,58	6,38 63,80
Glucides	Sucres solubles (% MS)	9,57 ± 3,12	10,70 ± 2,93	8,44 ± 3,19	/
Parois végétales	Cellulose brute (%MS) (g/kg MS)	29,41 ± 2,20 294,10 ± 22,00	27,94 ± 1,69	30,88 ± 1,61	11,09 110,9
	A.D.F (Van Soest - %MS)	31,03 ± 2,48	29,26 ± 1,91	32,78 ± 1,55	/
	A.D.L (Van Soest - %MS)	4,01 ± 0,76	3,54 ± 0,58	4,47 ± 0,66	/
	N.D.F (Van Soest - %MS)	55,25 ± 4,75	53,25 ± 3,84	57,25 ± 5,09	/
Matière grasse	Matière grasse (%MS)	1,97 ± 0,22	2,01 ± 0,07	1,93 ± 0,31	/
Protéines	MAT (N * 6,5 - %MS) (g/kg MS)	11,94 ± 2,06 119,40 ± 20,60	12,95 ± 2,13	10,92 ± 1,55	12,12 121,20
	PDIA (g/kg MS)	16,00 ± 0,82	16,20 ± 0,84	15,80 ± 0,84	/
	PDIN (g/kg MS)	75,20 ± 9,22	79,80 ± 9,83	70,6 ± 6,47	/
	PDIE (g/kg MS)	55,50 ± 1,99	56,46 ± 1,60	54,54 ± 2,01	/
	PDIM (g/kg MS) - calculé	48,09	52,39	51,77	
	PDI (g/kg MS) - calculé	64,09	68,60	67,57	/
Energie	DMO (%MO)	67,69 ± 2,19	68,68 ± 1,93	66,70 ± 2,15	70,09
	UFV (/kg MS)	0,73 ± 0,04	0,74 ± 0,03	0,71 ± 0,04	/
Encombrement	UEM (/kg MS)	1,42 ± 0,11	1,37 ± 0,14	1,47 ± 0,03	/

En gris claire, les indicateurs de valeurs nutritionnelles entre le rang et l'inter-rang les plus élevés ; En gris foncé, les indicateurs de valeurs nutritionnelles des feuilles de pommiers supérieurs aux indicateurs de la strate herbacée (rang+inter-rang).

Ces caractéristiques nutritionnelles peuvent être complétées par les mesures d'abondance et de fréquence relatives des espèces prairiales identifiées lors des relevés quadrats. La strate herbacée des parcelles d'essai avant pâturage était majoritairement (> 63%) composée de dactyle aggloméré (18,7 %), ray-grass anglais (17,5%), trèfle blanc et violet (8%) et de terre nue (19,4%). Le lierre (3,9%), le pâturin (5,6%), le géranium à feuilles découpées (3,5%), le brome stérile (2,6%) et le plantain (2,7%) étaient également présents mais détenaient un pourcentage de recouvrement bien plus faible. Le pourcentage de recouvrement de ces espèces est devenu inférieur à 2% après pâturage. Après pâturage, le pourcentage de recouvrement du dactyle aggloméré (24%) et de terre nue (43,5%) a augmenté tandis que celui du ray-grass anglais (9,8%) et du trèfle blanc et violet (3,2%) a diminué. Le pourcentage de recouvrement de la benoite commune, avant pâturage minime (1,4%), a augmenté après pâturage (4,2%) (*cf. annexe 5*).

Cette évolution de la composition floristique de la strate herbacée des parcelles d'essai avant (AV) et après (AP) pâturage se reflétait également à travers leur fréquence relative. La fréquence relative de la benoite commune (AV : 3,8 % ; AP : 8,2 %), du dactyle aggloméré (AV : 9,8 % ; AP : 15,3 %), de la pâquerette (AV : 1,5 % ; AP : 3,1 %), du plantain (AV : 3,7 % ; AP : 6,2 %) et de la terre nue (AV : 9,8 % ; AP : 17,3 %) ont augmenté tandis que celle du pâturin (AV : 11,4 % ; AP : 3,1 %) et du trèfle blanc et violet ont diminué (AV : 7,6 % ; AP : 5,1 %) (*cf. annexe 5*). La richesse spécifique, qui se caractérisé par le nombre d'espèces identifiées, mesurées avant pâturage a également diminué après pâturage (AV : 40 ; AP : 26).

b) Essai 2 et 3 – pâturage estival sous les pommiers

i. ESSAI 2 : ÉVALUATION DE DISPOSITIFS DE PROTECTION DU TRONC

Caractérisation des dégâts sur fruitiers - Aucun des dispositifs de protection des troncs (*cf. figure 15*) testés dans le cadre de l'essai 2 n'a permis d'éviter la consommation de la strate arborée (i.e., feuilles et rameaux) des arbres fruitiers et l'écorçage n'a été que faiblement observé. La distribution du jeu de données n'a pas permis d'effectuer de tests paramétriques à deux ou un facteur. Aucune différence significative de pourcentage moyen de feuilles (TT : 68,9 ± 2 % ; B : 65,5 ± 4,3 % ; M : 74,4 ± 2,8 % ; p-value = 0,2 ; Kruskall-Wallis Test) et de rameaux (TT : 55,1 ± 5,5 % ; B : 41,5 ± 5,3 % ; M : 57 ± 5,8 % – p-value = 0,1 – Kruskall-Wallis Test) consommés n'a été observés entre les modalités de protection des troncs malgré l'observation graphique de différences entre les modalités (B < TT < M) (*cf. figure 22.a et tableau 9*). Les pourcentages moyens de feuilles et de rameaux consommés toutes modalités confondues étaient respectivement de 100 ± 0 % et 78,0 ± 2,55 % au quatrième jour de pâturage et 100 ± 0 % et 91,1 ± 3,5% au dernier jour de pâturage (J7) *(cf. tableau 9)*. La consommation de feuilles et de rameaux augmentait significativement au cours du temps, toutes modalités confondues (p-value < 0,001 – Kruskall-Wallis Test).

TABLEAU 9. INFLUENCE DE LA MODALITE SUR LE POURCENTAGE DE FEUILLES ET DE RAMEAUX CONSOMMES (MEAN ± SE) DANS L'ESSAI 2

		Modalité			p-value
	± erreur standard	TT	B	M	
% de feuilles consommées	Moyenne	68,9 ± 2	65,5 ± 4,3	74,4 ± 2,8	0,20
	Fin de pâturage (J7)	100 ± 0,0	100 ± 0,0	100 ± 0,0	1,00
% de rameaux consommés	Moyenne	55,1 ± 5,5	41,5 ± 5,3	57 ± 5,8	0,10
	Fin de pâturage (J7)	98,4 ± 1,6	85,4 ± 6,73	95,1 ± 2,51	0,20

En revanche, la hauteur des dégâts, caractérisée par la hauteur par rapport au sol de l'organe végétatif intacte le plus bas était significativement différente entre les trois modalités de protection du tronc comparés deux à deux (p-value < 0,001 – Anova 1 facteur) (B : 136 ± 17 cm < TT : 142 ± 12 cm < M : 154 ± 17 cm) *(cf. figure 22.b*).

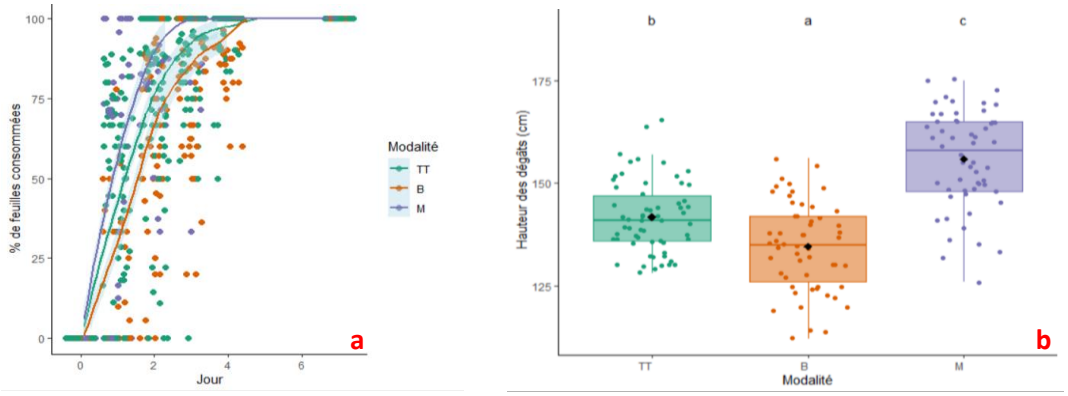


FIGURE 22. POURCENTAGE DE FEUILLES CONSOMMEES AU COURS DU TEMPS EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES (A) ; HAUTEUR DES DEGATS (CM) EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES (B) – ESSAI 2

Les dégâts d'écorçage ont été observés à partir du septième jour et seulement en modalité M. 37 % des arbres fruitiers étaient touchés par au moins un dégât d'écorçage. La majorité des dégâts ont été identifiés sur les branches charpentières et coursonnes des arbres (branches : 49 > tronc : 12). Les dégâts les plus sévères (>50 %) ont été identifiés sur les branches charpentières et coursonnes. Les dégâts d'écorçage présents sur le tronc ne dépassaient pas le seuil de 50% de circonférence du tronc de l'arbre. 72 % des dégâts présentaient une sévérité d'écorçage (i.e., relatif à la circonférence du tronc ou de la branche écorcée) inférieurs à 25 % et seulement 7 % dépassaient les 50 % de circonférence. La majorité des dégâts (40 %) avait une largeur d'écorçage comprise entre 10-25 % de la circonférence du tronc ou de la branche de l'arbre (*cf. figure 23.a*). En moyenne, un arbre écorcé détenait 1,9 marques d'écorçage. Le nombre maximum de marques d'écorçage observées par arbre est de 13. Rapporté au nombre total d'arbres présents dans la modalité M, le nombre de marques d'écorçage importantes (0,06 /arbre) et sévères (0,02 / arbre) était infime tandis que le nombre de marques d'écorçage plus légères (0,36 / arbre) et préoccupantes (0,46 / arbre) était plus important (*cf. figure 23.b*).

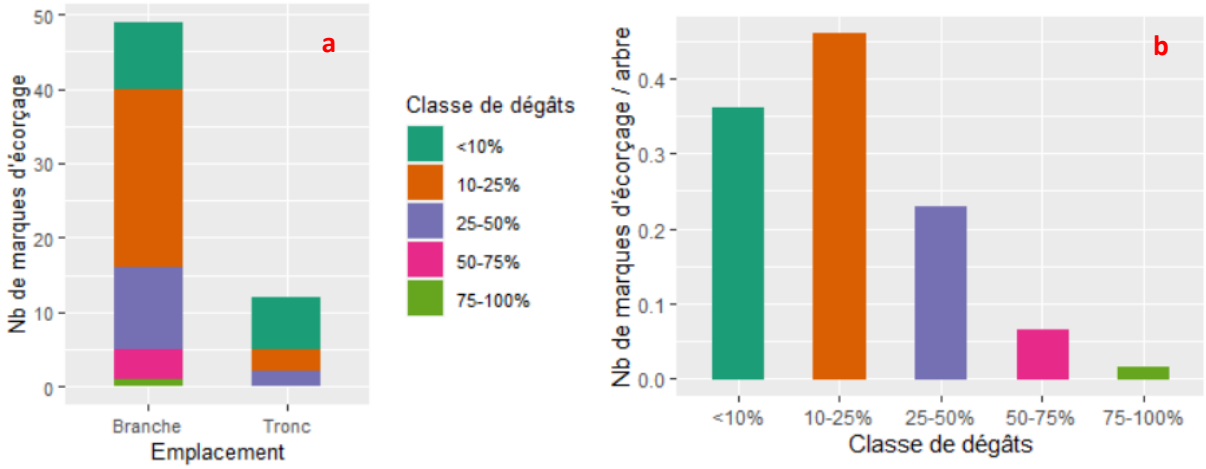


FIGURE 23. NOMBRE DE MARQUES D'ECORCAGE EN FONCTION DE SON EMPLACEMENT SUR L'ARBRE FRUITIER ET DE SA SEVERITE (A) ; NOMBRE MOYEN DE MARQUES D'ECORCAGE PAR ARBRE FRUITIER DE LA MODALITE M (B)

Evaluation comportementale – Aucune modalité de protection n'a permis d'empêcher le développement du comportement « abroutisseur ». La fréquence moyenne d'abroutissement au cours de dix minutes d'observation (i.e., absence ou présence du comportement « abroutisseur » / 10min) ne variait pas au cours du temps (jour) en fonction de la modalité de protection des arbres fruitiers (p-value = 0,50) et ne différait pas entre les modalités (p-value = 0,52). Elle était en revanche significativement influencée par le créneau d'observation (p-value < 0,001) et le jour de pâturage (p-value = 0,01). A l'échelle d'une journée type de pâturage, la fréquence moyenne d'abroutissement était significativement différente entre tous les créneaux d'observation comparés deux à deux (p-value < 0,01) sauf entre l'aube et le début de soirée (p-value = 0,68). Le créneau du soir (20h-22h) était le créneau d'observation où la fréquence moyenne d'abroutissement était la plus élevée (0,54 ± 0,04 / 10min) : la probabilité d'observer un individu abroutir entre 20h et 22h était en effet significativement 2,8 fois plus élevée qu'à l'aube (6h-8h) pris pour référence (*cf. tableau 10.a*). Le fréquence moyenne d'abroutissement tendait à significativement augmenter par rapport au premier jour de pâturage à partir du quatrième jour, toutes modalités confondues (J1 : 0,26 ± 0,05 ; J4 : 0,41 ± 0,04 – p-value < 0,05) *(cf. tableau 10.b)*. Les individus de l'essai 2 comparés

deux à deux ne démontraient aucune différence significative entre eux en termes de fréquence moyenne d'abroutissement sur dix minutes d'observation continue (p-value = 0,06). La probabilité d'observer un individu abroutir était néanmoins significativement supérieure pour certains individus de la modalité M : les individus M3 et M4 avaient en effet 3,58 fois plus de chances d'être observés en train d'abroutir les arbres fruitiers que l'individu M1 pris comme référence – p-value < 0,01,

TABLEAU 10. INFLUENCE DU CRENEAU (A) ET DU JOUR (B) SUR LA FREQUENCE D'ABROUTISSEMENT (MEAN ± SE) DANS LES MODALITES DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 2

a		Créneau				p-value
		AM1	AM2	SR	N	
Fréquence d'abroutissement	Moyenne	0,40 ± 0,04 [ac]	0,10 ± 0,03 [b]	0,26 ± 0,04 [ac]	0,54 ± 0,04 [d]	0,001

Les lettres identiques indiquent qu'il n'y aucune différence significative à p-value < 0,05 (GLMMs – Modèle I)

b		Jour						p-value
		1	2	3	4	5	6	
Fréquence d'abroutissement	Moyenne	0,26 ± 0,06 [a]	0,22 ± 0,04 [a]	0,34 ± 0,04 [a]	0,41 ± 0,04 [b]	0,42 ±0,04 [b]	0,42 ± 0,06 [b]	0,001

Le nombre d'évènements d'abroutissement par observation de 10 minutes ne variait pas significativement au cours du temps en fonction de la modalité (p-value = 0,46). En revanche, il était significativement différent au cours du temps (p-value < 0,001) et tendait également à l'être selon la modalité (p-value = 0,08) pris séparément. Comme pour la fréquence d'abroutissement, le nombre d'évènements d'abroutissement est devenu significativement différent du premier jour de pâturage à partir du quatrième jour (J1 : 0,42 ± 0,12 / 10min vs. J4 : 1,11 ± 1,14 / 10min – p-value = 0,01). Il tendait à être également supérieur en modalité M par rapport à la modalité B mais cette différence n'était pas significative (B : 0,66 ± 0,09 / 10min ; M : 1,09 ± 0,11 / 10min – p-value = 0,11) *(cf. figure 24).*

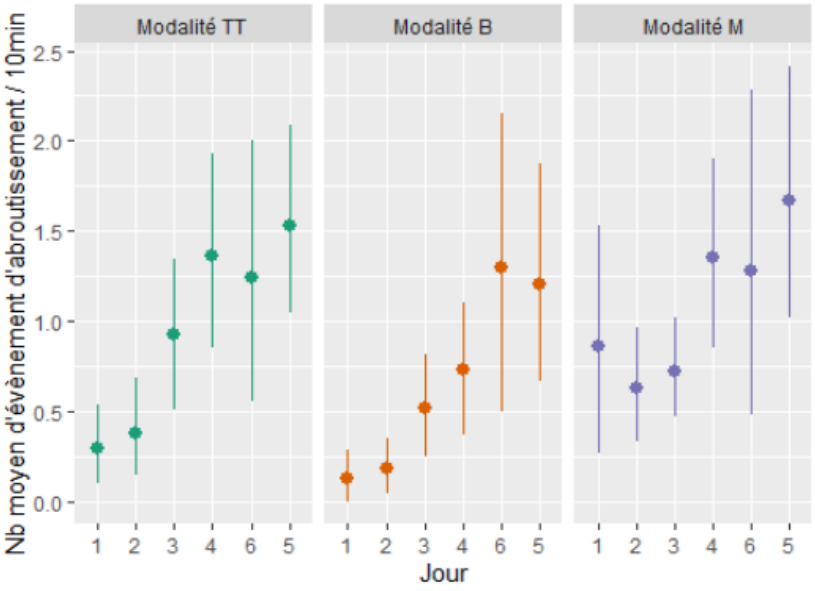


FIGURE 24. NOMBRE MOYEN D'EVENEMENTS D'ABROUTISSEMENT SUR DIX MINUTES D'OBSERVATION (MEAN + IC) EN FONCTION DE LA MODALITE ET DU TEMPS DE L'ESSAI 2

Caractérisation de la ressource fourragère disponible – L'analyse de fourrages réalisée sur les échantillons d'herbe prélevés sur l'inter-rang des parcelles d'essai des essais 2 et 3 a permis de révéler les caractéristiques nutritionnelles de le strate herbacée pâturée (*cf. tableau 11*). Les analyses ont démontré que la ressource fourragère consommée était proche des caractéristiques nutritionnelles d'un regain, c'est-à-dire d'une herbe de deuxième coupe (i.e., selon la classification GERM Services : 0,70-0,85 UFL /kg MS et 55-125 g PDIN / kg MS, avec comme référence un fourrage équilibré de 0,90 UFL /kg MS et 100 g PDIN / kg MS). L'herbe de l'inter-rang du verger détenait un taux de CB de 29, 78 ± 1,47 % MS, une MAT de 13,54 ± 1,96 % MS et un taux de PDI de 73,21 g/kg MS en moyenne. Elle présentait une DMO de 69,45 ± 1,42 %, une UFL de 0,81 ± 0,02 / kg de MS et une UEM de 1,35 ± 0,12 / kg MS.
Les analyses non exhaustives de composition chimique de feuilles de pommiers ont révélé que les feuilles (F) présentaient un taux de matière sèche supérieur à la strate herbacée (H) (F : 41,00 % MB > H : 29,60 ± 4,03 % MB) et donc une teneur en eau inférieure (F : 59,00 % MB < H : 70,40 ± 4,03 % MB). Les feuilles étaient moins riches en minéraux (F : 6,61 % MS < H : 10,52 ± 0,32 % MB), en MAT (F : 10,52 % < H : 13,54 ± 1,96 % MS) et en cellulose (F : 12,23 % < H : 29,78 ± 1,47 % MS) que la strate herbacée mais présentaient une digestibilité de la matière organique supérieure (F : 75,30 % > H : 69,45 ± 1,42 % MO).

TABLEAU 11. CARACTERISTIQUES NUTRITIONNELLES MOYENNES (MEAN ± SE) DE LA STRATE HERBACEE DU VERGER PÂTURE PAR LES BREBIS UTILISEES DANS LE CADRE DES ESSAIS 2 ET 3

		Inter-rang	Feuilles de pommiers
Général	Teneur en eau (% MB)	70,40 ± 4,03	59,00
	Matière sèche (% MB)	29,60 ± 4,03	41,00
	(g/kg MB)	296,00 ± 40,3	410,00
	Matières minérales (% MS)	10,52 ± 0.32	6,61
	(g/kg MS)	105,20 ± 3,2	66,10
Glucides	Sucres solubles (% MS)	7,28 ± 2,48	/
Parois végétales	Cellulose brute (% MS)	29,78 ± 1,47	12,23
	(g/kg MS)	295,78 ± 14,7	122,30
	A.D.F (Van Soest - % MS)	35,28 ± 1,90	/
	A.D.L (Van Soest - % MS)	5,59 ± 0,96	/
	N.D.F (Van Soest - % MS)	57,26 ± 3,29	/
Matière grasse	Matière grasse (% MS)	1,84 ± 0,11	/
Protéines	MAT (N * 6,5 - % MS)	13,54 ± 1,96	10,52
	(g/kg MS)	135,40 ± 19,6	105,20
	PDIA (g/kg MS)	21,00 ± 1,26	/
	PDIN (g/kg MS)	87,50 ± 8,31	/
	PDIE (g/kg MS)	60,02 ± 1,92	/
	PDIM (g/kg MS) - calculé	52,21	/
	PDI (g/kg MS) - calculé	73,21	/
Energie	DMO (% MO)	69,45 ± 1,42	75,30
	UFV (/kg MS)	0,74 ± 0,02	/
	UFL (/kg de MS)	0,81 ± 0,02	
Encombrement	UEM (/kg MS)	1,35 ± 0,12	/

En gris foncé, les indicateurs de valeurs nutritionnelles des feuilles de pommiers supérieurs aux indicateurs de la strate herbacée.

L'abondance relative des espèces identifiées lors des relevés quadrats ont révélé les espèces majoritaires en termes de couverture du sol. La strate herbacée des parcelles d'essai des essais 2 et 3 était principalement recouverte de chiendent (29,4 %), trèfle blanc (9,7 %), ray grass anglais (8,7 %) brunelle commune (7,6 %), liseron des champs (4,1 %) et plantain (3,1 %) avant pâturage. Le sol était recouvert par 17,6 % de terre nue en moyenne. Après pâturage, les abondances relatives du chiendent (40,4 %), du laiteron épineux (2,4 %) et de

la terre nue (18,8 %) ont augmenté. Celle des graminées séchées non identifiées est passée de 4 % à 13,1 %. L'abondance relative du ray grass a drastiquement baissé pour atteindre les 0,1%. La grande mauve (2,2 % à 0,1 %) et la grande prêle (1,4 % à 0,6 %) ont également vu leur abondance relative diminuées, mais pas le trèfle (9,7% à 9,3%) (*cf. annexe 6*).
Les fréquences relatives des espèces prairiales identifiées avant et après pâturage suivaient la même tendance que l'abondance relative : le chiendent était majoritairement présent dans les quadrats avant et après pâturage (17,4 % à 18,7 %). Les fréquences relatives des gaminées séchées (GS), du laiteron épineux (LE), du plantain (P) et de la terre nue (TN) ont également augmenté (GS : 3,2 % à 8,8 % ; LE : 1,6 % à 5,3 % ; P : 5,8 % à 7 % ; TN : 16,3 % à 19,6 %). La fréquence relative du trèfle n'a pas changé (15,3 %). Le ray-grass a disparu des quadrats (7,4 % à 0,6 %). La richesse spécifique est passée de 26 à 22 espèces après pâturage *(cf. annexe 6).*

ii. ESSAI 3 : ÉVALUATION DE DISPOSITIFS DE PROTECTION DU FEUILLAGE

Caractérisation des dégâts – Aucun des dispositifs de protection du feuillage testés dans le cadre de l'essai 3 n'a permis d'éviter la consommation de la strate arborée (i.e., feuilles et rameaux) des arbres fruitiers. Le pourcentage moyen de feuilles et de rameaux consommés n'était pas significativement différent au cours du temps d'une modalité à l'autre (feuilles : p-value = 0,16 ; rameaux : p-value = 0,57). Il n'était pas influencé par la modalité de protection (p-value = 0,43) (*cf. tableau 12.a*) même si la modalité « R » semblait démontrée une cinétique de consommation foliaire plus lente (*cf. figure 25.a*). En revanche, les pourcentages moyens de feuilles et de rameaux consommés évoluaient significativement au cours du temps (p-value < 0,001) (*cf. tableau 12.b*). En fin de pâturage (J6), le pourcentage moyen de feuilles et de rameaux consommés toutes modalités confondues était respectivement de 98,2 ± 0,54 % et 85,5 ± 3,35 %.

TABLEAU 12. INFLUENCE DE LA MODALITE (A) ET DU JOUR (B) SUR LE POURCENTAGE DE FEUILLES ET DE RAMEAUX CONSOMMES (MEAN ± SE) DANS L'ESSAI 3

a		Modalité			p-value
	± erreur standard	TF	A	R	
% de feuilles consommées	Moyenne	65 ± 5,6	60,7 ± 6,9	50,3 ± 5,3	0,10
	Fin de pâturage	90,6 ± 4,7	89,2 ± 6,3	77,6 ± 5,9	1,00
% de rameaux consommés	Moyenne	51,6 ± 5	49,6 ± 6,5	43,2 ± 4,4	0,43
	Fin de pâturage	99,5 ± 0,5	98,1 ± 1,2	97,0 ± 1,0	1,00

b		Jour					p-value
	± erreur standard	1	2	3	4	6	
% de feuilles consommées	Moyenne	44,0 ± 6,43 [a]	53,2 ± 6,95 [a]	72,6 ± 6,00 [b]	83,4 ± 4,24 [b]	98,2 ± 0,54 [b]	0,001
% de rameaux consommés	Moyenne	38,0 ± 5,20 [a]	39,0 ± 5,50 [a]	60,7± 5,52 [b]	64,8 ± 5,43 [b]	85,5 ± 3,35 [c]	0,001

Les lettres identiques indiquent qu'il n'y aucune différence significative à p-value < 0,05 (GLMMs – Modèle I et II)

La hauteur des dégâts caractérisée par la hauteur moyenne par rapport au sol de l'organe végétatif intact le plus bas de l'arbre est en revanche significativement différente entre les modalités de protection (R < A = TF avec R : 122 ± 1 cm ; A : 127 ± 1 cm ; TF : 130 ± 1 cm – p-value < 0,001) (*cf. figure 25.b*).

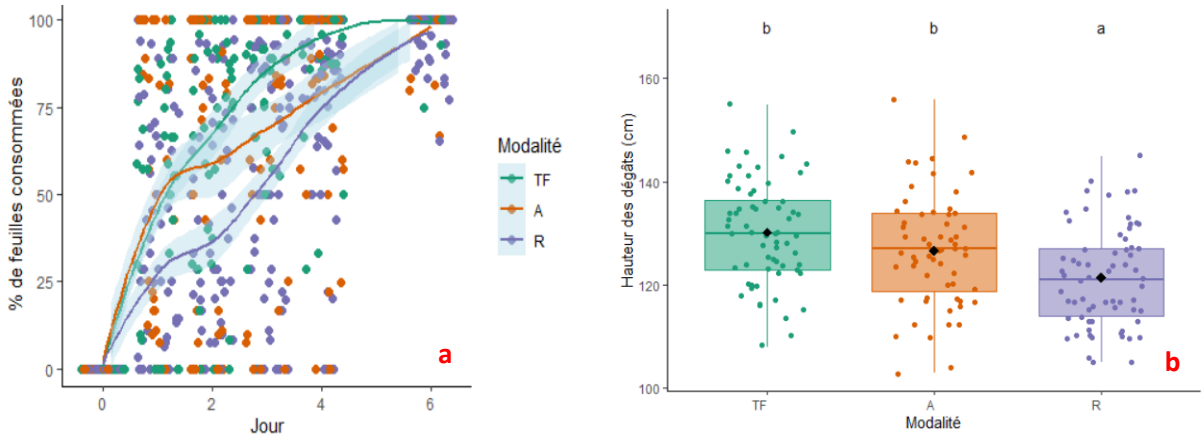


FIGURE 25. POURCENTAGE DE FEUILLES CONSOMMEES AU COURS DU TEMPS EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 3 (A) ; HAUTEUR DES DEGATS (CM) EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 3 (B)

Evaluation comportementale - Aucune modalité de protection n'a permis d'empêcher le développement du comportement « abroutisseur ». La fréquence moyenne d'abroutissement au cours de dix minutes d'observation ne variait pas significativement au cours du temps dépendamment de la modalité (p-value = 0,61) et n'était ni influencée par le jour de pâturage (p-value = 0,20), ni par la modalité de protection du feuillage des arbres (p-value = 0,47). En revanche, la fréquence moyenne d'abroutissement était significativement différente selon le créneau d'observation (p-value < 0,001), et notamment entre le créneau d'observation du soir (20h-22h) et le reste des créneaux d'observation, où la fréquence moyenne d'abroutissement était significativement plus élevée (N : 0,47 ± 0,03 / 10min vs. AM1 : 0,33 ± 0,03 / 10min ; AM2 : 0,10 ± 0,04 / 10min ; SR : 0,32 ± 0,04 /10min - p-value < 0,02) (*cf. figure 26.a*). En effet, la probabilité d'observer un individu abroutir était 1,8 fois plus élevé le soir que le matin (p-value < 0,01). La fréquence moyenne d'abroutissement observée le matin (8h-11h) était également significativement inférieure de celle observée à l'aube (6h-8h – p-value < 0,001) et en début de soirée (18h-20h – p-value = 0,01).

Comme précédemment, le nombre moyen d'évènements d'abroutissement sur dix minutes d'observation était uniquement influencé par le créneau (p-value < 0,001). En revanche, il n'était pas significativement différent entre le matin (6h-8h – AM1 : 0,89 ± 0,1 / 10min), le début de soirée (18h-20h – SR : 0,85 ± 0,11 / 10min - p-value = 0,99), et le soir (N : 1,26 ± 0,11 /10min - p-value = 0,06). La modalité de protection du feuillage semblait également être un facteur d'influence mais sans différence significative (p-value = 0,08). Comparées deux à deux, la modalité R présentait néanmoins un nombre moyen d'évènement d'abroutissement par observation significativement supérieure à la modalité TF (R : 1,09 ± 0,10 /10min > TF : 0,72 ± 0,09 /10min – p-value = 0,03) (*cf. figure 26.b*).

Aucun des individus de l'essai 3 toutes modalités confondues ne présentaient de différences significatives comparés deux à deux (p-value = 0,12). Néanmoins, la probabilité d'observer certains individus abroutir plus que d'autres était significativement 3,0 - 3,4 fois plus élevés pour les individus A3 (0,46 ± 0,07) et A4 (0,44 ± 0,07) de la modalité A et pour les individus R1 (0,5 ± 0,07) et R2 (0,5 ± 0,07) de la modalité R que l'individu A1 de la modalité A pris pour référence (i.e., fréquence moyenne d'abroutissement la plus faible : 0,2 ± 0,06) (p-value < 0,05)

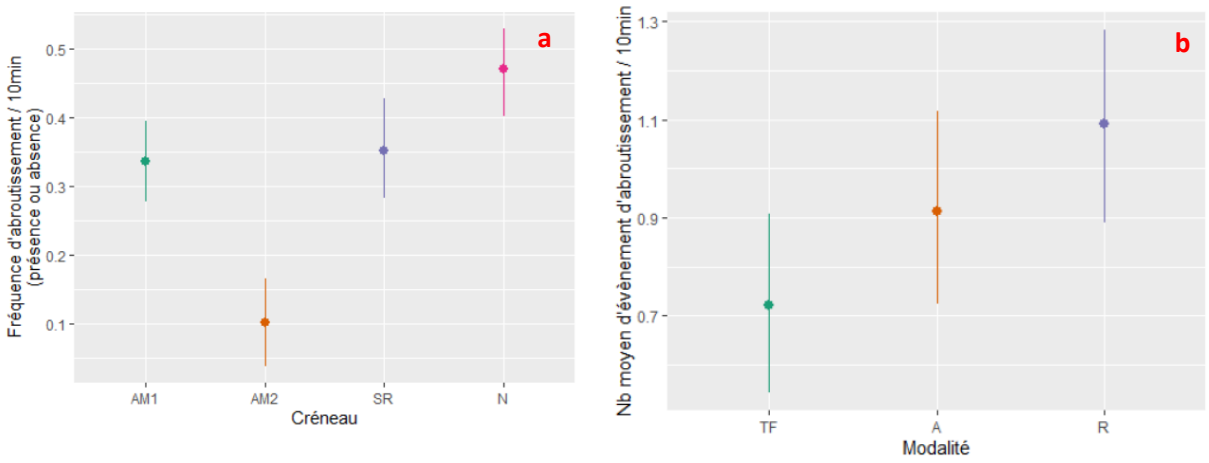


FIGURE 26. FREQUENCE D'ABROUTISSEMENT SUR DIX MINUTES D'OBSERVATION (MEAN + CI) EN FONCTION DU CRENEAU D'OBSERVATION TOUTES MODALITES DE L'ESSAI 3 CONFONDUES (A) ; NOMBRE MOYEN D'EVENEMENTS D'ABROUTISSEMENT SUR DIX MINUTES D'OBSERVATION (MEAN + IC) EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DE L'ESSAI 3 (B)

iii. ESSAI 2 ET ESSAI 3 COMPARÉS DEUX A DEUX

Caractérisation des dégâts sur fruitiers – La durée de pâturage différenciée et les prises de mesures ayant été faites à des temporalités différentes en fin de pâturage, l'ensemble des modalités de protection de l'essai 2 et de l'essai 3 ont été comparés deux à deux du premier au quatrième jour de pâturage. Le pourcentage moyen de feuilles consommées était significativement différent entre les modalités de protection des arbres (p-value < 0,01). La modalité R de l'essai 2 présentait un pourcentage moyen de feuilles consommées significativement inférieur aux modalités M et TT (R : 40,4 ± 2,19 % < M : 68,6 ± 2,57 % - TT : 61,1 ± 2,02 % - p-value < 0,05). Les modalités A, B, TF et TT n'étaient pas significativement différentes des autres modalités de protection des arbres (A : 52,9 ± 2,97 % ; B : 56,3 ± 2,50 % ; TF : 59,7 ± 2,73 % – p-value > 0,13) *(cf. figure 27).*

Aucune différence significative de pourcentage moyen de consommation raméale n'a été observée entre les modalités (TT : 46,8 ± 7,62 % ; R : 36,4 ± 4,63 % ; M : 45,9 ± 4,65 % ; TF : 44,1 ± 4,58 % ; A : 32,9 ± 8,24 % ; B : 33,9 ± 7,63 % – p-value = 0,45) (*cf. figure 27*).

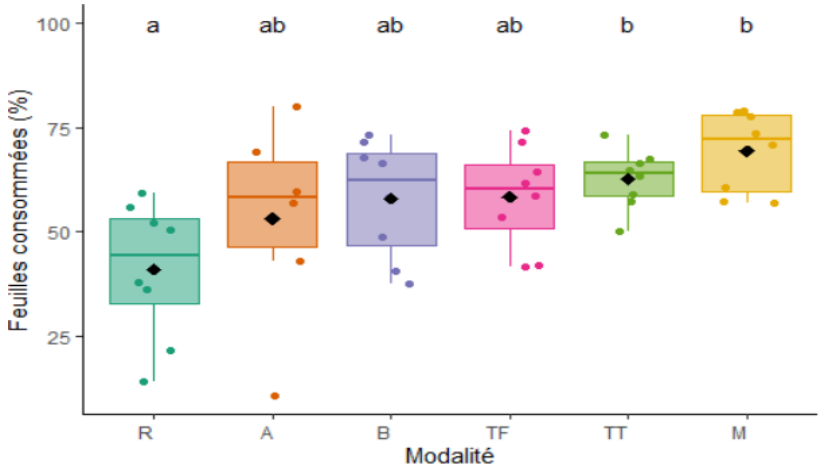


FIGURE 27. POURCENTAGE MOYEN DE FEUILLES CONSOMMEES AU QUATRIEME JOUR DE PÂTURAGE EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES DES ESSAIS 2 ET 3

La hauteur de dégâts de la modalité « témoin » TF de l'essai 2 mesurée au sixième jour de pâturage n'était pas significativement différente de la modalité B mesurée au septième jour de pâturage. Elle présentait en revanche une hauteur moyenne de dégâts significativement inférieure à la modalité « témoin » TT de l'essai 3 mesuré au septième jour de pâturage (TF : 130 ± 0,01 cm < TT : 1,42 ± 0,01 cm – p-value < 0,001) (*cf. figure 28*).

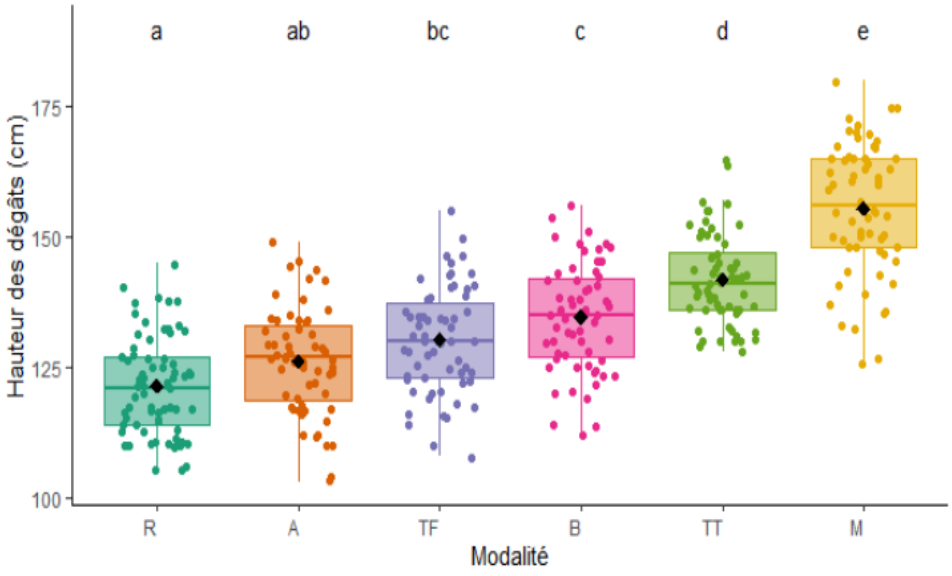


FIGURE 28. HAUTEUR MOYENNE DES DEGATS (CM) EN FONCTION DE LA MODALITE DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS DES ESSAIS 2 ET 3

Evaluation comportementale – La fréquence moyenne d'abroutissement des essais 2 et 3 combinés (i.e., présence ou absence du comportement « abroutisseur ») n'était ni influencée par la modalité (p-value = 0,10), ni par le jour (p-value = 0,21), et ne variait pas au cours du temps en fonction de la modalité (p-value = 0,11). Elle était cependant influencée par le créneau d'observation comme cela l'avait été démontré précédemment (p-value < 0,001). Le nombre moyen d'évènements d'abroutissement sur une observation continue de dix minutes évoluait significativement au cours du temps dépendamment de la modalité (p-value = 0,02) mais concernait seulement des modalités appartenant au même essai. Le créneau d'observation était également un facteur d'influence significatif (p-value < 0,001). Les individus appartenant à un même lot n'étaient pas significativement différents entre eux en termes de fréquence moyenne d'abroutissement sur dix minutes d'observation continue (Lot A – p-value = 0,06 ; Lot B – p-value = 0,059 ; Lot C = p-value = 0,51). Néanmoins, les individus A3, A4, B3 et B4 du lot A avaient significativement entre 2,2 et 2,4 fois plus de chance d'être observés en train d'abroutir l'arbre fruitier que l'individu A1 pris pour référence, suggérant un fort effet individu indépendant de la modalité de protection des arbres fruitiers.

VI. DISCUSSION

L'objectif de cette étude était d'évaluer dans quelles mesures la pratique du pâturage ovin sous vergers, dépendamment des moyens de protection disponibles, amenait au développement du comportement « abroutisseur » et « écorceur » chez les ovins. Les résultats présentés précédemment ont permis de caractériser les dégâts créés par les ovins selon différents dispositifs de protection des arbres fruitiers et d'évaluer leur comportement vis-à-vis de l'arbre. Enfin, la caractérisation de la ressource fourragère pâturée par les ovins dans chaque site d'étude a amené des premiers éléments de compréhension concernant le potentiel fourrager des vergers à répondre aux besoins d'un troupeau d'ovins.
Le contexte pédoclimatique et les choix zootechniques différenciés réalisés dans le cadre de ce travail n'a pas permis d'analyser les résultats des essais 1, 2 et 3 conjointement. La discussion suivante s'attachera donc à discuter des résultats par site d'étude et à valider ou infirmer les hypothèses de travail dépendamment de leurs contextes zootechnique, alimentaire, agronomique et environnemental (*cf. partie II.d*).

a) Essai 1 – pâturage printanier sous les pommiers

Les dispositifs de protection des arbres fruitiers testés dans le cadre de l'essai 1 n'ont pas permis d'éviter la consommation de la strate arborée des arbres fruitiers (i.e., rameaux et feuilles). En revanche, aucune consommation d'écorce n'a été observée. Ce résultat est en accord avec les caractéristiques de la race ovine shropshire sélectionnée par la SSBA (Shropshire Sheep Breeder's Association) pour pâturer en contexte forestier et arboricole sans créer de dégâts sur le tronc des arbres (*Geddes et al., 2009 ; Kohl et Rutzen, 2008)*. La consommation foliaire augmentait graduellement au cours du temps dans les modalités « témoin » (T) et « détournée » (D) jusqu'à atteindre 61% de dégâts sur le feuillage de arbres en fin de pâturage. Elle stagnait en modalité « fils électriques » (FE) et n'a pas dépassé les 23% de dégâts en fin de pâturage. La non-consommation totale des rameaux et du feuillage des arbres en modalité « détournée » et « témoin » peut s'expliquer par le fait que les agnelles n'en avaient pas la totale accessibilité du fait de leur petite taille. Ces résultats se reflètent sur la hauteur du feuillage qui n'évoluait pas en modalité « fils électriques » avant et après pâturage, mais qui augmentait dans les deux autres modalités. Les dégâts sur coursonnes étaient également significativement plus bas en modalité « fils électriques » qu'en modalité « témoin » et « détournée ».
La fréquence moyenne d'abroutissement des individus de la modalité « fils électriques » n'a démontré aucune différence significative au cours du temps mais tendait à baisser après le premier jour de pâturage sous l'effet probable conditionnant des fils électriques (*McKillop et Sibly, 1988*). Elle réaugmentait significativement au quatrième jour et atteignait des fréquences similaires aux autres modalités en fin de pâturage. Cette élévation en fin de pâturage pourrait s'expliquer par une baisse graduelle de la ressource fourragère disponible au cours du temps et une dynamique de pâturage centrée sur l'inter-rang plutôt que sur le rang du fait de la présence des fils électriques. En effet, au matin du quatrième jour, les brebis de la modalité « fils électriques » semblaient avoir consommée la grande majorité de la ressource fourragère présente sur l'inter-rang, au détriment de celle présente sur le rang de fruitier (*cf. figure 29.a).* Cette distribution spatiale s'oppose aux observations faîtes en modalité « témoin » où la consommation de la strate herbacée semblait beaucoup plus homogène (*cf. figure 29.b).*

FIGURE 29. PARCELLE D'ESSAI DE LA MODALITE FE (A) ET DE LA MODALITE T (B) AU QUATRIEME JOUR DE PÂTURAGE (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR).

Cet argument est renforcé par la figure descriptive de la distribution spatiale des ovins au pâturage au cours du temps *(cf. annexe 7).* En début de pâturage, les animaux pâturaient préférentiellement en bout de rang puis en inter-rang. En fin de pâturage, les animaux étaient principalement observés en train de pâturer sur le rang d'arbres fruitiers. En modalité « fils électriques », les animaux y pâturaient presque 70% du temps (contre 50% en modalité D et 55% en modalité T). Cette distribution spatiale au cours du temps suit dans toutes les modalités le même schéma (bout de rang < inter-rang < rang). Elle peut s'expliquer par des valeurs nutritionnelles énergétiques et protéiques supérieures en inter-rang que sur le rang et une végétation moins développée donc moins lignifiée et plus facilement digestible (Le *Goffe et al., 1993*). Les ovins ont en effet préférentiellement consommé le ray-grass et le trèfle blanc et violet majoritairement présents sur l'inter-rang, au détriment du dactyle aggloméré et de la benoite commune majoritairement présents sur le rang de fruitiers dont les stades phénologiques étaient bien plus avancés (*cf. annexe 8*). Ces différences entre l'inter-rang et le rang sont cependant minimes mais pourraient être perçues par les ovins et les influencer dans leur sélection alimentaire (*Ginane et al., 2008*). *Dumont et al. (1995)* ont en effet démontré que les ovins se reportaient sur la ressource au départ délaissée (i.e., herbe épiée, ici dactyle aggloméré et benoite commune) lorsque la ressource préférée devenait moins accessible.

Les apports nutritionnels de la ressource fourragère du verger peuvent être comparés aux besoins nutritionnels de référence du troupeau recommandés par les tables INRAE (*Hassoun et al., 2018*). Les recommandations totales (entretien ou fonctions non productives et gestation) pour une agnelle de 4,5 mois (i.e., 130j) de 28,5 kg en moyenne avec un objectif de gain moyen quotidien (GMQ) de 150g/j sont respectivement de 0,85 UFL/j (i.e., énergie) et 87 g PDI/j (i.e., protéines) (*Hassoun et al., 2018*). Les agnelles n'ayant pas été achetées par l'éleveur pour être mise à la reproduction, aucun objectif de gain moyen quotidien (g/j) n'a à être définis. De ce fait, le GMQ minimum de 150g/j définis pour des agnelles de renouvellement mises à l'herbe peut être pris comme référence *(Hassoun et al., 2018)*. Les besoins en minéraux (i.e., calcium et phosphore) n'ont pas à être pris en compte car les brebis étaient complémentées. Cette complémentation permet de partir du postulat que les besoins en minéraux étaient comblés. Les calculs de capacité d'ingestion des agnelles n'incluent par les principes des unités d'encombrement (UE) mais ceux de la matière sèche ingérée (MSI /kg brute de MS) du fait d'un régime généralement riche en concentré (*Hassoun et al., 2018*). La

MSI d'une agnelle de 30kg avec un GMQ de 150g/j est 0,94kg de MS. Les apports protéiques et énergétiques de la strate herbacée du verger (/kg MS) peuvent être rapportés à cette dernière.
La ressource fourragère présente dans le verger ne permettait pas de répondre aux besoins nutritionnels énergétiques et protéiques des agnelles (Apport énergétique : 0,68 UFV/j/agnelle < Besoin énergétique : 0,85 UFV/j/agnelle ; Apport protéique : 60 g PDI/j/agnelle < Besoin énergétique : 87 g PDI/j/agnelle) (*cf. tableau 13*). Il est intéressant de noter qu'elle n'aurait pas non plus répondu aux besoins protéiques des brebis gestantes des essais 2 et 3 (Apport protéique : 85 g PDI/j/brebis < Besoin protéique : 101 g PDI/j/brebis).

TABLEAU 13. APPORTS NUTRITIONNELLES PROTEIQUE ET ENERGETIQUE DE LA STRATE HERBACEE DU VERGER PÂTURE (MEAN) RAPPORTES A LA MATIERE SECHE INGEREE MAXIMALE PAR INDIVIDU COMPARES AUX BESOINS NUTRITIONNELS PROTEIQUE ET ENERGETIQUE PAR JOUR PAR INDIVIDU

Ration pour une agnelle de 4,5 mois de 28,5kg nourris uniquement à l'herbe avec un objectif de poids moyen quotidien de 150g/j		**Apports** Pour 1,00 kg/MS	**Apports** Pour 0,94 kg/MS/jour	**Besoins** Pour 0,94kg/MS/jour
Protéines	g PDI	64,09	60,24	87
Energie	UFV	0,73	0,68	0,85
Encombrement (Capacité d'ingestion)	UEM	1,42		

En gris, les indicateurs de valeurs nutritionnelles protéique et énergétique les plus élevés.

Les valeurs nutritionnelles de le strate herbacée pourraient être améliorées en proposant aux agnelles un fourrage plus facilement digestible et moins lignifié. *Hassoun et al. (2018)* s'accordent en effet pour dire que la digestibilité de la matière organique (DMO) est le premier facteur de variation des valeurs UFL/UFV. La ressource fourragère proposée aux agnelles début mai était peut-être donc bien trop haute et trop mature pour répondre correctement aux besoins des agnelles. L'intégralité des graminées avaient effectivement déjà épiés *(cf. figure 30.a)*. Les agnelles ont par exemple refusé de consommer le dactyle aggloméré, une graminée habituellement pâturée *(cf. figure 30.b)*.

FIGURE 30. AGNELLES SHROPSHIRE DE LA MODALITE « FE » LORS DU PREMIER JOUR DE PÂTURAGE. L'HERBE EST HAUTE ET A DEJA EPIE (A) ; REFUS APRES 7 JOURS DE PÂTURAGE : LE DACTYLE AGGLOMERE N'EST PAS CONSOMME PAR LES AGNELLES (B) (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)

Ce résultat démontre que la strate herbacée du verger ne doit pas être considéré comme un simple enherbement mais également comme une ressource fourragère à part entière que nécessite une gestion et une conduite de pâturage spécifique propre au système d'élevage s'y intégrant. Ces carences énergétiques et protéiques auraient pu être momentanément comblées par l'apport de concentrés.

Il est aujourd'hui impossible de traduire les valeurs de composition biochimique des feuilles de pommiers en valeurs nutritionnelles comparables à celles de la strate herbacée. Néanmoins, Il est intéressant de noter que les feuilles de pommiers présentaient une digestibilité (% MO) et une MAT (g/kg MS) supérieures de celles de la strate herbacée en période printanière. *Novak et al. (2020)* ont trouvé des valeurs de matière azotées totales (MAT) de feuilles de pommiers prélevés en août similaires à celles présentées ici (108 vs. 121 g MAT/kg MS ici). Les taux de matière sèche (MS) et de matière minérale (MM) semblent être en revanche inférieurs aux valeurs médianes[8] mesurées par *Novak et al. (2020)* (MS : 346 ici < 394 < g/kg MB ici ; MM : 63,8 ici < 94,0 g/kg MS). La digestibilité de la matière organique mesurée par *Novak et al. (2020)* est à l'inverse supérieure (79,6 % > 70,9% ici) (*cf. tableau 14*). La hausse du taux de MAT au cours de la période de végétation (mai < juillet < août) a également été observée par *Roukos (2016)* sur les feuilles de chêne. En effet, en début de développement et notamment au printemps, les feuilles sont riches en protéines puis voient leurs valeurs nutritionnelles diminuer en parallèle de la hausse de leurs teneurs en fibres (*Roukos, 2016 ; Parissi et al., 2005).*

TABLEAU 14. COMPOSITION CHIMIQUE DES FEUILLES DE POMMIERS PRELEVES SUR LES DIFFERENTS SITES EXPERIMENTAUX DES ESSAIS ECORCE 2021 COMPARES AUX VALEURS DE REFERENCES DE NOVAK ET AL. 2020

Feuilles de pommiers	**Essai 1** Variété Dalinette (n=1) Date : mai	**Essai 2 et 3** Variété Breaburn (n=1) Date : juillet	**Novak et al. (2020)** Variétés inconnues (n=4) Date : août		
			Médiane	Min	Max
Matière sèche (g/kg MB)	346	410	394	372	412
Matière minérale (g/kg MS)	63,8	66,1	94,0	82	110
Matière azotée totale (g/kg MS)	121	105	108	94	137
Digestibilité de la matière organique(%MO)	70,9	75,3	79,6	79,0	79,9

La distribution spatiale des herbivores au pâturage dépend à la fois de la disponibilité et des préférences alimentaires, de la cohésion intrinsèque du groupe, des différences inter-individuelles de sociabilité ainsi que des connaissances qu'ont les animaux de leur environnement (*Arnold et Dudzinski, 1978 ; Ginane et al., 2008*). Elle peut cependant être aussi influencée par une contrainte extérieure tels que les fils électriques. La découverte d'un objet non-familier chez les mammifères s'exerce généralement avec le nez ou le museau, une zone innervée très sensible aux chocs électriques (*McKillop et Sibly, 1988*) et peu de temps est nécessaire pour conditionner un animal à rester dans une zone délimitée ou rester éloigné d'un objet s'il est associé à la réception d'un choc électrique. *Fay et al. (1989)* ont ainsi pu apprendre à des chèvres équipées d'un collier électrique de rester dans une zone délimitée en seulement trente minutes. La baisse de la fréquence moyenne d'abroutissement dès la fin du premier jour de pâturage en modalité « fils électriques » peut donc s'expliquer par l'effet conditionnant des fils électriques rapidement associés à la douleur et à la surprise

[8] Novak et al. (2020) discutent de valeurs médianes car la médiane est moins dépendante de la forme de la distribution statistique que la moyenne. Le faible nombre d'échantillons et des valeurs extrêmes peuvent ainsi créer un biais dans l'interprétation des résultats.

(*Launchbaugh et Howery, 2005*). Cet effet conditionnant s'exprime à travers la fréquence moyenne d'abroutissement individuelle : les individus des modalités « témoin » et « détournée » présentaient une variabilité comportementale significative intra-modalité tandis que les individus de la modalité « fils électriques » ne différaient pas dans leur comportement.

L'absence de changement de fréquence moyenne d'abroutissement en modalité « détournée » est difficilement explicable. Les agnelles n'ont pas consommé le fourrage et les jouets en bois mis à disposition étaient principalement utilisés par les animaux pour se frotter ou pour se faire les dents sur l'extrémité des buches de bois (*cf. annexe 9*). Le fait que les arbres n'y soient pas directement protégés la rapproche des caractéristiques de la modalité « témoin ». Les cinétiques de développement du comportement « abroutisseur » différenciées entre la modalité « témoin » et la modalité « détournée » peuvent éventuellement s'expliquer par la ressource fourragère initialement disponible, visuellement plus haute en modalité « détournée » qu'en modalité « témoin » (*cf. annexe 8*) et par le comportement individuel des individus. En partant du postulat que les agnelles détenaient le même historique du fait d'une conduite en lot depuis leur naissance, les variabilités inter-individuelles qui se sont exprimées à travers la fréquence moyenne d'abroutissement peuvent en effet refléter des préférences alimentaires différenciés dépendantes de l'individu. Cette explication est supportée par les résultats de recherche de *Dumont et al. (1995)* démontrant une forte variabilité individuelle des préférences alimentaires pour l'herbe épiée pour les agnelles d'un même groupe de trois à quatre individus (27-50%). Cette variabilité a tendance à s'affaiblir avec la hausse du nombre d'individu au sein d'un même groupe (9 agnelles – 6 à 19%).

Les observations quotidiennes (8h-22h) ont également permis de révéler que le comportement « abroutisseur » se développait préférentiellement le soir (20h-22h). Selon *Dumont (1996)*, cette variation temporelle intra-journalière des préférences alimentaires s'explique par le fait que les ruminants chercheraient à remplir leur rumen de fourrages moins rapidement digestibles avant la nuit afin d'atteindre un certain confort digestif. *Parsons et al. (1994)* ont par exemple démontré que les ovins consommaient plus de ray-grass et moins de trèfle le soir. *Dumont et al. (1995)* ont également observés que les agnelles passaient plus de temps à consommer de l'herbe épiée le soir lors de leur dernier repas. Ces résultats sont à nuancer car une temporalité inverse de consommation peut s'exprimer vis-à-vis des espèces ligneuses face aux herbacées : *Clarke et al. 1995* ont en effet observés que les ovins passaient plus de temps à consommer la bruyère le matin (> 50% de 4h-7h du matin) que le reste de la journée (< 30%).

* * *

La hausse des dégâts sur la strate arborée et l'accentuation du comportement « abroutisseur » au cours du temps observés dans la modalité « témoin » permet en partie de valider l'hypothèse (1) : *« Le comportement « abroutisseur » et « écorceur » des ovins se développe au pâturage sous vergers et s'accentue au cours du temps ».* Les caractéristiques zootechniques des agnelles shropshire n'ont cependant pas permis d'observer le comportement d'écorçage à l'œuvre.

Les dégâts moins importants en modalité « fils électriques » démontrent l'efficacité de ce dispositif de protection en conduite centrifuge lorsque les vergers de pommiers sont pâturés par des agnelles shropshire (chargement cumulé de 2,5 UGB/ha) en période printanière, en rapport à une modalité « témoin » non protégée. Ces résultats permettent donc de valider l'hypothèse (2) : *« Les dégâts sur fruitiers associés aux comportements « abroutisseur » et « écorceur » peuvent être limités à plus ou moins long terme par la mise en place de dispositifs de protection portés par les arbres ou les brebis ».*

b) Essai 2 et 3 – pâturage estival sous les pommiers

Les dispositifs de protection des arbres fruitiers testés dans le cadre des essai 2 et 3 n'ont pas permis d'éviter la consommation de la strate arborée des arbres fruitiers (i.e., rameaux et feuilles). Les dégâts sur feuilles et sur rameaux ont augmenté graduellement au cours de pâturage dans toutes les modalités et étaient presque totaux dès le quatrième et le sixième jour de pâturage en essai 2 et 3.
La hauteur des dégâts significativement différente entre les deux modalités « témoin » des essais 2 et 3 mesurées à un jour d'intervalle (J6 < J7) incite à dire que la hauteur des dégâts sur arbres fruitiers augmente graduellement en cours de pâturage. Le comportement « abroutisseur » et « écorceur » s'est aussi graduellement développé au cours du temps et s'est préférentiellement exprimé le soir (20h-22h), comme observé en essai 1.

La hauteur des dégâts, significativement différentes entre les modalités « badigeon » (B), « témoin » (TT et TF), « manchon » (M), « répulsive » (R) et abrasive (A) (R < A = TF < B < TT < M) est à nuancer car elle n'est pas forcément dépendante du dispositif de protection. En effet, la modalité « badigeon » (B) présentant la hauteur de dégât la plus faible avait un individu malade peu actif durant l'essai. La pression alimentaire des ovins sur la strate arborée était donc variable entre les modalités. La prise en compte de cette variabilité lors du traitement des données était malheureusement impossible du fait du caractère indirecte des mesures de dégâts sur fruitiers. En revanche, l'analyse comportementale composée de mesures directes du comportement « abroutisseur » a permis de mettre en avant ce biais : l'individu malade créait une trop forte variabilité et donnait un effet significatif au dispositif de protection. Sa suppression du jeu de données a donc enlevé tout effet significatif de la modalité « badigeons » sur le comportement « abroutisseur » des ovins. Un tel effet « individu » questionne donc l'effet de la modalité « badigeons » sur la hauteur des dégâts observés dans la modalité. De plus, même si la probabilité d'observer certains individus abroutir les arbres fruitiers était supérieure dans certaines modalités, et notamment en modalité « manchon », la fréquence moyenne d'abroutissement sur dix minutes d'observation ne différait pas significativement entres les individus toutes modalités confondues.

Ce biais lié à l'individu malade et son influence sur la hauteur des dégâts ne s'exprimait en revanche pas lors l'essai 3 : la modalité « témoin » (TF), pâturée par les individus de la modalité « badigeon » de l'essai 2 (B), présentait en effet une hauteur de dégâts significativement plus importante qu'en modalité « répulsive » (R) où pâturaient les individus de la modalité « témoin » de l'essai 2 (TF).
Le nombre d'arbres fruitiers indifférencié entre les modalités (TF : 55 vs. R : 56) de l'essai 3 suggèrent que la ressource arborée disponible était pourtant la même entre les modalités. La

moindre pression alimentaire sur la strate arborée en modalité « témoin » (TF) du fait de l'individu malade aurait également dû être responsable d'une plus faible hauteur de dégâts que dans les autres modalités avec 5 individus. Ces observations démontrent donc un réel un effet aversif des excréments de moutons pulvérisés sur le feuillage des arbres en modalité « répulsive » (R). Cet effet aversif n'a pas permis d'éviter les dégâts mais semblait tout de même en diminuer la hauteur. Les évaluations comportementales (i.e. mesures directes) vont néanmoins à l'encontre des taux de dégâts observés (i.e. mesures indirectes) puisque le nombre moyen d'évènements d'abroutissement sur dix minutes d'observation continue est significativement supérieur en modalité « répulsive » qu'en modalité « témoin » (R > TF), probablement du fait de l'individu malade. Cet effet aversif n'a cependant pas eu d'impact sur la consommation foliaire et raméale moyenne des ovins même si elle tendait à y être inférieure.

Lorsque les deux essais ont été comparés entre eux sur les quatre premiers jours de pâturage, l'effet aversif des excréments de moutons de la modalité « répulsive » s'observaient encore sur les résultats. La consommation de la strate arborée et notamment du feuillage des feuilles était inférieure sur les arbres où avaient été pulvérisé des excréments d'ovins (i.e., modalité « répulsive » - R) que sur les arbres non protégés de l'essai 2 (i.e., modalité « témoin » - TT) et physiquement protégés (i.e., modalité « manchon » - M). La modalité « répulsive » de l'essai 3 étant anciennement la modalité « témoin » de l'essai 2, les individus et les dégâts qu'ils engendrent peuvent être pris comme leur propre témoin. Cette différence significative de consommation foliaire sur les quatre premiers jours démontre une réelle influence de la pulvérisation d'excréments de moutons sur le comportement « abroutisseur » des ovins. Même si *Suárez et al. (2002)* n'ont pas observé d'effet aversif du fumier d'ovin sur le comportement alimentaire des ovins par rapport à des ovins non exposés au fumier, l'effet aversif observé ici est bien réel et pourrait provenir du risque parasitaire perçu par les ovins (*Cooper et al., 2000*) éventuellement associé à l'odeur des excréments (*Dohi et al., 1991*). Le fait que les excréments aient directement été pulvérisés sur la strate arborée en modalité « répulsive », leur consommation par les ovins pourrait avoir freiné le développement du comportement « abroutisseur ». *Cooper et al. (2000)* ont en effet démontré que les ovins utilisaient les déjections comme indice du risque parasitaire et avaient tendance à éviter les zones contaminées par les fèces en zone pâturée. Un comportement similaire a été observé chez des chamois captifs chez qui la présence d'excréments de moutons a eu pour conséquence une réduction du temps d'abroutissement sur les arbres autour desquels avait été pulvérisée au sol une solution d'eau et d'excréments (25.5min/h en témoin vs. 4,7min/ha en présence d'excréments) (*Fankhauser et al., 2008*).

L'importante hauteur des dégâts mesurée dans la modalité « manchon » est principalement due au fait que les ovins s'appuyaient sur les manchons pour abroutir l'arbre fruitier en hauteur (*cf. figure 30.a*). Ils avaient donc une accessibilité à la ressource fourragère arborée supérieure aux deux autres modalités. Cet effet inattendu des manchons de protection incite à prendre en considération l'éventuel utilisation des dispositifs de protection par les brebis au détriment de la protection de l'arbre fruitier. La modalité « manchon » est également la seule modalité à présenter des dégâts d'écorçage (cf. figure 30.b).

FIGURE 31. BREBIS DE RACE PRE-ALPES ABROUTISSANT LES POMMIERS EN S'APPUYANT SUR LES MANCHONS DE PROTECTION ET SUR LE DISPOSITIF D'IRRIGATION (A) ; DEGÂTS D'ECORCAGE PROVOQUES PAR LES BREBIS DE LA MODALITE « MANCHON » AU SIXIEME JOUR DE PÂTURAGE (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)

Aucun dégât sur tronc n'a dépassé la valeur seuil de 50% de la circonférence du tronc de l'arbre définis par *Sharrow (1994)* et *López-Sánchez et al. (2020)* comme étant préoccupant. Les dégâts d'écorçage observés sur branches charpentières étaient plus nombreux mais majoritairement compris en dessous du seuil de 50%. Seuls 7% des dégâts observés sur branches charpentières étaient suffisamment sévères pour impacter négativement le développement et les performances agronomiques de l'arbre. Les manchons de protection s'avèrent donc suffisamment efficaces pour protéger le tronc des arbres mais pas les branches charpentières. La corrélation faîte par *López-Sánchez et al. (2020)* entre la sévérité d'écorçage (>50%) et la probabilité d'observer des dégâts sur la couronne de branches charpentières (>90%) des arbres fruitiers, traduisant un seuil d'écorçage résultant presque automatiquement à des dégâts supplémentaires sur la couronne de branches charpentières, n'est ici pas applicable. La conduite basse-tige des arbres fruitiers semble être un facteur prépondérant influençant l'accessibilité de la ressource fourragère arborée et indirectement le comportement « abroutisseur/écorceur » et les dégâts observés.

La présence d'écorçage en modalité « manchon » mais pas dans les autres modalités questionne son origine, et notamment son lien avec la hauteur de dégâts. Elle incite à penser que les ovins pâturant en contexte arboricole auraient un schéma de consommation de la ressource fourragère arborée par palier, tout d'abord en développant un comportement « abroutisseur » en consommant la ressource foliaire et raméale de l'arbre, puis en développant un comportement « écorceur » en consommant l'écorce de l'arbre. Un schéma similaire a été observé par *Anderson (1985)* sur une année en contexte forestier : les ovins introduits en juin dans une forêt de conifères (*Pinus radiata et Pinus pinaster – trois densités : 200 – 500 – 750 arbres/ha*) avaient premièrement consommé les aiguilles des arbres jusqu'à atteindre 50% de la ressource arborée accessible. Ils s'étaient ensuite pendant l'hiver détournés de la strate arborée pour en consommer l'écorce.

Un tel schéma amène à attribuer une origine alimentaire au comportement « écorceur ». *Kurek et al. (2019)* ont par exemple démontré que les arbres écorcés par les cervidés détenaient un taux en sucres plus importants que les arbres non écorcés, suggérant que la carence alimentaire ou l'attrait pour le sucre pouvaient être responsables du comportement « écorceur ». Ces propos sont supportés par l'étude de *Welch et al. (1987)* où

ils imputent le comportement « écorceur » des cervidés à la recherche de nourriture riche en sucres. Ils l'imputent également à la baisse de la ressource fourragère disponible en période hivernale, comme le font *Verheyden et al. (2006)* et *Ueda et al. (2002).* Des études plus poussées sur les macronutriments d'écorce ne permettent pas de lier la préférence d'écorçage des chevaux avec les caractéristiques minérales des essences forestières écorcées (*Kuiters et al., 2006*). *Ando et al. (2003)* font également les mêmes observations chez les cervidés et ne trouvent aucune corrélation entre l'écorçage sélectif de certaines essences forestières et leurs valeurs nutritionnelles (i.e., cellulose brute et minéraux). Ils observent même que l'écorçage de cervidés intervient préférentiellement en été qu'en hiver, affaiblissant l'argument corrélant le développement du comportement « écorceur » et la baisse de la ressource fourragère disponible. *Welch et al. (1987)* suggère néanmoins que le développement du comportement « écorceur » interviendrait lors des changements saisonniers de régime alimentaire. Au printemps, la consommation d'écorce aurait pour objectif de rééquilibrer le pH du rumen des animaux consommant majoritairement une ressource hautement digestible par la consommation d'une ressource plus riche en fibres tel que l'écorce. Le manque de fibres dans la ration alimentaire, en tant que facteur potentiellement responsable du développement du comportement « écorceur », est supporté par les travaux de Keenan (1986) révélant le développement préférentiel du comportement « écorceur » chez les équidés pâturant en prairie irriguée. Il explique ces résultats par le taux de matière sèche et le taux de cellulose brute de la strate herbacée de la prairie irriguée (matière sèche : 13,80% ; cellulose brute : 16.20 % MS) nettement inférieurs à ceux de la strate herbacée de la prairie non irriguée (matière sèche : 27.04% ; cellulose brute : 21,27 % MS). La consommation foliaire supérieure des brebis pré-alpes en modalité « manchon » par rapport aux autres modalités a donc peut-être été responsable d'une carence en fibres chez les ovins les incitant à consommer l'écorce des arbres. Les analyses nutritionnelles des feuilles de pommiers (F) reflétaient néanmoins un taux de matière sèche supérieur à la strate herbacée (H) (F : 41,0 % > H : 29.6%) malgré un taux de cellulose brute nettement inférieur (F : 12,23 % < H : 29.78%). Il n'existe donc pour l'instant pas de réelles explications à un tel comportement.

Ces résultats n'expliquent cependant pas le fait que les ovins se soient détournés de la ressource fourragère présente au sol. Pour l'essai 2 et 3, les recommandations totales (entretien ou fonctions non productives et gestation) pour une brebis de 68 kg en moyenne avec une taille de portée moyenne de deux agneaux (i.e., poids total de 7kg) au cours des 3-4 dernières semaines de gestation étaient de 0,93 UFL/j (i.e., énergie) et 101 g PDI/j (i.e.,, protéines) (*Hassoun et al., 2018*). Les besoins en minéraux (i.e., calcium et phosphore) n'ont pas à être pris en compte car les brebis étaient complémentées. Cette complémentation permet donc de partir du postulat que les besoins en minéraux étaient comblés. Les brebis détenaient une capacité d'ingestion de 1,57 UEM/j (Hassoun et al., 2018), ce qui résulte à une consommation quotidienne maximale de la ressource fourragère de 1,16 kg MS. Les apports protéiques et énergétiques de la strate herbacée du verger (/kg MS) ont ainsi pu être rapportés puis comparés aux valeurs de références des besoins du troupeau (*Hassoun et al., 2018*) *(cf. tableau 15).* La valeur énergétique de la ressource fourragère herbacée (H) répondait étroitement aux besoins de troupeau (Apport : 0,94 UFL /j/brebis > Besoin : 0,93 UFL/j/brebis) mais sa valeur protéique n'y répondait en revanche pas (Apport : 85 g PDI/j/brebis ; Besoin : 101g PDI/j/brebis). Ses apports protéiques restaient néanmoins supérieurs à la ressource arborée (F) (H : 135 g MAT/kg MS ; F : 105 g MAT/kg MS).

TABLEAU 15. APPORTS NUTRITIONNELLES PROTEIQUE ET ENERGETIQUE DE LA STRATE HERBACEE DU VERGER PÂTURE RAPPORTES A LA CAPACITE D'INGESTION MAXIMALE PAR INDIVIDU COMPARES AUX BESOINS NUTRITIONNELS PROTEIQUE ET ENERGETIQUE PAR JOUR PAR INDIVIDU

Ration pour une brebis de 68kg sur les trois à quatre dernières semaines de gestion. Taille moyenne de portée : deux agneaux (i.e., 7kg)		**Apports** Pour 1,00 kg/MS	**Apports** Pour 1,16 kg/MS/jour	**Besoins** Par jour
Protéines	g PDI	73,21	85	101
Energie	UFL	0,81	0,94	0,93
Encombrement (Capacité d'ingestion)	UEM	1,35	1,57	1,57

En gris, les indicateurs de valeurs nutritionnelles protéique et énergétique les plus élevés.i

Selon *Roguet et al. (1998)*, la valeur alimentaire d'une ressource fourragère ne se caractérise pas seulement par ses caractéristiques nutritionnelles mais également par sa biomasse, sa structure (i.e., structure, densité) et sa nature (espèces végétales). L'abondance et la fréquence relative mesurées avant et après pâturage démontrent que le ray-grass a été préférentiellement consommé par les ovins alors que le chiendent, graminée dont la couverture est majoritaire avant et après pâturage, ne l'a pas été. La strate herbacée s'est également asséchée au cours du pâturage du fait d'un stade phénologie avancé. La faible appétence et le caractère fibreux du chiendent peuvent donc expliquer le fait que les ovins s'en soient détournés au profit du feuillage des pommiers moins fibreux (*Moule, 1971 ; Osson et Maciejewski., 2015*). Cette hypothèse est appuyée par la Théorie de l'Alimentation Optimale (TAO) développée par *Pyke et al. (1977, 1984)* expliquant que les animaux cherchent à maximiser leur vitesse d'ingestion. Cette dernière va dépendre de la quantité de ressource présente dans la pâture mais aussi de sa facilité de récolte, elle-même qui va dépendre de la structure et de la fibrosité du couvert (e.i., résistance au cisaillement) (*Roguet et al., 1998*).

* * *

La hausse des dégâts sur la strate arborée et l'accentuation du comportement « abroutisseur » au cours du temps observés dans l'intégralité des modalités des essais 2 et 3 permet de valider en partie l'hypothèse (1) : *« Le comportement « abroutisseur » et « écorceur » des ovins se développe au pâturage sous vergers et s'accentue au cours du temps ».* L'observation d'écorçage en modalité « manchon » en fin de pâturage inciterait à valider cette hypothèse mais l'absence d'écorçage en modalité « témoin » amène à la prudence.

La sévérité des dégâts observés dans l'intégralité des modalités de protection des arbres fruitiers démontrent l'inefficacité de ces dispositifs en conduite basse-tige lorsque les vergers de pommiers sont pâturés par des brebis (chargement cumulé de 10.5 UGB/ha en E2 et 9 UGB/ha en E3) en fin de gestation en période estivale. Les quatre premiers jours de pâturage permettent tout de même de mettre en avant une cinétique de dégâts différenciée en faveur du dispositif de protection répulsif à base d'excréments de mouton. Ces résultats viennent donc en partie valider l'hypothèse (2) : *« Les dégâts sur fruitiers associés aux comportements « abroutisseur » et « écorceur » peuvent être limités à plus ou moins long terme par la mise en place de dispositifs de protection portés par les arbres ou les brebis ».* L'inefficacité de ces dispositifs est ici aussi à nuancer au regard des caractéristiques zootechniques du troupeau utilisé, des caractéristiques agronomiques de la parcelle arboricole et des caractéristiques environnementales et alimentaires.

VII. LIMITES ET PERSPECTIVES

Les résultats obtenus dans le cadre de cette première année d'essai amènent à discuter des limites de l'étude et des pistes d'améliorations disponibles, notamment au regard des choix méthodologiques faits sur la caractérisation des dégâts sur fruitiers, du potentiel fourrager, de l'évaluation comportementale, mais également vis-à-vis des dispositifs de protection testés.

a) Limites méthodologiques et pistes d'améliorations

i. CARACTÉRISATION DES DÉGATS SUR FRUITIERS

Le nombre d'individus (i.e., coursonne) trop faible (n=8) dans les essais 2 et 3 n'ont parfois pas permis d'analyser statistiquement les données à l'aide de tests paramétriques du fait d'une trop forte variabilité individuelle (n = 8). Le nombre d'individu en essai 1 (n = 10) était en revanche suffisant pour permettre l'analyse statistique paramétrique. Le nombre de dix individus semble donc être une valeur seuil minimum à conserver pour la suite des essais.
Le choix de réaliser les suivis de consommation de la strate arborée sur les coursonnes les plus basses, donc facilement accessibles, n'a pas permis de véritablement discriminer les dispositifs de protection des essais 2 et 3 entre eux, la cinétique de consommation étant extrêmement rapide (dégâts totaux au bout de quatre jours de pâturage). Des mesures de hauteur de dégâts quotidiennes à l'échelle de l'arbre, ici seulement réalisées en fin d'essai, auraient peut-être pu permettre de capter une certaine cinétique différenciée entre modalités de protection des arbres fruitiers. Il aurait également été intéressant d'étudier la corrélation entre la consommation de feuilles et la consommation de rameaux mais le manque de temps n'a pas permis d'aller plus loin dans cette analyse.

ii. ÉVALUATION COMPORTEMENTALE

Les mesures d'évaluation comportementales étaient extrêmement chronophages et le protocole peut-être bien trop lourd au regard de la problématique de recherche définie dans le cadre de ce travail. Les scans d'activités ont principalement permis de caractériser le comportement des ovins au pâturage mais pas le comportement « abroutisseur » et « écorceur » qui étaient principalement caractérisables lors des observations continues. Les résultats des scans d'activités n'ont d'ailleurs pas été traités ici, tout d'abord par manque de temps, mais surtout car ils ne permettaient pas de directement répondre à la question posée. Ils peuvent donc être sans soucis allégés voire supprimés du protocole.

Les mesures d'évaluation comportementales dîtes « directes », en comparaison des mesures de dégâts qui étaient des mesures indirectes du comportement « abroutisseur » et « écorceur », ont été indispensables pour analyser, comprendre et nuancer les résultats de dégâts. Elles ont notamment permis d'identifier la présence d'un individu malade dont le comportement venait directement influencer les conclusions de ce travail. L'utilisation d'un plus grand nombre d'individus permettant de diminuer la variabilité comportementale permettrait peut-être de s'abstenir d'évaluer le comportement « abroutisseur » et « écorceur » des ovins pâturant sous vergers et d'alléger le protocole. Néanmoins, si les observations comportementales devaient être maintenues, l'identification d'un créneau plus propice au

développement des comportements à risque permet aujourd'hui de faire des recommandations méthodologiques pour les prochains essais. Concentrer les observations comportementales le soir, c'est-à-dire de 20h à 22h en pleine période estivale, permettrait d'augmenter les chances d'observer les brebis abroutir les arbres fruitiers tout en minimisant le temps passé sur le terrain. Le comportement d'écorçage n'a lui, jamais été vu à l'œuvre, mais le fait que les premières marques d'écorçage aient été observées un matin, alors qu'elles n'étaient pas observables la veille au soir, permet de dire que ce comportement s'est dans ce contexte déclaré après 22h.

Les nombre d'observateurs a également éventuellement pu créer un biais lors des observations comportementales car aucun test de concordance n'a été réalisé. Les activités de consommation de feuilles et de rameaux différenciées dans l'éthogramme ont ainsi dû être combinés lors de l'analyse de résultats car les observateurs ne percevaient pas les mêmes activités. Finalement, ce biais a mené l'analyse de résultats à se concentrer sur les activités d'abroutissement en général. Les activités au contact des dispositifs de protection étaient également minimes en part d'activités observées au cours des observations continues et n'ont pas été traitées.

Le manque de temps lors de l'analyse de résultats n'a pas permis d'évaluer dans quelle mesure la durée d'abroutissement tendait à augmenter ou à diminuer au cours du temps de pâturage. En effet, le jeu de données au départ traité selon une loi de poisson du fait d'une variable décrivant le nombre de seconde consacrées à un évènement d'abroutissement aurait éventuellement pu être transformé en un jeu de données suivant une loi binomiale afin de traiter les durées d'abroutissement sous forme catégorielle (i.e. évènement ponctuel : < 1 sec. ; évènement s'installant dans la durée : 1 – 15 sec ; 15 – 30 sec ; 30 – 45 sec. etc.)

Les résultats de l'essai 3 sont également à nuancer au regard des dispositifs de protection testés lors de l'essai 2. En effet, les essais 2 et 3 ont été réalisés successivement à deux jours d'intervalle avec les mêmes lots d'animaux. L'expérience antérieure d'un animal influençant son comportement alimentaire (*Burrit et Provenza, 1996*), il est impossible de dire que les premiers dispositifs de protection testés lors de l'essai 2 n'avaient plus d'effet sur les animaux lors de l'essai 3. Un temps de latence plus long entre les deux essais, l'utilisation de nouveaux individus ou encore la reconfiguration des lots auraient pu limiter ce biais. Les comparaisons réalisées entre une modalité de protection et une modalité « témoin » pâturée par un même lot peuvent tout de même permettre de prendre les individus d'un même lot comme leur propre témoin. Ce type de comparaison a d'ailleurs permis de mettre en avant l'effet aversif de la pulvérisation d'excréments de moutons sur le comportement « abroutisseur » d'individus pâturant anciennement dans une modalité où les arbres n'étaient pas protégés.

La reconfiguration des lots n'est cependant pas optimale car elle ne prend pas en compte l'influence des facteurs sociaux sur le comportement alimentaire des ovins (*Roguet al., 1998, Dumont et al., 2001*). Or, les facteurs sociaux s'avèrent avoir une plus grande influence sur le comportement alimentaire des ovins, et notamment sur l'expression de leur préférence alimentaire (i.e., sélection alimentaire) lorsque les ovins pâturent dans un environnement inconnu *(Scott et al., 1996)*. La période d'acclimatation hors vergers mise en place avant le début de l'essai 1 aurait préférentiellement dû se dérouler à l'intérieur du verger pour stabiliser les préférences alimentaires des animaux et réduire l'influence du facteur social.

Ces préférences auraient ensuite pu être prise en compte lors de la formation des lots d'animaux. La durée optimale de cette période est en revanche difficile à définir. A l'inverse, dans un environnement familier, les préférences alimentaires des ovins surpassent les facteurs sociaux et s'expriment à travers leur sélection alimentaire (*Scott et al., 1996*). La période d'acclimatation de quatre jours proposée avant essais aux brebis gestantes des essais 2 et 3 déjà expérimentées au pâturage ovin sous vergers semble avoir été suffisante pour dévoiler leur comportement « abroutisseur ». Enfin, *Scott et al. (1995)* ont démontré que des animaux issus de lots récemment constitués avaient plus tendance à s'écarter de leurs congénères pour exploiter leur ressource fourragère préférée que des animaux élevés ensemble. Les perturbations engendrées par la déstructuration du groupe et la formation des lots laissent donc penser que l'influence du facteur social aurait pu être amoindrie. Cependant, la faible durée des essais, la proximité des modalités entre elles, et donc des sons (i.e. bêlements) et des odeurs des autres congénères, ainsi que la multiplicité des relations sociales au sein d'un troupeau (i.e., dominance/subordination, leadership, affinité – *Dumont et al., 2001*), rend difficile la prise en compte de l'éventuelle influence du facteur social sur le comportement alimentaire des ovins et indirectement les résultats obtenus.

iii. CARACTÉRISATION DU POTENTIEL FOURRAGER

Les mesures de hauteur d'herbe (60 points / modalité de protection en essai 1 vs. 40 points / modalité de protection en essai 2 et 3) n'ont pas permis de finement caractériser la diminution de la ressource fourragère au cours du temps du fait d'une trop forte hétérogénéité de hauteur d'herbe au sein du verger et de la présence de bois de taille mal broyés ou décomposés. Ce biais méthodologique peut s'expliquer par un nombre de points trop faible, des points de mesures réalisés par les observateurs dans des zones différenciées du verger (inter-rang central vs. inter-rang bordure) ou par une méthodologie inappropriée. La méthode de hauteur d'herbe est en effet largement utilisée en système prairial mais n'est peut-être pas utilisable en système arboricole de part une trop forte hétérogénéité de la strate herbacée, aussi bien en termes de hauteur que de composition. Caractériser la diminution de la ressource fourragère est pourtant primordiale car les observations faîtes et la bibliographique suggèrent un lien entre les déterminants alimentaires et le développement du comportement « abroutisseur ». La mesure de hauteur de l'herbe est néanmoins une méthodologie facile et non destructive, une caractéristique de premier ordre dans le cadre d'essais sur petites parcelles à faible ressource fourragère (< 450m²). Augmenter le nombre de points de prélèvement par modalité de protection des arbres pourrait permettre de mieux capter cette hétérogénéité (80-100 points / modalité).
Tester cette méthodologie avant essai sur la pousse de l'herbe en contexte arboricole peut permettre de l'optimiser et de fixer un nombre de points minimum pour décrire avec suffisamment de robustesse la diminution de la ressource fourragère en cours de pâturage lors des prochains essais.

Les analyses fourragères finalement traitées à l'échelle du site expérimental toutes modalités confondues pour caractériser les valeurs nutritionnelles de la ressource fourragère consommée par les ovins ne nécessitaient peut-être pas d'être aussi nombreuses mais ont été indispensables pour alimenter la discussion des résultats, notamment au regard de l'influence de la qualité de la ressource fourragère disponible sur le comportement « abroutisseur » et « écorceur ». Elles restent cependant simplement descriptives et ne permettent pas de caractériser correctement une éventuelle influence.

Au-delà des caractéristiques de la ressource fourragère disponible, les préférences alimentaires individuelles, beaucoup moins contrôlables, semblent également être un déterminant du comportement « abroutisseur ». La complexité de réintégrer l'élevage ovin dans les cultures pérennes, en lien avec les multiples déterminants potentiellement responsables du comportement « abroutisseur » et « écorceur » (i.e., alimentaire, zootechnique, agronomique, environnementaux), incite donc à s'éloigner du cas par cas et à identifier les moyens de protection des arbres fruitiers les plus facilement adaptables et appropriables par les arboriculteurs et les éleveurs.

iv. CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

La comparaison deux à deux des modalités des essais 2 et 3 est également à nuancer au regard des conditions climatiques et de la disponibilité de la ressource fourragère.
Les conditions climatiques variables du 5 juillet au 17 juillet 2021 et indirectement le microclimat influence la sélection des sites alimentaires et les déplacements du troupeau *(Roguet et al., 1998)*. La faible taille des parcelles d'essai entraine peu de déplacements mais l'ombrage fournis par les arbres fruitiers peut être un élément favorisant leur abroutissement par les ovins, d'autant plus lorsque la ressource fourragère herbacée est fibreuse et peu appétence comme dans l'essai 2 et 3. *Béral et al. (2018)* ont démontré que les ovins recherchaient activement l'ombrage des arbres en pleine période estivale, et même en période de faibles chaleurs. Dans cette étude, les activités observées à l'ombrage des arbres et au soleil étaient respectivement des activités de repos, de rumination et de pâturage. Les ovins n'ayant pas accès à la strate arborée, il est donc difficile de conclure sur l'influence de l'ombrage sur le comportement alimentaire des ovins et notamment sur leur propension à abroutir les arbres en contexte de faible appétence de la ressource fourragère. Néanmoins, les températures et les précipitations variables au cours des essais 2 et 3 pourraient impacter leur comportement « abroutisseur ».
Enfin, il existe une semaine d'intervalle entre les essais 2 et 3, ce qui s'avère être une durée suffisante pour significativement influencer la hauteur d'herbe et donc la ressource fourragère disponible entre les modalités de l'essai 2 et 3. De plus, les arbres et le rang de fruitiers n'ayant ni été taillés ni nettoyés, la ressource fourragère proposée aux animaux entre les deux essais n'est pas la même. Ceci expliquerait la consommation foliaire moyenne inférieure des modalités de l'essai 3 aux modalités de l'essai 2 après quatre jours de pâturage. De manière à supprimer les biais potentiels liés au microclimat et à la ressource fourragère disponible, il serait préférable dans le futur de conduire ces essais au même moment.

b) Choix des dispositifs de protection

Les dispositifs de protection testés dans le cadre de ce travail rassemblaient des dispositifs de protection physique (manchon de protection), des dispositifs de protection répulsifs basés sur le goût et l'odeur (badigeon, pulvérisation abrasive et répulsive sur le feuillage des arbres) et sur la douleur (fils électriques).

i. DISPOSITIF DE PROTECTION ÉLECTRIQUE

Le dispositif électrique de conditionnement comportemental semble avoir fait ses preuves en contexte arboricole lorsque les vergers de pommiers basse-tige en conduite centrifuge étaient pâturés au printemps par des agnelles de race shropshire. L'efficacité de ce dispositif est cependant à nuancer au regard des caractéristiques zootechniques du troupeau utilisé, des caractéristiques agronomiques de la parcelle arboricole, telle que la conduite des arbres, et des caractéristiques alimentaires et environnementales du site expérimental.
D'un part, l'efficacité du dispositif électrique n'est pas totale puisque le dispositif doit être installé suffisamment haut pour permettre le pâturage sur le rang de fruitier et le passage des animaux d'un rang à l'autre. La strate arborée inférieure au dispositif est donc plus facilement accessible et consommée par les ovins. De plus, le poids de la production fruitière portée par les branches charpentières en fin de période productive entraine généralement leur affaissement jusqu'au sol, rendant un tel dispositif difficilement installable à cette période de l'année, période pourtant à risque car proche de la récolte. L'utilisation d'agnelles de plus petites tailles qu'une brebis adulte a également amélioré l'efficacité du dispositif. Il n'est en effet pas certain de pouvoir déployer le dispositif en verger basse-tige avec des brebis mère, d'autant plus lorsque les rangs de fruitiers sont buttés (*cf. figure 32*). L'intérêt de la pratique est effectivement de faire pâturer l'enherbement du verger, et en priorité l'enherbement des rangs de fruitier dont le fauchage est bien plus chronophage que celui de l'inter-rang. Un dispositif trop bas ne permettrait pas aux brebis adultes d'avoir l'accès au rang et d'en pâturer l'herbe. Il pourrait également rendre dangereux le pratique en isolant l'intégralité du troupeau entre le rang de fruitier et la clôture électrifiée tous deux infranchissables. Enfin, le dispositif électrique pourrait scinder le troupeau et être source de stress pour les animaux.

FIGURE 32. AGNELLES SHROPSHIRE PÂTURANT DANS UN VERGER DE POMMIERS BASSE-TIGE EQUIPE D'UN DISPOSITIF DE PROTECTION ELECTRIQUE (A) ; BREBIS GESTANTES PRE-ALPES PÂTURANT DANS UN VERGER DE POMMIERS BASSE-TIGE EQUIPE DE MANCHONS DE PROTECTION (B) (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)

Ce dispositif électrique est également à discuter au regard du temps d'installation et de désinstallation, et de son prix. Les interventions techniques au sein du verger nécessitaient également son pivotement parallèle au rang de fruitier. Une évaluation technico-économique de ce dispositif est en cours afin d'apporter des éléments supplémentaires aux arboriculteurs et aux éleveurs désireux de se l'approprier.

ii. BADIGEONS, PULVÉRISATIONS RÉPULSIVES ET ABRASIVES

L'absence d'écorçage observée dans les vergers de pommiers basse-tige pâturé par des brebis gestantes de race pré-alpes en période estivale incite à se concentrer sur les dispositifs de protection de la strate arborée.

Aucuns des produits répulsifs à base de sable ou d'excréments de mouton n'ont permis d'éviter la consommation de la strate arborée (*cf. figure 33.a.c*). Le petit lait utilisé comme adjuvant au troisième passage de pulvérisation a eu un effet phytotoxique sur le feuillage du premier étage productif de la strate arborée (*cf. figure 33.b*). De ce fait, la formulation (i.e., type de composés, concentration) et la préparation de tels produits en agriculture biologique doivent reposer sur (i) des composés non toxiques pour les animaux, les arbres fruitiers et l'humain, (ii) facilement accessibles et peu chères pour les agriculteurs, (iii) persistants sur la strate arborée des arbres fruitiers et (iv) suffisamment répulsifs par le goût ou l'odeur pour éviter la consommation de la strate arborée.

FIGURE 33. DEGATS D'ABROUTISSEMENT SUR LES ARBRES FRUITIERS DE LA MODALITE « ABRASIVE » APRES 6 JOURS DE PÂTURAGE (A) ; FEUILLES EN ETAT DE SENESCENCE APRES PULVERISATION DE PETIT LAIT (B) ; DEGATS D'ABROUTISSEMENT SUR LES ARBRES FRUITIERS DE LA MODALITE « BADIGEON » APRES 7 JOURS DE PÂTURAGE (C) (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FR)

iii. DÉMARCHE DE CO-CONCEPTION DES DISPOSITIFS DE PROTECTION TESTÉS

La sélection des dispositifs de protection répulsifs basés sur le goût et/ou l'odeur, (e.g. lisier de bovins), sur la douleur (e.g. fils électriques), et les dispositifs de protection physiques (e.g. filets alt-carpo) doit se faire sur la base de recherche bibliographique, des connaissances et de l'avis des agriculteurs partenaires, et d'éventuels tests au préalable avant la mise en place de tout essais « système ».

Un premier atelier de co-conception réalisé en période hivernale en partenariat avec l'intégralité des partenaires (i.e., arboriculteurs, éleveurs, animateurs, conseillers, chercheurs etc.) permettrait d'alimenter les références bibliographiques tirés des études scientifiques antérieures et de sélectionner un panel de dispositifs de protection physiques et répulsifs facilement appropriables par les arboriculteurs et les éleveurs.
Un essai d'une semaine en début de période de végétation (début mai) sur une même parcelle permettrait ensuite de tester les différents dispositifs de protection de la strate arborée co-conçus par les partenaires. Les produits répulsifs sélectionnés pourraient également varier de par la concentration de leur composés (e.g. gradient de concentration de lisier de vache) mais également de par leur adjuvant (e.g., argile arboricole, petit lait etc.). Ces derniers pourraient aussi être testés seuls. Le verger devrait être idéalement non, ou faiblement productif (i.e. en fin de vie, prêt à être arraché), et représentatif du contexte arboricole du territoire drômois en termes d'espèce fruitière et de conduite. Le troupeau utilisé devrait également être d'une race représentative du territoire. Une méthodologie simple d'évaluation des dégâts à la moitié de la période de pâturage et après pâturage permettrait de discriminer les dispositifs de protection répulsifs au regard des dégâts d'abroutissement réalisés par les ovins, de leur persistance et de leur éventuelle toxicité.

Un deuxième atelier de co-conception serait réalisé au verger afin de présenter les premiers résultats observés et sélectionner les dispositifs les plus prometteurs. Deux essais supplémentaires réalisés début juin et début août avec les mêmes dispositifs de protection et une méthodologie plus conséquente permettraient de suivre la cinétique de développement du comportement « abroutisseur » et les dégâts engendrés en parallèle de la diminution de la ressource fourragère. Le verger et le troupeau (i.e. mais des individus différents entre les essais) devraient être idéalement les mêmes afin de faire varier les déterminants alimentaires au cours du temps. Les éventuels dégâts d'écorçage seraient également caractérisés et pourraient faire l'objet de travaux supplémentaires l'année suivante. L'objectif de cette démarche de recherche participative *(cf. figure 34*) serait d'identifier des dispositifs de protection facilement appropriables pour les agriculteurs et correspondant à une diversité de systèmes de production, aussi bien d'élevage qu'arboricole.

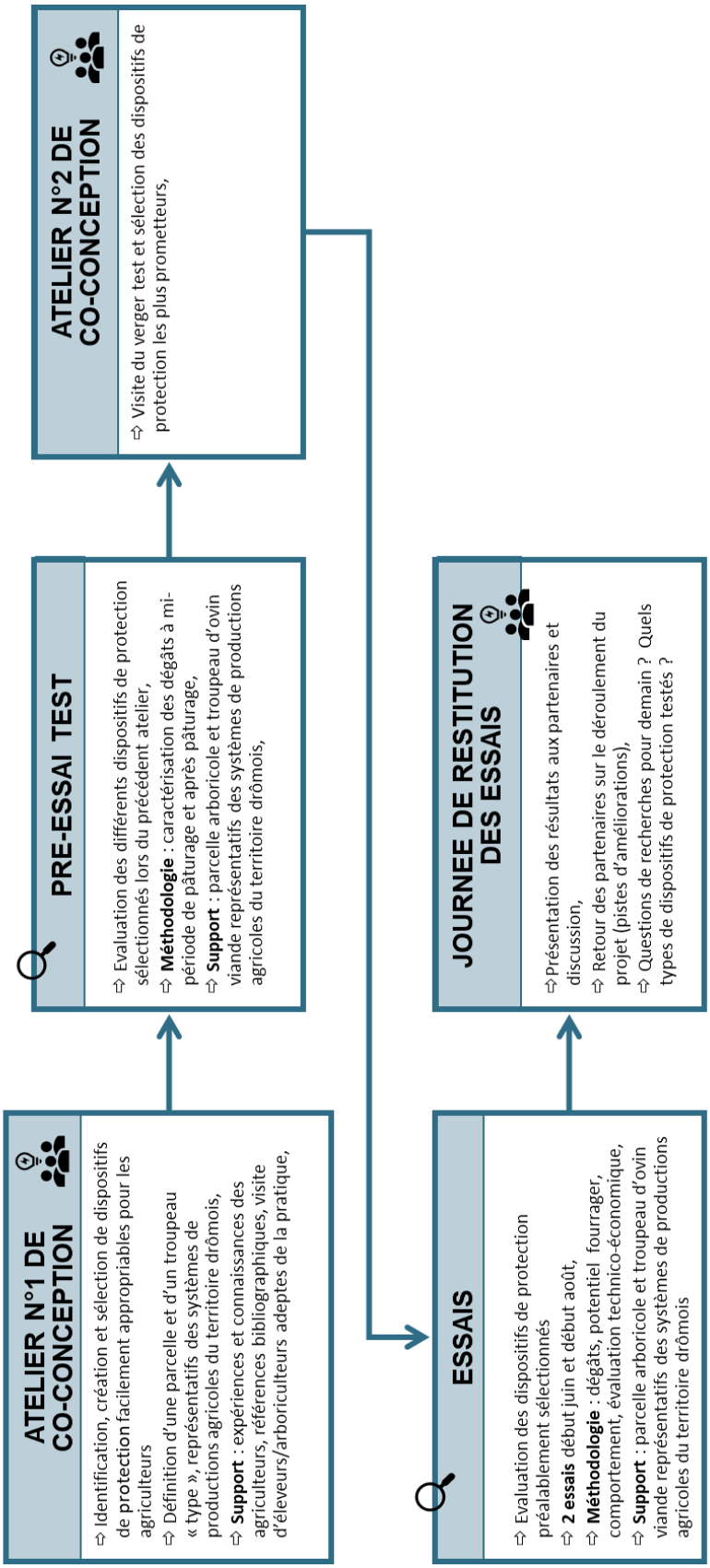


FIGURE 34. DEMARCHE DE RECHERCHE PARTICIPATIVE PROPOSEE POUR IDENTIFIER, SELECTION PUIS EVALUERS DES DISPOSITIFS DE PROTECTION DES ARBRES FRUITIERS FACILEMENT APPROPRIABLES POUR LES AGRICULTEURS (SOURCE : C. RIVORIE – FIBL FR)

c) Perspectives de recherche

L'ensemble du travail bibliographique réalisé dans le cadre de cette étude et les résultats obtenus démontrent le manque de connaissances existant à ce jour sur l'intégration de l'élevage ovin dans les cultures pérennes. Ils mettent également en avant la difficulté technique d'en pérenniser la pratique et sa complexité de mise en œuvre. Ces résultats ouvrent la voie à d'autres travaux de recherche centrés sur les quatre grands déterminants éventuellement responsables du développement des comportements « écorceur » et « abroutisseur » : les déterminants alimentaires, les déterminants zootechniques, les déterminants agronomiques et les déterminants environnementaux.
Les résultats de valeurs nutritionnels de l'enherbement des vergers obtenus dans le cadre de ce travail mettent en avant la difficulté de proposer une ressource répondant qualitativement aux besoins d'un troupeau d'ovins. Or, l'enherbement des vergers et son potentiel fourrager étant au centre de l'engouement crée autour de la pratique du pâturage ovin sous vergers, il semble primordial de s'intéresser à ce dernier. Ces travaux supplémentaires de recherche pourraient donc s'axer sur :

- ⇨ La **caractérisation du potentiel fourrager herbacé** des systèmes arboricoles (i.e., composition floristique, productivité de l'herbe, valeur alimentaire) et son évolution au cours du temps (automne, hiver, printemps, été) dans différents contextes de production (dispositif d'irrigation, conduite de l'arbre, conditions pédoclimatiques),
- ⇨ La **caractérisation du potentiel fourrager des arbres fruitiers** (i.e., feuilles, rameaux, écorce de différentes essences fruitières) et son évolution au cours du temps,
- ⇨ L'évaluation des **préférences alimentaires** des ovins vis-à-vis des arbres fruitiers et notamment de l'appétence différentielle des feuilles des arbres fruitiers,
- ⇨ **L'influence de la ressource fourragère herbacée et arborée** disponible (i.e., qualité, quantité, appétence) sur le développement du comportement « abroutisseur » et « écorceur »,

CONCLUSION

Le pâturage ovin sous vergers est une pratique d'intérêt fourrager en période estivale dont les potentialités lui permettraient de s'inscrire au cœur des stratégies de gestion de l'enherbement fruitière. Cependant, les agriculteurs peinent à se l'approprier du fait de nombreuses contraintes, notamment d'ordre techniques insécurisant la pratique. L'écorçage et l'abroutissement des arbres fruitiers par les ovins en pleine période de végétation font partie des principales préoccupations des arboriculteurs mais peu de références permettant de pérenniser la pratique existent. Motivé par l'intérêt croissant porté à la réintégration de l'élevage dans les cultures pérennes, le FiBL – Institut de Recherche en Agriculture Biologique – en lien étroit avec des agriculteurs pratiquants, s'est donc proposé à travers le projet « ECORCE » d'approfondir l'étude de la cohabitation entre élevage ovin et arboriculture en pleine saison estivale.

Ce travail avait pour objectif d'évaluer dans quelles mesures la pratique du pâturage ovin sous vergers, dépendamment des moyens de protection disponibles, amenait au développement du comportement « abroutisseur » et « écorceur » chez les ovins. Parmi les six dispositifs de protection des arbres fruitiers testés, seul le dispositif de protection électrique de conditionnement comportemental démontre une réelle efficacité. L'utilisation d'excréments de mouton sous forme de pulvérisation semble également être une piste de réflexion pour la suite du projet mais ne suffit pas à contenir le développement du comportement « abroutisseur ». Le comportement « écorceur » n'a pas été réellement observé en période estivale hormis après la consommation intégrale de la ressource arborée accessible par les ovins, conférant une éventuelle origine alimentaire au comportement « écorceur ». Le potentiel fourrager des vergers est discutable et semble, dans ces contextes, répondre difficilement aux besoins nutritionnels des ovins.

Cette étude démontre toute la complexité de réintégrer l'élevage ovin dans les cultures pérennes du fait des multiples déterminants zootechniques, agronomiques, alimentaires et environnementaux éventuellement responsables du développement des comportements « abroutisseur » et « écorceur ». Un travail de recherche participative, intégrant les arboriculteurs, les éleveurs et le reste des partenaires au processus décisionnel des choix des dispositifs de protection testés, favoriserait l'identification de leviers techniques facilement appropriables par les agriculteurs et adaptables à la diversité des systèmes de production arboricole et des systèmes d'élevages existants sur le territoire drômois, et au-delà. Enfin, afin de sécuriser et pérenniser la pratique, des travaux plus poussés sur le potentiel fourrager des vergers (i.e., herbacé et arboré) et son influence sur le développement du comportement « abroutisseur » et « écorceur » permettraient de faire des recommandations aux éleveurs sur la conduite de pâturage à mettre en place en système arboricole.

BIBLIOGRAPHIE

AgenceBio, 2021. Le bio, acteur incontournable de la souveraineté alimentaire : les chiffres 2020 du secteur bio.

Agreste, 2020. Mémento 2020 France.

Agreste, 2012. Exploitations arboricoles et vergers.

Agreste Auvergne Rhônes Alpes, 2019. Mémento de la statistique agricole.

Agreste Rhône-Alpes, 2010. Recensement agricole de la Drôme.

Álvarez H.A., Jiménez-Muñoz R., Morente M., Campos M., Ruano F. 2021. Ground cover presence in organic olive orchards affects the interaction of natural enemies against Prays oleae, promoting an effective egg predation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **315** : 107441. doi: 10.1016/j.agee.2021.107441.

Amigues J.-P., Debaeke P., Itier B., Lemaire G., Seguin B., Tardieu F., Thomas A. 2006. Sécheresse et agriculture, Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective. Synthèse du rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche. 72 pp.

Anderson G.W., Hawke M., Moore R.W. 1985. Pine needle consumption and bark stripping by sheep grazing annual pastures in young stands of widely spaced Pinus radiata and P. pinaster. *Agroforestry Systems*, **3** (1) : 37-45. doi: 10.1007/BF00045737.

Ando M., Yokota H.-O., Shibata E. 2003. Bark stripping preference of sika deer, Cervus nippon, in terms of bark chemical content. *Forest ecology and management*, **177** (1-3) : 323-331. doi: 10.1016/s0378-1127(02)00336-5.

Arnold G.W., Dudzinski M.L. 1978. Ethology of free-ranging domestic animals. *Ethology of free-ranging domestic animals.*, [consulté le 05 mai 2021] url: https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19792237282.

Aufrère J., Baumont R., Delaby L., Peccatte J.R., Andrieu J., Andrieu J.P., Dulphy J.P. 2007. Prévision de la digestibilité des fourrages par la méthode pepsine-cellulase. Le point sur les équations proposées. *INRAE Productions Animales*, **20** (2) : 129-136. doi: 10.20870/productions-animales.2007.20.2.3445.

Bates D., Mächler M., Bolker B., Walker S. 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. *Journal of Statistical Software*, **67** (1) : 1-48. doi: 10.18637/jss.v067.i01.

Benoit M., Laignel G. 2009. Performances techniques et économiques en élevage biologique d'ovins viande : observations en réseaux d'élevage et fermes expérimentales. *INRAE Productions Animales*, **22** (3) : 197-206. doi: 10.20870/productions-animales.2009.22.3.3346.

Béral C., Andueza D., Ginane C., Bernard M., Liagre F., Girardin N., Emile J.-C., Novak S., Grandgirard D., Deiss V., Bizeray D., Moreau J.-C., Pottier E., Thiery M., Rocher A. 2018. Agroforesterie en système d'élevage ovin : étude de son potentiel dans le cadre de l'adaptation au changement climatique. 158 pp.

Bindi M., Olesen J. 2010. The responses of agriculture in Europe to climate change. *Regional Environmental Change*, **11** : 151-158. doi: 10.1007/s10113-010-0173-x.

Blanc F., Thériez M., Brelurut A. 1999. Effects of mixed-species stocking and space allowance on the behaviour and growth of red deer hinds and ewes at pasture. *Applied Animal Behaviour Science*, **63** (1) : 41-53. doi: 10.1016/S0168-1591(98)00242-1.

Boissy A., Pham-Delègue M.-H., Baudoin C. 2009. Ethologie appliquée : Comportements animaux et humains, questions de société. Editions Quae.

Boutes et al. 2017. Glossaire de l'alimentation protéique. 4pp.

Brewer K.M., Gaudin A.C.M. 2020. Potential of crop-livestock integration to enhance carbon sequestration and agroecosystem functioning in semi-arid croplands. *Soil Biology and Biochemistry*, **149** : 107936. doi: 10.1016/j.soilbio.2020.107936.

Burgess P. 2017. AGFORWARD - Agroforestry for Europe: Lessons learnt, Grazed orchards in England and Wales.

Burnham K.P., Anderson D.R. 2002. Model selection and multimodel inference : A pratical information - Théoretic approach. 2e ed.

Burritt B., Doran M., Stevenson M. 2013. Training Livestock to Avoid Specific Forage, 13pp.

Burritt E.A., Provenza F.D. 1996. Amount of experience and prior illness affect the acquisition and persistence of conditioned food aversions in lambs. Applied Animal Behaviour Science, 48 (1-2) : 73-80. doi: 10.1016/0168-1591(95)01004-1.

Caquet T., Gascuel-Odoux C., Peyraud J.-L. 2020. Priorités de la recherche : les apports des Ateliers de Réflexion Prospective interdisciplinaire Agroécologie et Elevages pour demain d'INRAE. Innovations Agronomiques, 80, 1-12, doi: 10.15454/MW8H-0X21. [consulté le 30 avril 2021] url: https://www6.inrae.fr/ciag/content/download/6841/49693/file/Vol80-1-Caquet%20et%20al.pdf.

Cazaux L. 2015. Determining factors and trajectories - Analysis to support system diversification: Mixed orchard animal and mixed orchard vegetables systems. Final Master Thesis. 70pp.

Celette F. 2007. Dynamique des fonctionnements hydrique et azoté dans une vigne enherbée sous le climat méditerranéen, 200 p, Thèse de doctorat.

Cellier P., Pellerin S., Recous S., Vertes F. 2020. Bouclage des cycles: des approches renouvelées et plus englobantes des cycles biogéochimiques. In: *Une agronomie pour le XXIe siècle*. Editions Quae : 304pp.

Champion R.A., Rutter S.M., Penning P.D., Rook A.J. 1994. Temporal variation in grazing behaviour of sheep and the reliability of sampling periods. *Applied Animal Behaviour Science*, **42** (2) : 99-108. doi: 10.1016/0168-1591(94)90150-3.

Charco J., Perea R., Gil L., Nanos N. 2016. Impact of deer rubbing on pine forests: implications for conservation and management of Pinus pinaster populations. *European Journal of Forest Research*, **135** (4) : 719-729. doi: 10.1007/s10342-016-0967-6.

Chatellier V., Guesdon J.C., Guyomard H., Perrot C. 2009. L'application française du bilan de santé de la PAC : un transfert limité pour l'élevage, mais une véritable réévaluation pour l'herbe.

Chen J.-J., Zhang J., He X.-Q. 2013. Tissue regeneration after bark girdling: an ideal research tool to investigate plant vascular development and regeneration. *Physiologia Plantarum*, **151** (2) : 147-155. doi: 10.1111/ppl.12112.

CNRTL 2012. Définition de l'écorçage [consulté le 15 septembre 2021]. https://www.cnrtl.fr/definition/%C3%A9cor%C3%A7age

Cooper null, Gordon null, Pike null 2000. Strategies for the avoidance of faeces by grazing sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, **69** (1) : 15-33. doi: 10.1016/s0168-1591(00)00116-7.

Corroyer N. 2017. Agroforesterie innovation : Pâturage de vergers de pommiers en France.

Coumou D., Rahmstorf S. 2012. A Decade of Weather Extremes. *Nature Climate Change*, **2** : doi: 10.1038/NCLIMATE1452.

Dam Van Tien, Lynch J.J., Hinch G.N., Nolan J.V. 1999. Grass odor and flavor overcome feed neophobia in sheep. *Small Ruminant Research*, **32** (3) : 223-229. doi: 10.1016/S0921-4488(98)00185-0.

DDT26, Cerema 2018. La Drôme face au changement climatique.

Delaby L., Nozière P., Sauvant D. 2018. Alimentation des ruminants : INRA 2018. Editions Quae. 731pp.

Delvaux C., Sinsin B., Van Damme P. 2010. Impact of season, stem diameter and intensity of debarking on survival and bark re-growth pattern of medicinal tree species, Benin, West Africa. *Biological Conservation*, **143** (11) : 2664-2671. doi: 10.1016/j.biocon.2010.07.009.

Dohi H., Yamada A., Entsu S. 1991. Cattle feeding deterrents emitted from cattle feces. *Journal of Chemical Ecology*, **17** (6) : 1197-1203. doi: 10.1007/BF01402943.

Dumont B. 1996. Préférences et sélection alimentaire au pâturage. *INRAE Productions Animales*, **9** (5) : 359-366. doi: 10.20870/productions-animales.1996.9.5.4075.

Dumont B., Boissy A. 1999. Relations sociales et comportement alimentaire au pâturage. *INRAE Productions Animales*, **12** (1) : 3-10. doi: 10.20870/productions-animales.1999.12.1.3850.

Dumont B., D'hour P., Petit M. 1995. The usefulness of grazing tests for studying the ability of sheep and cattle to exploit reproductive patches of pastures. *Applied Animal Behaviour Science*, **45** (1-2) : 79-88. doi: 10.1016/0168-1591(95)00598-M.

Dumont B., Meuret M., Boissy A., Petit M. 2001. Le pâturage vu par l'animal: mécanismes comportementaux et applications en élevage21.

Dupraz C., Liagre F. 2008. Agroforesterie : Des arbres et des cultures Ed. 2. Editions France Agricole.

Duru M., Fiorelli J.L., Peyre D., Roger P., Theau J.P. 2002. La hauteur d'herbe au pâturage : une mesure simple pour faciliter sa conduite, un indicateur pour caractériser des stratégies.

Dwyer C.M. 2008. Environment and the Sheep: Breed Adaptations andWelfare Implications. In: *The Welfare of Sheep*. Dordrecht : Springer Netherlands : p. 41-79 (Coll. Animal Welfare).

Eason W.R., Gill E.K., Roberts J.E. 1996. Evaluation of anti-sheep tree-stem-protection products in silvopastoral agroforestry. *Agroforestry Systems*, **34** (3) : 259-264. doi: 10.1007/BF00046926.

Eichhorn M.P., Paris P., Herzog F., Incoll L.D., Liagre F., Mantzanas K., Mayus M., Moreno G., Papanastasis V.P., Pilbeam D.J., Pisanelli A., Dupraz C. 2006. Silvoarable Systems in Europe – Past, Present and Future Prospects. *Agroforestry Systems*, **67** (1) : 29-50. doi: 10.1007/s10457-005-1111-7.

Emile J.-C., Barre P., Delagarde R., Niderkorn V., Novak S. 2017. Les arbres, une ressource fouragère au pâturage pour des bovins laitiers. *Rue Fourrages*, (230) : 155-160.

Fallahi E., Kiester M.J., Fallahi B., Mahdavi S. 2018. Rootstock, Canopy Architecture, Bark Girdling, and Scoring Influence on Growth, Productivity, and Fruit Quality at Harvest in 'Aztec Fuji' Apple. *HortScience*, **53** (11) : 1629-1633. doi: 10.21273/HORTSCI13348-18.

Fankhauser R., Galeffi C., Suter W. 2008. Dung avoidance as a possible mechanism in competition between wild and domestic ungulates: two experiments with chamois Rupicapra rupicapra. *European Journal of Wildlife Research*, **54** (1) : 88-94. doi: 10.1007/s10344-007-0115-1.

Fay P.K., McElligott V.T., Havstad K.M. 1989. Containment of free-ranging goats using pulsed-radio-wave-activated shock collars. *Applied Animal Behaviour Science*, **23** (1) : 165-171. doi: 10.1016/0168-1591(89)90016-6.

Fitzgerald R.D., Hudson R.J., Bailey A.W. 1986. Grazing Preferences of Cattle in Regenerating Aspen Forest. *Journal of Range Management*, **39** (1) : 13. doi: 10.2307/3899677.

Flamant J-C. 2010. Une brève histoire des transformations de l'agriculture au 20è siècle.

Fraser E.C., Kabzems R., Lieffers V.J. 2001. Sheep grazing for vegetation management in the northern forests of British Columbia and Alberta. *The Forestry Chronicle*, **77** (4) : 713-719. doi: 10.5558/tfc77713-4.

Gabelle A. 2021. Protection contre le carpocapse des pommes et des poires | Ecophytopic [consulté le 30 septembre 2021]. https://ecophytopic.fr/pic/concevoir-son-systeme/protection-contre-le-carpocapse-des-pommes-et-des-poires

Geddes P., Kohl R. 2009. Shropshire sheep control weeds in orchards. *Pesticides News*, (No.86) : 3-4.

Gerhardt P., Arnold J.M., Hackländer K., Hochbichler E. 2013. Determinants of deer impact in European forests – A systematic literature analysis. *Forest Ecology and Management*, **310** : 173-186. doi: 10.1016/j.foreco.2013.08.030.

Ginane C., Dumont B., Baumont R., Praches S., Fleurance G., Farrugia A. 2008. Comprendre le comportement alimentaire des herbivores au pâturage : intérêts pour l'élevage et l'environnement. *Renc. Rech. Ruminants*, (15) : [consulté le 14 septembre 2021] url: http://www.journees3r.fr/IMG/pdf/2008_10_comportement-alim_01_Ginane.pdf.

Gomez C. 2009. Fiche n°7 Agronomie : L'enherbement permanent en agriculture biologique, RMT DévAB.

Griffon M. 2013. Qu'est-ce que l'agriculture écologiquement intensive ? Editions Quae.

Guimarães Filho C., Soares J.G.G. 2000. Effect of associates sheep grazing on irrigated mango yield. *Revista Brasileira de Fruticultura*, **22** (1) : 102-105.

Haines P.J., Rural Industries Research and Development Corporation (Australia) 1997. Integrating trees with livestock grazing to reduce use of conventional fencing. Barton, ACT : Rural Industries Research and Development Corp..

Hardesty L.H., Tiedeman J.A. 1996. Integrating crop and livestock production in Inland Northwest farming systems. *American Journal of Alternative Agriculture*, **11** (2-3) : 121-126. doi: 10.1017/S0889189300006901.

Hardesty Linda.H., Wilson Linda.M. s. d. Targeted grazing with sheep and goats in orchard settings. In: *Targeted grazing : a natural approach to vegetation management and landscape enhancement*. pp. 99-106.

Hardy A. 2019. Techniques alternatives au désherbage chimique en arboriculture fruitière. Mémoire de fin d'étude, 70pp.

Hartley S.E., Iason G.R., Duncan A.J., Hitchcock D. 1997. Feeding Behaviour of Red Deer (Cervus elaphus) Offered Sitka Spruce Saplings (Picea sitchensis) Grown Under Different Light and Nutrient Regimes. *Functional Ecology*, **11** (3) : 348-357.

Hassoun P., Berthelot V., Bocquier F. 2018. Chapitre 20 : Ovins en lactation, en croissance et à l'engrais, Alimentation des ruminants : INRA 2018. 377-398. Editions Quae.

Hendrickson J.R., Hanson J.D., Tanaka D.L., Sassenrath G. 2008. Principles of integrated agricultural systems: Introduction to processes and definition. *Renewable Agriculture and Food Systems*, **23** (04) : 265-271. doi: 10.1017/S1742170507001718.

Herzog F. 1998. Streuobst: A traditional agroforestry system as a model for agroforestry development in temperate Europe. *Agroforestry Systems*, **42** : 61-80. doi: 10.1023/A:1006152127824.

Hester A.J., Mitchell F.J.G., Kirby K.J. 1996. Effects of season and intensity of sheep grazing on tree regeneration in a British upland woodland. *Forest Ecology and Management*, **88** (1-2) : 99-106. doi: 10.1016/S0378-1127(96)03815-7.

Hill S.B., MacRae R.J. 1996. Conceptual Framework for the Transition from Conventional to Sustainable Agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture*, **7** (1) : 81-87. doi: 10.1300/J064v07n01_07.

Hochart R. 2014. Le devenir de la production fruitière en France.

Hodgson J. 1979. Nomenclature and definitions in grazing studies. *Grass and Forage Science*, **34** (1) : 11-17. doi: 10.1111/j.1365-2494.1979.tb01442.x.

Horrigan L., Lawrence R.S., Walker P. 2002. How sustainable agriculture can address the environmental and human health harms of industrial agriculture. *Environmental Health Perspectives*, **110** (5) : 445-456.

Hoste H., Jackson F., Athanasiadou S., Thamsborg S.M., Hoskin S.O. 2006. The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants. *Trends in Parasitology*, **22** (6) : 253-261. doi: 10.1016/j.pt.2006.04.004.

Humphrey J. (Ed.) 1998. Grazing as a management tool in European forest ecosystems. Edinburgh : Forestry Commission, 90 pp. (Coll. Forestry Commission Technical paper, 25)

Iason G. 2005. The role of plant secondary metabolites in mammalian herbivory: ecological perspectives. *The Proceedings of the Nutrition Society*, **64** (1) : 123-131. doi: 10.1079/pns2004415.

Jeannequin B., Dosba F., Pluvinage J. 2010. La filière fruits et légumes, évolutions récentes et enjeux actuels de la qualité, 13pp.

Jensen K.B., Waldron B.L., Asay K.H., Johnson D.A., Monaco T.A. 2003. Forage Nutritional Characteristics of Orchardgrass and Perennial Ryegrass at Five Irrigation Levels. *Agronomy Journal*, **95** (3) : 668-675. doi: https://doi.org/10.2134/agronj2003.6680.

Joly D., Brossard T., Cardot H., Cavailhes J., Hilal M., Wavresky P. 2010. Les types de climats en France, une construction spatiale. *Cybergeo*, doi: 10.4000/cybergeo.23155. [consulté le 25 avril 2021] url: http://journals.openedition.org/cybergeo/23155.

Katsma D.E., Rusch D.H. 1980. Effects of Simulated Deer Browsing on Branches of Apple Trees. *The Journal of Wildlife Management*, **44** (3) : 603. doi: 10.2307/3808007.

Keenan D.M. 1986. Bark chewing by horses grazed on irrigated pasture. *Australian Veterinary Journal*, **63** (7) : 234-235. doi: 10.1111/j.1751-0813.1986.tb03008.x.

Kessler J. 2003. Alimentation ciblée des brebis. *Rapactuel*, (10) : 4.

Kiffner C., Rössiger E., Trisl O., Schulz R., Rühe F. 2008. Probability of recent bark stripping damage by red deer (Cervus elaphus) on Norway spruce (Picea abies) in a low mountain range in Germany – a preliminary analysis. *Silva Fennica*, **42** (1) : doi: 10.14214/sf.269. [consulté le 06 août 2021] url: http://www.silvafennica.fi/article/269.

Kohl R., Rutzen U. 2008. SSBA - Shopshire Sheep Breeders'Association, 2008. Two crops from one acre, a comprehensive guide to using shropshire sheep for grazing tree plantations? 44pp.

Körner Ch. 2003. Limitation and stress – always or never? Journal of Vegetation Science, 14 (2) : 141-143. doi: 10.1111/j.1654-1103.2003.tb02138.x.

Kuiters A.T., van der Sluijs L.A.M., Wytema G.A. 2006. Selective bark-stripping of beech, Fagus sylvatica, by free-ranging horses. *Forest Ecology and Management*, **222** (1-3) : 1-8. doi: 10.1016/j.foreco.2005.09.019.

Kupferschmid A.D. 2017. The compensation capacity of central european tree species in responsa to leader shoot browsing

Kurek T., Todys J., Pazdrowski W., Szymański M., Łukowski A. 2019. Intensity of stripping and sugar content in the bark and the bast of European beech (Fagus sylvatica). *Open Life Sciences*, **14** (1) : 19-28. doi: 10.1515/biol-2019-0003.

Küsters J., Pötsch E.M., Resch R., Gierus M. 2021. The effect of summer water stress on the nutritive value of orchard grass (Dactylis glomerata L.) in permanent grassland

under increased temperature and elevated atmospheric CO2. *Ecological Indicators*, **125** : 107566. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107566.

Lamine C. 2012. « Changer de système » : une analyse des transitions vers l'agriculture biologique à l'échelle des systèmes agri-alimentaires territoriaux. *Terrains travaux*, **n° 20** (1) : 139-156.

Lamine C., Bellon S., Fauriel, Joël 2009. Transitions vers l'agriculture biologique : Pratiques et accompagnements pour des systèmes innovants. Editions Quae.

Lamine C., Landel P.-A., Duffaud-Prévost M.-L. 2020. Dynamiques territoriales de transition vers l'agriculture biologique, 16pp.

Lamine C., Simon S., Audergon J.M., Penvern S., Clauzel G., Garçon L., Buis S., Pluvinage J. 2017. Réalités et perspectives de l'écologisation en arboriculture fruitière - Pour une approche intégrée à partir du cas des vergers de pêchers et d'abricotiers en Rhône-Alpes. *Innovations Agronomiques*, **59** : 103-118. doi: 10.15454/1.5138445077696033E12.

Landais E., Jousseins C. 2019. Dossiers thématiques : Le pâturage dans les vergers, Brebis_Link.

Landi S., Pennacchio F., Papini R., D'errico G., Torrini G., Strangi A., Barabaschi D., Roversi P.F. 2016. Evaluation of sheep grazing effects on nematode community, insect infestation and soil fertility in sweet chestnut orchards : a case study. *Redia*, **99** (1) : 117.

Launchbaugh K.L., Howery L.D. 2005. Understanding Landscape Use Patterns of Livestock as a Consequence of Foraging Behavior. *Rangeland Ecology & Management*, **58** (2) : 99-108. doi: 10.2111/03-146.1.

Lauri P.-E., Willaume M., Larrive G., Lespinasse J.-M. 2004. The concept of centrifugal training in apple aimed at optimizing the relationship between growth and fruiting. *Acta Horticulturae*, (636) : 35-42. doi: 10.17660/ActaHortic.2004.636.3.

Le Goffe P., Vérité R., Peyraud J., Hétault H., Texier M. 1993. Influence de l'espèce et de la saison sur la dégradabilité de l'azote des fourrages verts dans le rumen. *Annales de zootechnie*, **42** (1) : 3-15.

Le projet Biovallée® 2021.

Le Roux 2012. Agriculture et biodiversité : Valoriser les synergies. Editions Quae.

Lécrivain E., Abreu da Silva M. 1996. Effets de l'environnement social et alimentaire des agnelles de renouvellement destinées à exploiter des parcours : évolution de leur comportement dans le troupeau et de leurs performances. *CIHEAM - Options Mediterraneennes*, [consulté le 15 septembre 2021] url: http://www.pole-gestion.fr/uploads/ged/document/2017-09/Effets%20de%20l'environnement-Lecrivain.pdf.

Lécrivain E., LECLERC B., Hauwuy A. 1990. Consommation de ressources ligneuses dans un taillis de chênes par des brebis en estive. *Reproduction Nutrition Development*, **30** (Suppl2) : 207-208.

Legave J.-M. 2009. Comment faire face aux changements climatiques en arboriculture fruitière?, 14pp.

Leininger W.C., Sharrow S.H. 1989. Seasonal Browsing of Douglas-Fir Seedlings by Sheep. *Western Journal of Applied Forestry*, **4** (3) : 73-76. doi: 10.1093/wjaf/4.3.73.

Lemaire G., Franzluebbers A., Carvalho P.C. de F., Dedieu B. 2014. Integrated crop–livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **190** : 4-8. doi: 10.1016/j.agee.2013.08.009.

López-Sánchez A., Perea R., Dirzo R., Roig S. 2016. Livestock vs. wild ungulate management in the conservation of Mediterranean dehesas: Implications for oak regeneration. *Forest Ecology and Management*, **362** : 99-106. doi: 10.1016/j.foreco.2015.12.002.

López-Sánchez A., Perea R., Roig S., Isselstein J., Schmitz A. 2020. Challenges on the conservation of traditional orchards: Tree damage as an indicator of sustainable grazing. *Journal of Environmental Management*, **257** : 110010. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.110010.

Lucke et al. E. 1992. Obstbäume in der Landschaft. Stuttgart : Ulmer Eugen Verlag, 300 pp.

Manuelian C., Albanell E., Rovai M., Caja G., Guitart R. 2014a. Kinetics of lithium as a lithium chloride dose suitable for conditioned taste aversion in lactating goats and dry sheep. *Journal of animal science*, **93** : doi: 10.2527/jas.2014-8223.

Manuelian C.L., Albanell E., Rovai M., Salama A.A.K., Caja G. 2014b. Effect of breed and lithium chloride dose on the conditioned aversion to olive tree leaves (Olea europaea L.) of sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, **155** : 42-48. doi: 10.1016/j.applanim.2014.03.002.

Martin G., Choisis J.-P., Ryschawy J., Magne M.-A. 2016. Polyculture-élevage – Dictionnaire d'agroécologie [consulté le 28 janvier 2021]. https://dicoagroecologie.fr/encyclopedie/polyculture-elevage/

Martin P., Bateson P. 1986. Measuring behaviour: An introductory guide. New York, NY, US : Cambridge University Press, xii, 200 pp. (Coll. Measuring behaviour: An introductory guide).

Maxin G. 2019. Méthodes - Connaître la valeur alimentaire de ses fourrages : le calcul de la valeur alimentaire de son fourrage.

Mazorra C., Borges G., Rosa A.E. de la, Tapia L., Pérez R., Borroto A. 2001. Evaluación de métodos disuasivos empleados para disminuir el ramoneo de ovinos pastoreando en plantaciones de cítrico (Evaluation of dissuasive methods to diminish browsing by ovine grazing citric plantations) :[consulté le 23 avril 2021] url: https://tspace.library.utoronto.ca/handle/1807/1625.

McAdam J.H. 1991. An evaluation of tree protection methods against Scottish Blackface sheep in an upland agroforestry system. *Forest Ecology and Management*, **45** (1) : 119-125. doi: 10.1016/0378-1127(91)90211-D.

McEvoy P.M., McAdam J.H. 2008. Sheep grazing in young oak Quercus spp. and ash Fraxinus excelsior plantations: vegetation control, seasonality and tree damage. *Agroforestry Systems*, **74** (2) : 199-211. doi: 10.1007/s10457-008-9121-x.

McKillop I.G., Sibly R.M. 1988. Animal behaviour at electric fences and the implications for management. *Mammal Review*, **18** (2) : 91-103. doi: 10.1111/j.1365-2907.1988.tb00078.x.

Meddour R. 2011. La méthode phytosociologique sigmatiste ou Braun-Blanqueto-Tüxenienne, 40pp.

Meyer et al. 2021. Dictionnaire des Sciences Animales [consulté le 26 septembre 2021]. http://dico-sciences-animales.cirad.fr/liste-mots.php?fiche=28385&def=unit%C3%A9+fourrag%C3%A8re

Millard P. 1996. Ecophysiology of the internal cycling of nitrogen for tree growth. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, **159** (1) : 1-10. doi: 10.1002/jpln.1996.3581590102.

Millard P., Hester A., Wendler R., Baillie G. 2001. Interspecific defoliation responses of trees depend on sites of winter nitrogen storage. *Functional Ecology*, **15** (4) : 535-543. doi: 10.1046/j.0269-8463.2001.00541.x.

Moraine M. 2015. Conception et évaluation de systèmes de production intégrant culture et élevage à l'échelle du territoire. [consulté le 28 janvier 2021]. https://oatao.univ-toulouse.fr/14171/1/Moraine.pdf.

Moule C. 1971. Fourrages. La Maison Rustique. Paris.

Moustakas A., Kunin W.E., Cameron T.C., Sankaran M. 2013. Facilitation or Competition? Tree Effects on Grass Biomass across a Precipitation Gradient. *PLoS ONE*, **8** (2) : e57025. doi: 10.1371/journal.pone.0057025.

Nahand M.K., Doust-Nobar R.S., Maheri-Sis N., Bady-Sar R., Mahmoudi S., Aali A. 2011. Determining the Nutritional Value of Apple Tree Leaves for Ruminants Using the Nylon Bags Technique, 4pp.

Neely, D. 1988. Wound closure rates on trees. [consulté le 21 juillet 2021] url: https://www.cabi.org/isc/abstract/19900642475.

Nerlich K., Graeff-Hönninger S., Claupein W. 2013. Agroforestry in Europe: a review of the disappearance of traditional systems and development of modern agroforestry practices, with emphasis on experiences in Germany. *Agroforestry Systems*, **87** (2). doi: 10.1007/s10457-012-9560-2.

Niles M.T., Garrett R.D., Walsh D. 2018. Ecological and economic benefits of integrating sheep into viticulture production. *Agronomy for Sustainable Development*, **38** (1) : 1. doi: 10.1007/s13593-017-0478-y.

Novak S., Barre P., Delagarde R., Mahieu S., Niderkorn V., Emile J.-C. 2020. Composition chimique et digestibilité in vitro des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été. *Fourrages*, (242) : 35-47. doi: 10.15454/1.5572219564109097E12.

O'Connor L.J., Walkden-Brown S.W., Kahn L.P. 2006. Ecology of the free-living stages of major trichostrongylid parasites of sheep. *Veterinary Parasitology*, **142** (1-2) : 1-15. doi: 10.1016/j.vetpar.2006.08.035.

Oishi Y. 2011. Protective management of trees against debarking by deer negatively impacts bryophyte diversity. *Biodiversity and Conservation*, **20** (11) : 2527-2536. doi: 10.1007/s10531-011-0090-4.

Öllerer K., Varga A., Kirby K., Demeter L., Biró M., Bölöni J., Molnár Z. 2019. Beyond the obvious impact of domestic livestock grazing on temperate forest vegetation – A global review. *Biological Conservation*, **237** : 209-219. doi: 10.1016/j.biocon.2019.07.007.

Ovaska J., Ruuska S., Rintamaki E., Vapaavuori E. 1993. Combined Effects of Partial Defoliation and Nutrient Availability on Cloned Betula pendula Saplings. Journal of Experimental Botany, 44 (265) : 8.

Osson B., Maciejewski J. 2015. Chapitre 1 - Typologie et phytoécologie des prairies permanentes. In: *Productions fourragères*. 20pp.

Parissi Z.M., Papachristou T.G., Nastis A.S. 2005. Effect of drying method on estimated nutritive value of browse species using an in vitro gas production technique. *Animal Feed Science and Technology*, **123-124** : 119-128. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2005.04.046.

Parsons A.J., Newman J.A., Penning P.D., Harvey A., Orr R.J. 1994. Diet preference of sheep: effects of recent diet, physiological state and species abundance. Journal of Animal Ecology, 63 : 465-478. doi: 10.2307/5563.

Peri P.L., Lucas R.J., Moot D.J. 2007. Dry matter production, morphology and nutritive value of Dactylis glomerata growing under different light regimes. *Agroforestry Systems*, **70** (1) : 63-79. doi: 10.1007/s10457-007-9029-x.

Peterson P.R., Sheaffer C.C., Hall M.H. 1992. Drought Effects on Perennial Forage Legume Yield and Quality. *Agronomy Journal*, **84** (5) : 774-779. doi: 10.2134/agronj1992.00021962008400050003x.

Petitjean C., Philibert A., Manneville V., Amiaud B., Perrin A.S., Charrier X., Gastal F. 2018. Systèmes de polyculture-élevage: quels effets des pratiques agricoles sur les teneurs en matières organiques et le fonctionnement microbien du sol? 11pp.

Pyke G., Pulliam H., Charnov E. 1977. Optimal Foraging: A Selective Review of Theory and Tests. *The Quarterly Review of Biology*, doi: 10.1086/409852.

Pyke G.H. 1984. Optimal Foraging Theory: A Critical Review. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **15** : 523-575.

Ralphs M.H., Provenza F.D. 1999. Conditioned food aversions: principles and practices, with special reference to social facilitation. *Proceedings of the Nutrition Society*, **58** (4) : 813-820. doi: 10.1017/S002966519900110X.

Ramos M.E., Robles A.B., Sánchez-Navarro A., González-Rebollar J.L. 2011. Soil responses to different management practices in rainfed orchards in semiarid environments. *Soil and Tillage Research*, **112** (1) : 85-91. doi: 10.1016/j.still.2010.11.007.

Reimoser F. 1994. The effect of stand edges withing a forest on the distribution of roe deer, and its relation to browsing damage.

Rodenburg T.B. 2014. The role of genes, epigenetics and ontogeny in behavioural development. *Applied Animal Behaviour Science*, **157** : 8-13. doi: 10.1016/j.applanim.2014.06.002.

Roguet C., Dumont B., Prache S. 1998. Sélection et utilisation des ressources fourragères par les herbivores : Théories et expérimentations à l'échelle du site et de la station alimentaires. *Productions animales*, **11** (4) : 273.

Rook A.J., Penning P.D. 1991. Synchronisation of eating, ruminating and idling activity by grazing sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, **32** (2) : 157-166. doi: 10.1016/S0168-1591(05)80039-5.

Roukos C. 2016. Seasonal and altitudinal variations in nutritional quality of kermes oak (Quercus coccifera L.) in northwest Greece and extensive goat farming. Bulgarian Journal of Agricultural Science, 22 (5) : 804-814.

Ryschawy J., Benoit M., Hostiou N., Delfosse C. 2017. Quelles concurrences et synergies entre cultures et élevage dans les territoires de polyculture-élevage ? *INRA Productions Animales*, **30** (4) : 363-380. doi: 10.20870/productions-animales.2017.30.4.2266.

Ryschawy J., Choisis N., Choisis J.P., Joannon A., Gibon A. 2012. Mixed crop-livestock systems: an economic and environmental-friendly way of farming? *Animal*, **6** (10) : 1722-1730. doi: 10.1017/S1751731112000675.

Ryschawy J., Joannon A., Gibon A. 2014. Mixed crop-livestock farm: definitions and research issues. A review. *Cahiers Agricultures*, **23** (6) : 346-356. doi: 10.1684/agr.2014.0727.

Saint-Andrieux C. 1994. Dégats forestiers et grand gibier. 1. Reconnaissance et conséquences, fiche n°80, supplément Bulletin mensuel n°194 [consulté le 15 septembre 2021] url: https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/documentation/FT-1994_Degats_forestiers_Grand_gibier.pdf.

Saint-Andrieux C., Bonenfant C., Toïgo C., Basille M., Klein F. 2009. Factors affecting beech Fagus sylvatica bark stripping by red deer Cervus elaphus in a mixed forest. *Wildlife Biology*, **15** (2) : 187-196. doi: 10.2981/07-100.

Sauphanor B., Simon S., Boisneau C., Capowiez Y., Rieux R., Bouvier J.-C., Defrance H., Picard C., Toubon J.-F. 2009. Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers, 13pp.

Sautereau N., Petitgenet M. 2020. Agriculture biologique: tensions entre les multiples enjeux dont elle porteuse. Cas des systèmes arboricoles en région PACA, 17pp.

Schmiedgen A., Schmitz A., López-Sánchez A., Roig S., Isselstein J. 2016. Tree-livestock interaction promotes nutrient shift and influences plant species richness in orchards.

Scott C.B., Banner R.E., Provenza F.D. 1996. Observations of sheep foraging in familiar and unfamiliar environments: familiarity with the environment influences diet selection. *Applied Animal Behaviour Science*, **49** (2) : 165-171. doi: 10.1016/0168-1591(96)01040-4.

Scott C.B., Provenza F.D., Banner R.E. 1995. Dietary habits and social interactions affect choice of feeding location by sheep. *Applied Animal Behaviour Science*, **45** (3-4) : 225-237. doi: 10.1016/0168-1591(95)00605-R.

Sharrow S.H. 1994. Sheep as a silvicultural management tool in temperate conifer forest. *Sheep research journal*, (Special Issue), 8pp.

Sharrow S.H., Carlson D.H., Emmingham W.H., Lavender D.P. 1992. Direct impacts of sheep upon Douglas-fir trees in two agrosilvopastoral systems. *Agroforestry Systems*, **19** (3) : 223-232. doi: 10.1007/BF00118780.

Simon Y. 2007. La production d'ovins allaitants en France, une vraie chance pour les territoires. 68 pp.

Smith D.J. 2010. The History of Temperate Agroforestry17.

Soussana J.-F. 2013. Prairies et changement climatique. *Fourrages*, (215) : 171-180.

Steen H., Mysterud A., Austrheim G. 2005. Sheep grazing and rodent populations: evidence of negative interactions from a landscape scale experiment, 8 pp.

Stephens D.W., Krebs J.R. 1986. Foraging theory. Princeton, New Jersey : Princeton Univ. Press, 247 pp.

Stuth 1991. Chapter3 - Foraging Behavior.

Suárez E., Orihuela A. 2002. The effect of exposure to feces from four farm species on the avoidance behaviour and feed consumption of sheep. *Livestock Production Science - LIVEST PROD SCI*, **77** : 119-125. doi: 10.1016/S0301-6226(02)00085-4.

Szukiel E., Borowski Z. 2000. Repellent effectiveness in tree protection against game browsing and debarking. *Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa, Seria A*, (No. 895/899) : 45-69.

Temel S., Pehluvan M. 2015. Evaluating orchard and poplar leaves during autumn as an alternative fodder source for livestock feeding. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, **42** (1) : 27-33.

Tiffin P. 2000. Mechanisms of tolerance to herbivore damage: What do we know? Evolutionary Ecology, 14 : [consulté le 05 août 2021] url: https://www.researchgate.net/publication/226660683_Mechanisms_of_tolerance_to_herbivore_damage_What_do_we_know.

Triches G., de Moraes A., Porfírio-da-Silva V., Lang C., Lustosa S., Bonatto R. 2020. Damage caused by cattle to Eucalyptus benthamii trees in pruned and unpruned silvopastoral systems. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, **55** : doi: 10.1590/s1678-3921.pab2020.v55.01275.

Trouillard M., Lèbre A., Heckendorn F. 2021. Grazing Sheep in Organic Vineyards: An On-Farm Study about Risk of Chronic Copper Poisoning. *Sustainability* **13** (22) : p. 12860 https://doi.org/10.3390/su132212860

Ueda H., Takatsuki S., Takahashi Y. 2002. Bark stripping of hinoki cypress by sika deer in relation to snow cover and food availability on Mt Takahara, central Japan. *Ecological Research*, **17** : 545-551. doi: 10.1046/j.1440-1703.2002.00513.x.

Vaissaire J.-P. 2018. Mémento de zootechnie Ed. 2. Editions France Agricole.

Van Lerberghe P. 2013. Protecting trees from wildlife damage - Mesh tree guards.

Van Soest P.J. 1964. Symposium on Nutrition and Forage and Pastures: New Chemical Procedures for Evaluating Forages. *Journal of Animal Science*, **23** (3) : 838-845. doi: 10.2527/jas1964.233838x.

Vasiliauskas R. 1998. Patterns of wounding and decay in stems of Quercus robur due to bark peeling. *Scandinavian Journal of Forest Research*, **13** (1-4) : 437-441. doi: 10.1080/02827589809383004.

Verheyden H., Ballon P., Bernard V., Saint-Andrieux C. 2006. Variations in bark-stripping by red deer Cervus elaphus across Europe. *Mammal Review*, **36** (3) : 217-234. doi: 10.1111/j.1365-2907.2006.00085.x.

Ward J.S., Williams P.O. 2010. Effectiveness of deer repellents in Connecticut, 11 pp.

Welch D., Staines B.W., Scott D., Catt D.C. 1987. Bark stripping damage by red deer in a Sitka spruce forest in Western Scotland. I. Incidence. *Forestry*, **60** (2) : 249-262. doi: 10.1093/forestry/60.2.249.

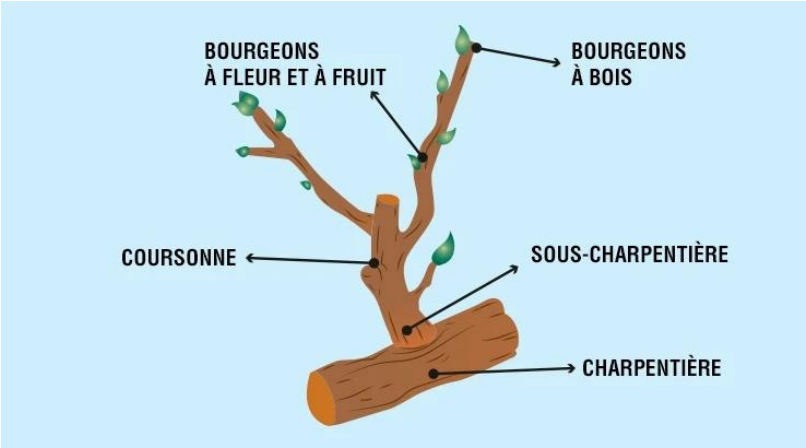
Zamora-Nasca L.B., Dimarco R.D., Nassini D., Alvear P.A., Mayoral A., Nuñez M.A., Relva M.A. 2020. Sheep feeding preference as a tool to control pine invasion in

Patagonia: influence of foliar toughness, terpenoids and resin content. *Scientific Reports*, **10** (1) : 12113. doi: 10.1038/s41598-020-68748-y.

Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N.J., Saveliev A.A., Smith G.M. 2009. Mixed Effects Modelling for Nested Data. In: Zuur A.F., Ieno E.N., Walker N., Saveliev A.A., Smith G.M. (eds). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. New York, NY : Springer : p. 101-142 (Coll. Statistics for Biology and Health).

Zwieniecki M.A., Melcher P.J., Feild T.S., Holbrook N.M. 2004. A potential role for xylem-phloem interactions in the hydraulic architecture of trees: effects of phloem girdling on xylem hydraulic conductance. *Tree Physiology*, **24** (8) : 911-917. doi: 10.1093/treephys/24.8.911.

ANNEXES



ANNEXE 1. SCHEMA D'UNE BRANCHE CHARPENTIERE D'ARBRES FRUITIERS (SOURCE : WELDOM)

Date : **Observateur** **Météo :**

	Individu 1				Individu 2				Individu 3				Individu 4				Individu 5				Individu 6			
Heure	Ab	Pa	Pt	Ac	Ab	Pa	Pt	Ac	Ab	Pa	Pt	Ac	Ab	Pa	Pt	Ac	Ab	Pa	Pt	Ac	Ab	Pa	Pt	Ac

Ab = ambiance Pa : Position ~ arbre (emplacement) Pt : Position ~ troupeau (isolé ou non) Ac : Activité

ANNEXE 2. GRILLED DE MESURES COMPORTEMENTALES (SCANS D'ACTIVITE)

Date : **Observateur :** **Modalité :**

	Individu 1		Individu 2		Individu 3		Individu 4		Individu 5		Individu 6	
Heure	Activité	Durée/Nb	Activité	Durée/Nb	Activité	Durée/Nb	Activité	Durée/Nb	Activité	Durée/Nb	Activité	Durée/Nb

ANNEXE 3. GRILLE DE MESURES COMPORTEMENALES (OBSERVATION CONTINUE)

Protéines digestibles de l'intestin grêle (g/kg MS) - PDI = PDIA + PDIM

Avec PDIA, les protéines digestibles d'origine alimentaire (g/kg MS) et PDIM, les **protéines digestibles d'origine microbienne** (g/kg MS) :

- ⇨ PDIM = (41,67 + 71,9 x 0.001 x MOF) x 0.8 x 0.8

  Avec MOF, la **matière organique fermentescible** dans le rumen (g/kg MS) :

  - MOF = MOD – PDIA – AGD_int – NDFD_int

    Avec NDFD_int, les **NDF** (neutral detergent fiber) **digestibles** dans l'intestin (g/kg MS) :

    - NDFD_int = 11,4 + 0.08 * NDFND

      Avec NDFND, les **NDF non digestible** (g/kg MS) :

      - NDFND = 785 – 8,62 x dMO

        Avec dMO, la digestibilité de la matière organique fournie dans l'analyse de fourrage (%)

    Avec AGD_int, les **acides gras digestibles dans l'intestin** (g/kg MS) :

    - AGD_int = 6 + 0,599 x (9,7 + 0,75 x AG)

      Avec AG, les **acides gras totaux** du fourrage (g/kg MS) :

      - AG = 1,78 + 0,105 x MAT

        Avec MAT, la **matière azotée totale** fournie dans l'analyse de fourrage (g/kg de MS)

    Avec MOD, la **matière organique digestible** (g/kg MS)

    - MOD = MO x DMO x 0.01

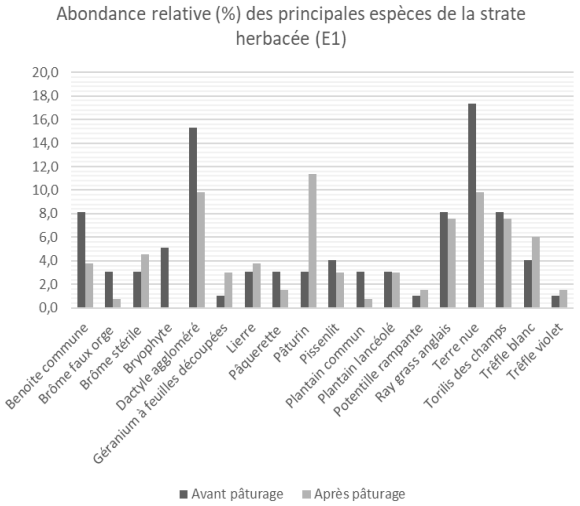
      Avec MO, la **matière organique** (g/kg MS) :

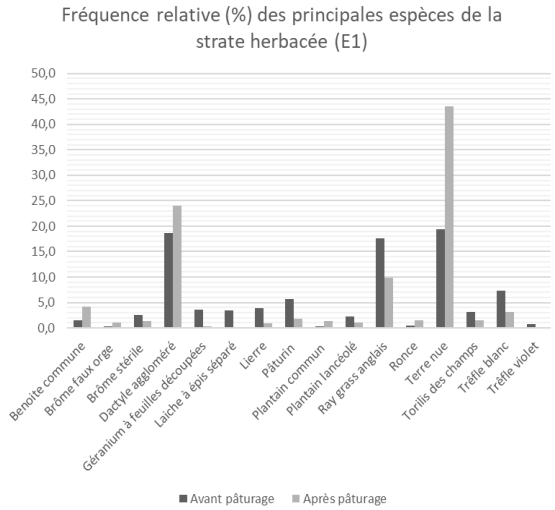
      - MO = 1000 – MM

        Avec MM, la **matière minérale** fournie dans l'analyse dfourrage (g/kg MS)

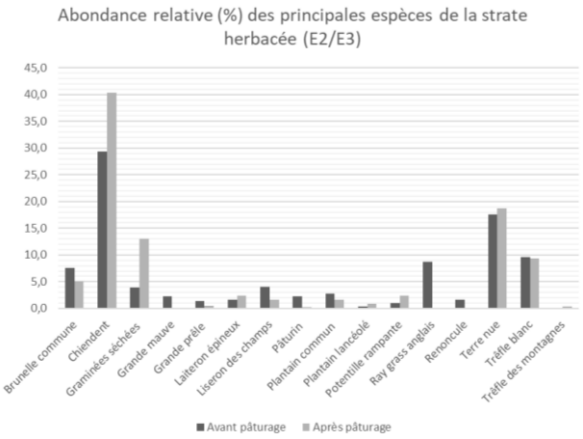
ANNEXE 4. EQUATIONS INRAE DE PERMETTANT DE CALCULER LA QUANTITE DE PROTEINES DIGESTIBLES D'ORIGINE MICROBIENNE (G/KG DE MS) ET LA QUANTITE DE PROTEINES DIGESTIBLES DE L'INTESTIN GRÊLE

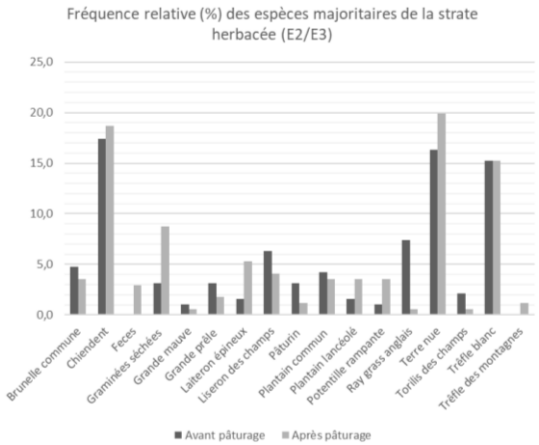
(HUSSON ET AL., 2018, MAXIN ET AL., 2019)



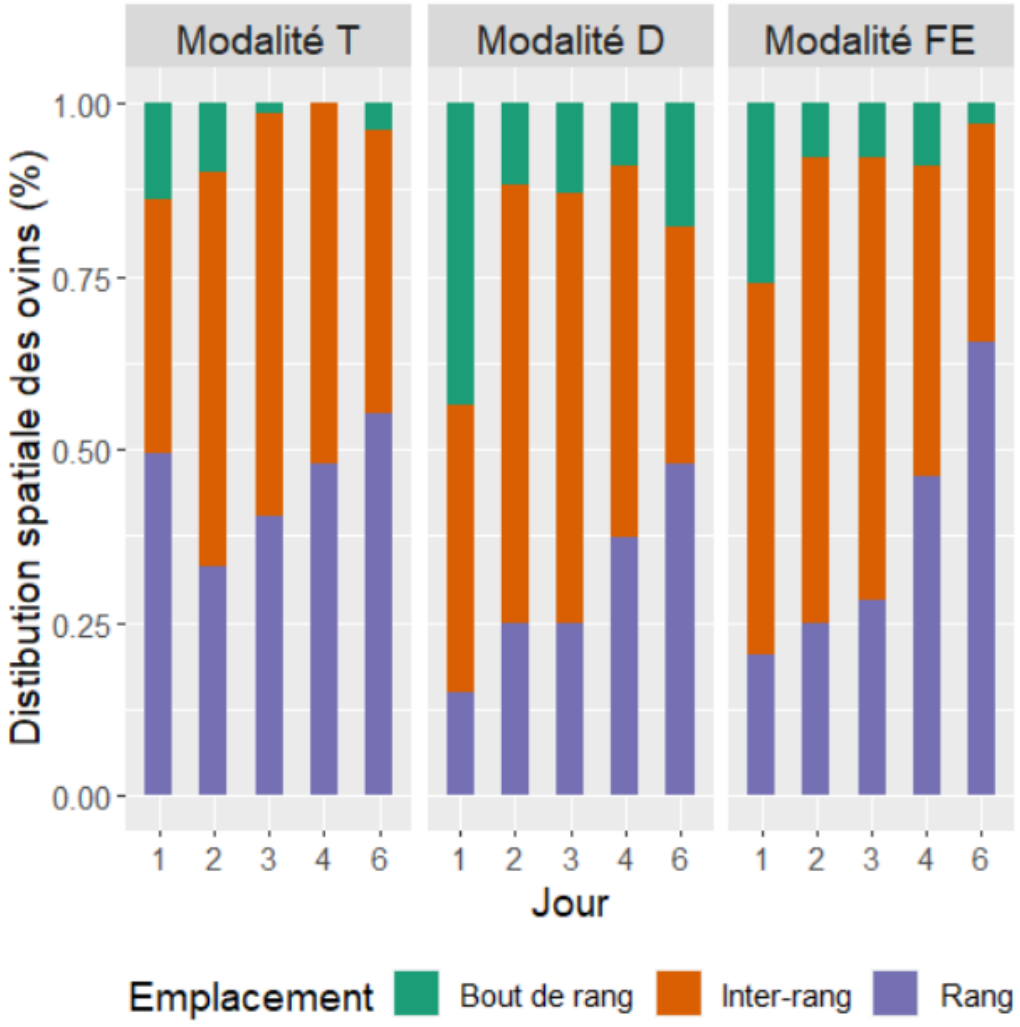


ANNEXE 5. ABONDANCE ET FREQUENCE RELATIVE (%) DES ESPECES PRAIRIALES DE L'ENHERBEMET DU VERGER DE L'ESSAI 1.





ANNEXE 6. ABONDANCE ET FREQUENCE RELATIVE (%) DES ESPECES PRAIRIALES DE L'ENHERBEMET DU VERGER DE L'ESSAI 2 ET 3.



ANNEXE 7. DISTRIBUTION SPATIALE (%) DES OVINS EN FONCTION DE LA MODALITE.

ANNEXE 8. MODALITES « DETOURNEE » (GAUCHE) ET « TEMOIN » (DROITE) AU SEPTIEME JOUR DE PÂTURAGE ; PHOTOS DEMONTRANT UNE DIFFERENCE DE HAUTEUR D'HERBE ENTRE LES MODALITES (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FRANCE)

ANNEXE. 9 MARQUES D'ECORCAGE ET TRACES DE FROTTEMENT SUR LES JOUETS EN BOIS PROPOSES AUX AGNELLES DANS LA MODALITE « DETOURNEE » DE L'ESSAI 1 (SOURCE : C. RIVOIRE – FIBL FRANCE)