

## **Etude de l'impact du pâturage par des ovins sur la végétation durant une culture intercalaire piège à nitrates mixte, dans un système intégré culture-élevage**

**Auteur :** Tilkens, Nicolas

**Promoteur(s) :** Bindelle, Jérôme; Monty, Arnaud

**Faculté :** Gembloux Agro-Bio Tech (GxABT)

**Diplôme :** Master en agroécologie, à finalité spécialisée

**Année académique :** 2020-2021

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/12218>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# **ETUDE DE L'IMPACT DU PATURAGE PAR DES OVINS SUR LA VEGETATION DURANT UNE CULTURE INTERMEDIAIRE PIEGE A NITRATES MIXTE, DANS UN SYSTEME INTEGRE CULTURE- ELEVAGE**

**TILKENS NICOLAS**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN AGROECOLOGIE**

**ANNEE ACADEMIQUE 2020-2021**

**(CO)-PROMOTEUR(S) : JÉRÔME BINDELLE, ARNAUD MONTY**



Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique de Gembloux Agro-Bio Tech.

Le présent document n'engage que son auteur.

# **ETUDE DE L'IMPACT DU PATURAGE PAR DES OVINS SUR LA VEGETATION DURANT UNE CULTURE INTERMEDIAIRE PIEGE A NITRATES MIXTE, DANS UN SYSTEME INTEGRE CULTURE- ELEVAGE**

**TILKENS NICOLAS**

**TRAVAIL DE FIN D'ETUDES PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE  
MASTER EN AGROECOLOGIE**

**ANNEE ACADEMIQUE 2020-2021**

**(CO)-PROMOTEUR(S) : JÉRÔME BINDELLE, ARNAUD MONTY**

## **Remerciements :**

Je tiens à remercier en premier lieu mes deux promoteurs : M. Jérôme Bindelle, qui m'a fait confiance dès mon stage de MA1, confiance renouvelée à plusieurs reprises, et M. Arnaud Monty, qui m'a dès le début accordé du temps et pris mon travail au sérieux. Tous deux ont été présents tout au long de mon mémoire, des premiers relevés de terrain aux dernières modifications, et ont su se libérer à plusieurs reprises pour m'aiguiller au cours de mon travail.

Merci également à Caroline de Clerck pour son accompagnement sur le terrain et son attitude optimiste qui a su m'encourager.

Merci à Cédric Geerts et à Jean-François Bastin de s'être rendus disponibles pour m'assister sur la partie télédétection.

Merci à mes relecteurs : Ludovic, Romain, Perrine, Victoire et Thomas (mention spéciale à ce dernier pour m'avoir également assisté pour la partie statistique du travail).

Un énorme merci à mes compagnons de relevés, Valery, Urbain et Gentil, par tout temps, avec bonne humeur malgré les épreuves. Merci aussi à Nico, Alice et Romain pour leur aide plus ponctuelle mais à des moments critiques. Merci à l'équipe de la ferme expérimentale, et surtout à François, Sylvie et Nicolas pour le travail sur le terrain, le déplacement du matériel et des brebis.

Merci à mes parents de m'avoir permis de faire des études, de m'avoir laissé choisir ma voie et d'avoir cru en moi pendant toutes ses années. Merci à mon frère et à ma sœur de m'avoir encouragé le long de ce chemin.

Merci au kot grange pour m'avoir évité des déplacements en plus. A Laurence pour son caractère qui rafraîchit dans les moments de fatigue, et à Flo pour avoir été à mes côtés, ordi contre ordi, pour la partie intense de la rédaction. « Ce soir, on finit ce mémoire ».

Enfin, je tiens à remercier Chris, une personne présente dans ma vie depuis très longtemps. Quelqu'un qui porte tant le titre d'ami, que de frère à mes yeux, et à tous ceux qui se sont cotisés avec lui pour m'offrir un ordinateur capable de tenir un mémoire à un moment où le mien rendait l'âme : Giu, Cam, Quentin, Victoire, Romain, Coco, Simon, Sara et Sarah, Sacha et Max. Ce travail a été rédigé sur l'incarnation matérielle d'amitiés solides.

## ***Résumé :***

Les fermes mixtes européennes ont eu tendance depuis les années 80 à se spécialiser vers des systèmes de production agricole dits « conventionnels », essentiellement basés sur des monocultures et élevages monospécifiques, utilisant d'importantes quantités d'intrants. Le potentiel des « Integrated Crop Livestock Systems » (ICLS) en termes d'apport de services écosystémiques (SE) en fait une alternative potentielle à ces systèmes. Cette étude a permis de suivre l'évolution d'une CIPAN (Culture Intermédiaire Piège À Nitrate) pâturée par trois brebis, et de trois cultures similaires sans pâturage, qui servent dans ce cas-ci de témoins, dans le contexte du projet ECOFOODSYSTEM mis en place par l'Université de Gembloux AgroBioTech pour la première année d'une série de 8 ans d'expérimentation. Des relevés de flore ont permis d'estimer la biomasse et l'abondance spécifiques des espèces végétales (cultivées et adventices) présentes avant et après le pâturage, des observations de sélection des plantes par les animaux lors du pâturage ont eu lieu et des vols de drones avec caméra multispectrale ont permis de mesurer les NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) des parcelles avant et après le pâturage. Une ordination à deux dimensions de type « non-metric multidimensional scaling » (nMDS) de ces observations a permis de conclure que le pâturage avait un impact sur la flore adventice malgré un comportement de sélection des brebis tendant à favoriser les graminées présentes sur la parcelle dans leur régime, laissant presque intouchées les phacélies des CIPAN et les dicotylédones adventices. Toutefois, l'analyse de l'intensité et l'homogénéité du pâturage, basée sur le NDVI ainsi que des relevés de biomasse, indiquent que les comportements de destruction de la culture en place étaient impactés par d'autres facteurs non étudiés dans ce travail comme la présence humaine, les conditions météorologiques ou le nivellement du terrain. Ces résultats suggèrent d'appliquer une pression de pâturage supérieure pour mieux exploiter la fonction de lutte contre les mauvaises herbes des moutons. De plus, il conviendra de poursuivre le suivi de la végétation sur les parcelles étudiées afin de vérifier l'impact du pâturage pratiqué sur la flore adventice jusqu'à la prochaine saison de culture.

## ***Abstract :***

European mixed farms have since the 1980s tended to specialize in so-called “conventional” agricultural production systems, essentially based on monoculture and monospecific breeding, using large quantities of inputs. The potential of Integrated Crop Livestock Systems (ICLS) to provide ecosystem services (ES) makes them a potential alternative to these systems. This study has made it possible to follow the evolution of a CIPAN (Culture Intermédiaire Piège À Nitrate (en français dans le texte)) grazed by three ewes, and three similar cultures without pasture, which in this case serve as control samples, in the context of the ECOFOODSYSTEM project supported by the University of Gembloux Agro-Bio Tech for the first year of a serie of 8 years of experimentation. Surveys of the flora were conducted to estimate the specific biomass and abundance of plant species (cultivated and weeds) during, before and after the grazing period. Observation sessions of the plant selection by animals were conducted during the grazing phase and flights of drones with multispectral cameras allowed to measure the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) of plots before and after grazing. A two-dimensional ordination of the “non-metric multidimensional scaling” (nMDS) type of these observations made it possible to assess that grazing had an impact on the weed flora despite a selection behavior of the ewes tending to favor the grasses present on plot in their diet, leaving the phacelia of the CIPAN and dicotyledons weeds almost untouched. However, analysis of grazing intensity and homogeneity, based on NDVI as well as biomass readings, indicated that the destructive behaviors toward the existing crop were impacted by other factors not taken in account in this study such as human presence, weather conditions or ground level. These results suggest to apply more grazing pressure to better exploit the weed control function of sheep. In addition, it would be necessary to continue monitoring the vegetation on the studied plots in order to verify the impact of the grazing practiced on the weed flora until the next growing season.



# Table des matières

<b>1. Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2. Revue de la bibliographie</b>	<b>2</b>
2.1. ICLS : présentation de la pratique	2
2.1.1. Description	2
2.1.2. Animaux Utilisés	3
2.1.3. Grandes catégories et répartition	4
2.1.4. Perspectives	5
2.2. Cultures intercalaires et adventices	8
2.3. Destruction des cultures intercalaires	9
2.4. Pâturage et adventices	10
2.5. Méthode de suivis des intercultures	11
<b>3. Objectifs</b>	<b>12</b>
<b>4. Matériel et méthodes</b>	<b>12</b>
4.1. Description du site d'étude	12
4.2. Relevés de la flore adventice	14
4.2.1. Relevés T et T+1	15
4.2.2. Relevés AP et PP	15
4.2.3. Relevés par télédétection	17
4.3. Suivi du pâturage	20
4.4. Traitement des données, calculs et analyse statistique	21
4.4.1. Diagramme d'infestation	21
4.4.2. nMDS	22
4.4.3. Graphe de sélection	23
4.4.4. Matrice de corrélation	24
<b>5. Résultats</b>	<b>25</b>
5.1. Impact du pâturage sur l'évolution de la flore adventice	25
5.1.1. Compositions de la flore et diagrammes d'infestation	25
5.1.2. Two dimensions Nonmetric Multidimensional Scaling (nMDS)	31
5.2. Comportement des brebis vis-à-vis du CIPAN, sélection et rejet	33
5.3. Impact du pâturage sur l'état des couverts	34
5.3.1. Comparaison des résultats obtenus via les différents instruments de mesure	34
5.3.2. Diminution du couvert expliquée par la télédétection	36
<b>6. Discussion</b>	<b>38</b>
6.1. H1 : Différences d'abondance, de fréquence et de nuisibilité des adventices	38
6.2. H2 : Comportements de sélection	39

6.3. H3 : Intensité du pâturage .....	39
6.4. Satisfaction des besoins alimentaires des animaux .....	40
6.5. Critique des méthodes de relevés .....	40
6.6. Perspectives .....	41
<b>7. Conclusion.....</b>	<b>43</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>44</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>I</b>
Annexe 1 : Rotation des cultures du projet ECOFOODSYSTEM .....	I
Annexe 2 : Dates des relevés et du pâturage .....	I
Annexe 3 : Calibrage de la RPM pour la culture étudiée .....	II
Annexe 4 : Evolution du poids des brebis entre le 2 et le 30 mars 2021 .....	II

## Sommaire des figures

Fig. 1 : Terrain ECOFOODSYSTEM avec les 4 parcelles pâturées.....	13
Fig. 2 : Diagramme ombrothermique des relevés de la station de Uccle pour le mois de mars 2021 (météobelgique.be) .....	13
Fig. 3 : Disposition des stations fixes. ....	16
Fig. 4 : Station fixe et numéro de relevés pour chaque parcelle pâturée.....	16
Fig. 5 : Méthode point-fréquence (Bråkenhielm & Qinghong, 1995) .....	17
Fig. 6 : Application de texture IDM .....	18
Fig. 7 : Logigramme des opérations effectuées sur le logiciel QGIS with GRASS. ....	20
Fig. 8 : Diagramme d'infestation des adventices présentes au temps T sur les 12 parcelles sans ICLS (60 relevés). ....	28
Fig. 9 : Diagramme d'infestation des adventices présentes au temps T+1 sur les 12 parcelles sans ICLS (60 relevés). ....	28
Fig. 10 : Diagramme d'infestation des adventices présentes au temps T sur les 4 parcelles en ICLS (20 relevés). ....	29
Fig. 11 : Diagramme d'infestation des adventices présentes au temps T+1 sur les 4 parcelles en ICLS (20 relevés). ....	29
Fig. 12 : Inventaire du nombre adventices présentes sur l'ensemble des relevés aux temps T et T+1 sur l'ensemble des parcelles et les 4 parcelles en ICLS (20 relevés). ....	30
Fig. 13 : Diagramme nMDS des assemblages de plantes par relevés (n = 80) aux périodes T et T+1. ....	31
Fig. 14 : Histogramme de l'évolution de la disponibilité et de la sélection par les brebis des différents groupes végétaux précédemment établis sur les 3 parcelles observées. ....	33
Fig. 15 : Diagramme de sélection et rejet des groupes d'espèces végétales consommées par le pâturage de brebis sur les parcelles 2 à 4 entre le 9 et le 30 mars 2021 .....	34
Fig. 16 : Diminution de la biomasse, du nombre de plantes et de la couverture du sol entre AP et PP .....	35
Fig. 17 : Représentation des valeurs de NDVI de la parcelle entre AP et PP en résolution 0.1 m <sup>2</sup> .....	36
Fig. 18 : Evolution des valeurs de NDVI des parcelle 1 à 4 .....	36
Fig. 19 : Représentation de l'évolution des valeurs de NDVI des parcelles entre AP et PP en résolution 2x2 m <sup>2</sup> .....	37
Fig. 20 : Représentation des valeurs ASM des parcelles entre AP et PP en résolution 2x2 m <sup>2</sup> avec des fenêtres de 3x3 cases .....	37
Fig. 21 : Histogramme des valeurs ASM représentées à la figure 20 .....	38

## **Sommaire des Tableaux**

Tableau 1 : Grille d'observation des espèces prélevées par les brebis.....	21
Tableau 2 : Liste des espèces répertoriées au cours des relevés successifs .....	25
Tableau 3 : Calcul du niveau de significativité de chaque facteur environnemental pour deux nMDS (T et T+1) .....	32
Tableau 4 : Tableau des indices de sélection d'Ivlev pour les différents groupes végétaux ...	34
Tableau 5 : Matrice de corrélation entre différents outils de mesure de la biomasse et du couvert utilisés sur les parcelles 1 à 4 .....	35

## Liste des abréviations

- AP : “Avant pâturage”
- PP : “Après pâturage”
- T : Période correspondant à la première série de relevés de la flore adventice
- T+1 : Période correspondant à la seconde série de relevés de la flore adventice
- ASM : Angular Second Moment
- BAU : Business as usual
- CIPAN : Culture Intermédiaire Piège A Nitrate
- GLCM : Grey Level Co-occurrence Matrice
- IDM : Inverse Difference Moment
- MS : Matière Sèche
- NDVI : Normalized Difference Vegetation Index
- nMDS : non-metric MultiDimensional Scaling
- RPM : Rising Plate Meter
- SE : Services Écosystémiques
- SI : Indice de sélectivité d'Ivlev

## ***1. Introduction***

La thématique générale de ce mémoire concerne les « Integrated Crop-Livestock Systems » (ICLS), appellation qui désigne l'intégration d'animaux issus de l'élevage dans le cycle de culture, ce qui permet dans le cas présent d'éviter ou de limiter le recours aux herbicides ou au désherbage mécanique (De Toffoli et al., 2013). Ces systèmes permettent, grâce à une gestion réfléchie de la biodiversité, d'apporter des services écosystémiques (SE) bénéfiques sur les parcelles (Moraine et al., 2014). Ces bénéfices pourraient faire des ICLS une alternative intéressante aux systèmes de plus en plus spécialisés des exploitations en Europe occidentale, spécialisation qui cause l'appauvrissement de la fertilité des sols, des eutrophisations de certains milieux à la suite d'excès de N et P et une perte de biodiversité liée à ces phénomènes (Peyraud et al., 2014).

Les ICLS sont une pratique répandue au Brésil et dans l'hémisphère sud, et assez peu présente en Europe, mais qui pourrait constituer un levier pour répondre aux besoins, enjeux et opportunités liés aux changements socio-économiques auxquels l'agriculture et l'élevage vont devoir faire face au cours des prochaines décennies (de Moraes et al., 2014; FAO, 2010). Ne pouvant pas aborder l'entièreté du sujet en un seul mémoire, il est question dans ce travail d'évaluer l'impact que peut avoir le pâturage par des brebis sur la flore d'une CIPAN. Ce mémoire est donc un travail de recherche structurante, venant se greffer au projet « ECOFOODSYSTEM » de la plateforme « Agriculture Is Life » de Gembloux Agro-Bio Tech. Le travail de terrain et les relevés de données qui le composent ont eu lieu sur un espace d'expérimentation de 30 ha situé sur le site de la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech, terrain destiné à tester des rotations agricoles innovantes sans pesticides et agroécologiques, adaptées pour nourrir les populations futures en envisageant des attentes sociétales contrastées (Willett et al., 2019). L'expérimentation se déroule en région limoneuse de Hesbaye, idéale pour les cultures présentes sous nos latitudes.

Une partie du travail consiste à observer le comportement de sélection des ovins durant le pâturage des cultures de couverts, dans le courant du mois de mars, ainsi qu'à effectuer des relevés sur le terrain (à l'intérieur de quadrats) réguliers entre mi-décembre et début avril, avant, durant et après le processus de pâturage, afin de faire un inventaire de la flore réalisée présente, en mettant au point un protocole reproductible. Ces derniers permettent au projet « Agriculture Is Life » de collecter des données pour une période excédant celle de ce simple mémoire.

La plateforme « Agriculture Is Life » est un projet multidisciplinaire impliquant plusieurs professeurs de l'université de Liège spécialisés dans le domaine de la recherche agronomique ainsi que dans les sciences sociales. Ils travaillent en collaboration avec deux autres instances : la ferme expérimentale, qui leur sert d'«outil» principal, et l'unité de phytotechnie tempérée : l'un des laboratoires de l'axe d'ingénierie des productions végétales et valorisation de la faculté de Gembloux Agro-Bio Tech. L'objectif de la plateforme est le suivant : anticiper les évolutions des systèmes agricoles afin de proposer des solutions pratiques qui permettront de pérenniser l'agriculture sur base des trois piliers du développement durable. Pour cela, elle a mis en place le projet ECOFOODSYSTEM, dont l'un des objectifs est de « comprendre comment ajouter un niveau trophique génère des propriétés émergentes améliorant la régulation de mauvaises herbes ou non », objectif qui est comparable à celui de ce travail.

## ***2. Revue de la bibliographie***

*La première partie de la revue bibliographique a pour but de décrire et replacer dans son contexte la pratique d'ICLS, au cœur de ce travail, les différentes formes sous lesquelles elle peut être retrouvée, et les paramètres qui régulent ces dernières.*

### ***2.1. ICLS : présentation de la pratique***

#### ***2.1.1. Description***

Les « Integrated Crop-Livestock Systems » (en Français « systèmes intégrés culture-élevage ») désignent l'intégration d'animaux d'élevage sur les parcelles de culture. Cette intégration peut s'organiser au sein d'une exploitation ou entre plusieurs exploitations, un parti fournissant les animaux et l'autre fournissant les cultures, la nécessité et les termes de cette collaboration étant définis selon les ressources, connaissances et motivations de chacun (Russelle et al., 2007)

Le terme « intégrés » différencie les ICLS des systèmes polyculture élevage traditionnels, qui peuvent être appelés « diversifiés » (FAO, 2021), et pour lesquels les différentes composantes sont indépendantes et séparées spatialement. Le mélange de culture et d'élevage en systèmes diversifiés sert essentiellement à minimiser les risques pour l'exploitation en diversifiant les productions, plutôt qu'à recycler les ressources (Ibid.). Les ICLS sont au contraire des systèmes d'exploitation agricole planifiés impliquant des interactions temporelles et spatiales à différentes échelles avec une exploitation des animaux et des cultures dans la même zone, simultanément ou séparément et en rotation ou en succession (Ibid.)

Les ICLS sont la forme la plus courante d'agriculture intégrée (avec comme autres exemples l'aquaponie et le pâturage dans des vergers), il en existe plusieurs formes dans différents milieux : en rizicultures, en agroforesterie, dans des systèmes agropastoraux, sur des prairies temporaires en jachère ou sur des cultures de couverts. Dans le cas présent seront abordés les jachères et CIPAN. Ces cultures fournissent aux animaux du fourrage à partir de la végétation présente, y compris à partir des mauvaises herbes et résidus de cultures précédentes (Ibid.). En contrepartie les animaux fournissent du fumier pour les cultures et exercent une pression sur la végétation adventice.

Les ICLS sont axés sur les services écosystémiques que peut rendre l'élevage à l'agriculture grâce aux propriétés émergentes résultant des interactions sol-plante-animal-atmosphère (FAO, 2010). S'ils sont intégrés de manière appropriée au milieu, ils présentent les intérêts potentiels suivants : réduire l'érosion des sols, diminuer les besoins en fertilisation, valoriser au mieux les fourrages, minimiser les apports de fertilisants, minimiser les achats d'aliments supplémentaires, valoriser des cultures qui ne sont pas consommables par l'homme (Gardner J.C. & Faulkner D.B., 1991), et améliorer le cycle des nutriments (Schiere et al., 2002). Leur utilisation fréquente sur des cultures de couverts permet de rendre ces dernières plus efficaces sur le plan économique (Gardner J.C. & Faulkner D.B., 1991).

Malgré tout, il est nécessaire de planifier et conceptualiser les systèmes accueillant une telle intégration, ce qui constitue une tâche complexe étant donné le nombre de facteurs à tenir en compte (Schiere et al., 2002). La pertinence de l'ajout d'animaux d'élevage dans un système de culture sera en effet systématiquement dépendante du contexte et il se peut que l'impact de cette pratique soit négatif *in fine* (Schiere et al., 2002). On peut estimer qu'une intégration est réussie si elle parvient à mêler une bonne qualité des sols et une bonne gestion des cycles des nutriments (FAO, 2010).

Il y a également un risque d'intoxication des animaux d'élevage par des plantes pouvant être présentes dans les zones pâturées (Cortinovis & Caloni, 2013), situation évitée lorsqu'on fournit une alimentation à base de fourrage et d'aliments préparés.

#### 2.1.2. Animaux utilisés

Plusieurs espèces d'animaux peuvent être utilisés dans le cadre d'ICLS, aussi bien des « non-conventionnelles » liées à des niches : yack, lama, chameaux (FAO, 2021) que des canards en riziculture, pratique encouragée notamment en Chine et au Viêt Nam (Pirdashti et al., 2015). Il sera néanmoins plutôt question dans nos régions de pâturage par des ruminants, dont le fumier



est une alternative viable aux besoins de fertilité du sol : au fur et à mesure que le ruminant consomme la culture de couverture, celle-ci rejoint le cycle des nutriments du champ (Gardner J.C. & Faulkner D.B., 1991).

Dans les exploitations, la question de l'espèce de ruminant utilisée dépend essentiellement du contexte : les « races traditionnelles » (FAO, 2021), les animaux et les connaissances liées à l'élevage disponible dans l'entourage de l'agriculteur. D'autres paramètres, tels que le poids corporel, la production de lait et la tolérance aux maladies vont déterminer l'adéquation d'une espèce et d'une race à la situation donnée (Ibid.).

Dans nos régions tempérées à climat humide, ce sont donc les moutons qui sont favorisés, la raison principale étant que les moutons causent, comparativement aux bovins qui ont un poids corporel en moyenne dix fois plus élevé, des dommages structuraux moins importants aux sols concernant la compaction et la diminution de porosité (Houlbrooke & Laurenson, 2013). Ce paramètre est d'autant plus important dans nos régions où les cultures de couverts seront pâturées pendant les saisons pluvieuses, donc plus facilement soumises au compactage. Des recherches sur le pâturage ont également révélé que la part de nutriments retenus par les bovins et ovins durant leur alimentation était de 25% pour les bovins, et 4% pour les ovins (Gardner J.C. & Faulkner D.B., 1991), ce qui indique une restitution plus importante pour les cycles de minéraux du sol. Pour finir, leur façon différente de récolter le fourrage (avec leur langue pour les bovins, jusqu'à 4 à 6 cm du sol, et avec des lèvres préhensibles pour les ovins, jusqu'à 2 cm du sol (Lenssen et al., 2013)), combinée à leurs préférences alimentaires différentes, donneront des résultats d'impact du pâturage différents.

En situation économiquement plus instable, un autre avantage des chèvres et des moutons est qu'ils sont plus abordables pour démarrer la pratique, pour ensuite continuer à constituer un troupeau et éventuellement se tourner vers de plus gros animaux (FAO, 2021).

### 2.1.3. Grandes catégories et répartition

Il existe de grandes catégories d'ICLS, réparties en fonction du climat et du niveau de vie du milieu où ils sont développés (FAO, 2010). :

- **Zones sèches** (savanes sèches d'Afrique subsaharienne, Amérique latine et Asie centrale, climats tropicaux méditerranéens semi-arides). L'agriculture de ces régions aux climats secs est généralement vouée à l'autoconsommation (Bonfiglioli, 1990). La forme d'ICLS pratiquée couramment est l'agropastoralisme, marqué par un lien très fort entre les productions végétales

et l'élevage pastoral, généralement avec une prédominance du bétail de petite taille (ovins, caprins). Dans ce système, le bétail est amené à consommer les résidus de culture directement sur la parcelle, après la récolte, lors de la saison sèche. L'objectif de la pratique n'est alors pas de détruire les adventices, mais de fournir du fourrage au bétail pendant la saison sèche, de recycler les résidus de culture et d'améliorer la fertilité des parcelles (Gowing et al., 2020).

- **Savanes humides** (Afrique de l'Ouest, Amérique latine et en Asie du Sud). En Afrique et en Asie, les cheptels sont généralement de taille modérée, destinés à une consommation locale. Dans les régions les plus pauvres, le bétail sert également de moyen de traction. L'Amérique latine, elle, pratique un élevage extensif. Ses territoires sont fortement marqués par une dégradation de la terre, liée au surpâturage ou à la déforestation. Ces deux causes étant elles-mêmes expliquées par une forte augmentation de la production (+40% de têtes environ en Amérique Latine entre 1980 et 2017) (OECD/FAO, 2020). Pratiquer une agriculture intégrée permet en partie de fournir la nourriture au bétail. Le système latin est caractérisé par la rotation annuelle des pâturages et des cultures dans un système sans labour, où la composante pâturage est utilisée pour produire soit de la viande, soit du lait. Ces systèmes mettent l'accent sur l'intégration au sein de l'exploitation plutôt qu'entre les exploitations, se caractérisant par l'alternance de cultures et de pâturages dans la même zone (de Faccio Carvalho et al., 2010).

- **Zones humides** (Afrique de l'Ouest, Asie, bassin amazonien). Avec des cheptels de taille modérée et un manque d'infrastructures et de connexions au marché qui freinent le développement de l'agriculture, on y utilise le bétail pour fertiliser les parcelles lors de la saison sèche (notamment sur des rizières) et éventuellement pour la traction animale (FAO, 2010).

- **Climats tempérés** (Europe, Amérique du Nord). Il s'agit de systèmes productifs et capitalistiques où l'agriculture est largement subventionnée, les ICLS y sont peu présents et la production agricole s'y spécialise de plus en plus (Peyraud et al., 2014). Les systèmes traditionnels mixtes existent toujours en Europe de l'Ouest, parmi lesquels on peut retrouver des vergers pâturés.

#### 2.1.4. Perspectives

##### **Dans le monde :**

Les ICLS sont une pratique répandue dans le monde, comme cité plus haut, et qui a le potentiel de se développer encore : elle a un certain succès au Brésil, elle commence à se mettre en place

dans certaines zones en Argentine et les exploitants des terres cultivées de la Pampa (+/- 20 millions d'ha) commencent à s'intéresser au gain d'intérêt potentiel qu'elle suscite (Peyraud et al., 2014).

Bien que les ICLS existent depuis des centaines d'années, les innovations techniques et technologiques des dernières décennies permettent d'apprendre à maîtriser des synergies entre cultures, élevages et environnement. Ces innovations pourraient permettre de mettre en place des systèmes assurant une durabilité économique tout en assurant des services écosystémiques (FAO, 2010). Cette hypothèse fait l'objet d'un consensus lors du « Sete Lagoas Consensus on Integrated Crop-Livestock-Tree Systems for Sustainable Development » (FAO, 2010). Une transition qui risque toutefois de rencontrer des verrouillages sociaux, économiques et organisationnels, après des décennies de spécialisation des territoires et exploitations, notamment sur des continents comme l'Europe et l'Amérique du Sud (Peyraud et al., 2014).

Au vu du besoin de connaissances permettant de mettre en place des nouvelles manières d'intégrer cultures et élevages à l'échelle de la parcelle, de manière adaptée au milieu concerné, des recherches sont en cours afin de pouvoir fournir des lignes de conduite concrètes pour les exploitants (Ryschawy et al., 2017). Les échanges entre agriculteurs et éleveurs spécialisés constituent une alternative pour développer cette intégration mais peuvent représenter des enjeux sociaux et logistiques (Ryschawy et al., 2017). Une recherche poussée et une bonne maîtrise du sujet est par conséquent nécessaires pour correctement organiser les interactions spatiales et temporelles entre les différents acteurs et éléments liés à ces systèmes (Lemaire et al., 2014).

Concernant le passage de la prise de décision individuelle à l'action collective, une approche multi-niveaux et multi-disciplinaires de la recherche sur la modernisation écologique de l'agriculture est requise pour parvenir à surmonter les verrouillages qui l'entravent (Moraine et al., 2014). Il est en tous cas certain que les politiques agricoles ainsi que l'action publique joueront un rôle important pour favoriser une transition vers ces nouvelles formes d'organisation (Peyraud et al., 2014).

### **En Europe :**

L'utilisation de moutons pour neutraliser les mauvaises herbes et chaumes est une pratique ancestrale en Europe, qui a ensuite été délaissée (Herremans, 2019). La marginalisation de cette pratique a encore été encouragée par le climat économique et politique de ces dernières années (Bonaudo et al., 2014) : l'augmentation de la taille des exploitations agricoles et leur

spécialisation (avec par conséquent la spécialisation de leurs propriétaires) étant incitées entres autres par la Politique Agricole Commune (PAC), par les économies d'échelles qu'elles suscitent et par la simplicité relative des systèmes de monoculture/monolélevage.

Il faudra des innovations organisationnelles, de la coordination sociale et des politiques publiques adaptées pour soutenir l'intégration de l'élevage à l'échelle des territoires et une diversification des exploitations allant à l'encontre de la spécialisation (Moraine et al., 2016). Il semblerait déjà que les bénéfices que peuvent apporter les ICLS ravivent l'intérêt de certains agriculteurs et du milieu académique à leur égard. Du côté de la recherche, certaines études ont été développées en Europe (Moraine et al., 2014; Peyraud et al., 2012). Ces études ont pour l'instant majoritairement eu lieu sur des parcelles d'expérimentation et non sur de véritables exploitations. Elles aboutissent à des conclusions similaires : les ICLS présentent un éventail d'intérêts agroécologiques en Europe comme ailleurs, mais les systèmes mis en place doivent être pensés selon le milieu, les acteurs et les ressources disponibles pour pouvoir en profiter pleinement et éviter des désagréments tels que des pertes de rendement.

### **En Belgique :**

Les ICLS suscitent également de l'intérêt en Belgique, particulièrement ces dernières années. En plus de la plateforme d'étude « Agriculture Is Life », qui encadre ce travail, une étude du CRA-W, sous le nom de « SERVEAU », a eu lieu, de 2019 à 2021, avec pour objectif de démontrer l'intérêt des ICLS (cycle de l'azote, destruction du couvert, limite des adventices et parasites) (Herremans, 2019).

Certains agriculteurs et éleveurs belges prennent également des initiatives telles que la mise place de plateformes d'essais et l'organisation de visites chez des producteurs mettant en œuvre des intégration d'élevage d'ovins dans les cultures sur leurs exploitations, dans le but de faire connaître cette pratique qu'ils estiment intéressante (Regibeau, 2019).

Il y a cependant pour l'instant un frein potentiellement important au développement des ICLS en Belgique : la présence limitée d'élevages ovins. Le taux d'autosuffisance belge en matière de production ovine oscille entre 15 et 20 %, de plus l'abattage ovin-caprin représente 0.2 % du poids total de bétail abattu et est stable depuis 1951 (STATBEL, 2020). Sur six moutons consommés en Belgique, cinq sont importés (principalement d'Argentine, de Nouvelle-Zélande et d'Australie) (Calus, 2020). Ces informations impliquent que l'intérêt de l'élevage ovin en Belgique, en l'état, n'est pas suffisant que pour motiver de nombreux éleveurs à se lancer dans la profession.

*Maintenant les ICLS décrites, la partie suivante s'intéresse à la relation entre les cultures intercalaires, telles que celle étudiée dans cette étude, et les populations d'adventices qui peuvent s'y trouver.*

## **2.2. Cultures intercalaires et adventices**

Les CIPAN, obligatoires en Belgique selon le plan de gestion durable de l'azote (PGDA) (Protect'eau, 2018), permettent de limiter la prolifération d'adventices en recouvrant la surface des parcelles entre deux cultures, par concurrence mais également parfois par allélopathie (c'est le cas de l'avoine). Ces cultures permettent également de diminuer le stock semencier présent à la surface du sol en entretenant un milieu couvert et humide favorable aux insectes et autres organismes granivores qui viennent consommer les graines non germées. (Thomas & Archambeaud, 2016). Les cultures les plus utilisées en CIPAN sont les suivantes : moutarde, phacélie, radis, avoine, seigle et ray-grass.

En matière d'efficacité de gestion de l'enherbement à la sortie de l'hiver, les résultats peuvent être variables en fonction des espèces utilisées. Les résultats les plus probants sont obtenus avec des espèces produisant rapidement une grande quantité de biomasse, comme la phacélie, le radis ou la moutarde blanche (Labreuche & Bodilis, 2010). A contrario, certaines espèces, généralement plus sensibles au gel, comme le nyger et le tournesol, laissent un taux d'enherbement assez importants s'installer (Ibid.).

A noter que l'interculture mise en place dans ce cas est également une association de culture, une pratique permettant un contrôle plus efficace des adventices que les monocultures grâce à des mécanismes de compétition plus importants entre cultures et mauvaises herbes. Ce qui en fait une pratique particulièrement intéressante dans le cadre de l'agriculture biologique (sans herbicide), pour laquelle le contrôle des adventices est le challenge le plus important (Bilalis et al., 2010). Elles permettent également d'augmenter la production, de mieux gérer les ressources, de diminuer les dégâts causés par les maladies et ravageurs et d'avoir un rendement plus stable et uniforme (Mousavi & Eskandari, 2011).

*Les cultures intercalaires étant, comme leur nom l'indique, un « entre-deux » cultures, elles doivent être détruites, ce qui amène aux modes de destruction existants, dont le pâturage.*

### ***2.3. Destruction des cultures intercalaires***

Les méthodes « traditionnelles » de destruction du couvert sont les suivantes : destruction climatique par le gel, destruction mécanique (labour ou broyage) et destruction chimique (Archambeaud, 2021).

La destruction climatique par le gel, considérée comme la plus neutre sur le plan environnemental, dépend d'un phénomène aléatoire et est très variable selon le stade de développement des différentes espèces, un couvert ayant un stade avancé sera plus sensible au gel et plus facilement détruit. Toutes les espèces n'y sont cependant pas sensibles au même point. De plus, même pour les espèces de couvert très sensibles au gel, différentes expériences sur le terrain montrent que le contrôle des adventices et repousses est limité et que, dans les parcelles fortement infestées, une intervention mécanique ou chimique reste nécessaire non pas pour détruire le couvert mais pour gérer les adventices.

La destruction mécanique peut se faire par broyage, ce qui nécessite des conditions de sol portantes. Cette pratique est peu efficace pour détruire les couverts rampants et adventices. Elle peut également se faire par labour, qui détruit efficacement à la fois la culture intermédiaire et les adventices, au détriment de la structure des sols.

Pour finir, le désherbage chimique à l'aide d'un herbicide non sélectif est une méthode efficace sur toutes les espèces et utilisable sur une période plus large, mais qui comporte un risque de transfert du produit vers les eaux de surface et nappes phréatiques.

C'est donc une quatrième méthode de neutralisation des CIPAN, moins conventionnelle, qui est explorée au travers des ICLS. La quantité (généralement supérieure à 3t MS.ha<sup>-1</sup>) et la qualité de la biomasse produite par des CIPAN d'association de légumineuses et graminées sont satisfaisantes en ce qui concerne la production de fourrage (De Toffoli et al., 2013). Ce dernier point étant sécurisé par le fait que les associations d'espèces ont l'avantage de limiter la variabilité interannuelle de production. Les moutons ont qui plus est une capacité assez importante de destruction de la végétation, allant jusqu'à laisser moins de 50kg.ha<sup>-1</sup> de plantes cultivées et adventices confondus après leur passage (Sainju et al., 2011).

Les moutons sont des animaux réputés pour leur tolérance aux climats sévères et pour ne pas avoir de prétention particulière concernant les plantes de culture à pâturer. On considère que tous les champs et prairies conviennent aux pâturages des moutons Texel (« La race Texel », 2020). Cependant, des tests réalisés avec du fourrage révèlent que les moutons ont tendance à

sélectionner des aliments selon la vitesse à laquelle ils peuvent les manger plutôt qu'à leur digestibilité de la matière organique *in vitro*, et ont tendance à sélectionner moins préférentiellement les plantes du genre *Trifolium* lorsqu'on leur propose à côté de graminées (Kenney & Black, 1984). En prairie, il y a une controverse autour du pâturage de composition trèfles-graminées entre de nombreux travaux suggérant que les moutons n'ont pas de comportement de sélection marqué (Arnold & Campbell, 1972; Clark et al., 1982; Grimes et al., 1967) et d'autres indiquant une sélection plus marquée pour le trèfle (Hodge & Doyle, 1967; Laidlaw & Steen, 1989). Une étude de cette controverse conclut que la préférence des moutons évolue en fonction des mois et des pâturages antérieurement rencontrés, en concluant par [Traduction] « *Il est peu probable qu'il y ait une réponse unique et sans réserve à la question « les moutons préfèrent-ils le trèfle ? » et la connaissance de l'expérience alimentaire antérieure semble être essentielle pour comprendre les préférences alimentaires actuelles et futures.* » (Newman et al., 1992 : p281). Les phacélies quant à elles font l'objet d'une préférence modérée à forte lors du pâturage (Phillips et al., 1996) durant lequel les brebis pâturent d'abord les fleurs et les graines et ensuite les tiges et feuilles (Webb & Stielstra, 1979).

*Le pâturage étant donc l'une des méthodes de destruction des CIPAN et connaissant déjà l'impact potentiel des intercultures sur la flore adventice, il faut s'intéresser à l'impact du pâturage sur la flore adventice.*

## **2.4. Pâturage et adventices**

Des études se déroulant dans l'état du Montana ont démontré l'efficacité à long terme (7 ans) de systèmes intégrés mouton-blé, en concluant que les systèmes de pâturages de jachères par des moutons obtenaient les mêmes résultats de rendement que les systèmes conventionnels de labour ou d'herbicide (Miller et al., 2015). Des résultats similaires sont soutenus par d'autres recherches, aussi bien avec des bovins (Batista et al., 2014; Tracy & Davis, 2009) qu'avec des ovins (Lenssen et al., 2013; Sainju et al., 2011). Le pâturage des moutons pendant les périodes de jachère, à la place de traitements par des herbicides ou de labour, a selon ces études un impact limité sur le rendement et la qualité de diverses céréales (blé, avoine et maïs) par la suite et constitue donc une pratique appropriée pour la gestion des mauvaises herbes et des résidus dans les systèmes céréales-jachères. Certaines espèces d'adventices ont néanmoins tendance à réagir différemment au pâturage : on peut par exemple observer dans des études comparant labour, désherbage chimique et pâturage, une augmentation des populations de *Taraxacum Officinale* dans les systèmes où le pâturage est employé. Cette augmentation pouvant être due à sa nature « prostrée » qui lui permettrait de survivre et se reproduire (Barroso et al., 2015). Ce constat

n'implique pas pour autant qu'il y a un impact significatif sur la diversité ou l'abondance d'adventices sur la parcelle lorsque le pâturage est appliqué, au contraire les résultats obtenus entre les différentes méthodes paraissent similaires (Barroso et al., 2015; McKenzie et al., 2016). Il indique plutôt que le pâturage ferait office de « filtre biotique » permettant d'aider à maîtriser des mauvaises herbes résistantes aux herbicides selon un filtre basé sur des traits spécifiques tels que le port de la plante (érigé ou prostré) ou sa palatabilité (présence de piques ou de graines qui la rendraient moins agréable) (Barroso et al., 2015). Les ovins auraient également, lors du pâturage en prairies, un potentiel en tant que système de moyen de contrôles certaines infestations d'adventices (Zaller, 2006).

*Les données disponibles étant généralement liées à d'autres régions du globe, avec des climats, cultures et flores adventices différentes de nos régions, comment effectuer un suivi correct des intercultures présentes sur la parcelle « Agriculture is Life » ?*

## **2.5. Méthode de suivis des intercultures**

Le principe d'un suivi sur plusieurs années des intercultures (en particulier de l'impact d'une pratique telle que le pâturage sur leur développement et celui de la flore adventice présente sur les mêmes parcelles), implique d'utiliser des protocoles de recherche mettant en place l'échantillonnage des communautés d'adventice de manière à permettre la caractérisation de l'évolution de ces dernières. Ces méthodes d'échantillonnage doivent à la fois être pensées sur plusieurs années et permettre une approche à l'échelle du système de culture. C'est le cas du projet de « Développements méthodologiques pour une CARactérisation SIMplifiée des pressIons biotiques et des Régulations biologiques » (CASIMIR), qui a été mis au point par plusieurs membres de l'INRA avec pour objectif de proposer des protocoles de caractérisation de l'évolution des bioagresseurs, « afin d'étudier la mise en place et l'intensité des régulations biologiques dans des systèmes de grandes cultures avec peu ou pas de pesticides » (Cellier et al., 2017 : p41). Une boîte à outils disponible à tout public a été réalisée pour remplir cet objectif.

L'objectif étant de réunir un maximum d'informations, il est également intéressant de pouvoir adapter ces protocoles afin de réaliser un suivi de la culture de couverts. A cet effet, un outil plus récent et de plus en plus accessible pour effectuer un suivi de la dynamique de végétation d'une culture est la télédétection, qui va permettre de cartographier et de représenter sous forme



de différents indices la présence, l'évolution et l'homogénéité de la végétation au fur et à mesure des années et avant/après le pâturage (Haralick, 1979; Haralick et al., 1973; Jaziri, 2020).

*Avec ces outils et connaissances à disposition, et au vu du manque d'études préexistantes concernant des cas similaires au cadre de cette recherche sur lesquels se baser, il est donc envisageable de fixer un objectif de recherche.*

### **3. Objectifs**

La question de recherche soulevée dans ce travail étant « Dans une rotation ICLS, quel est l'impact du pâturage par des ovins durant une culture de CIPAN mixte sur la végétation d'une culture de maïs », cette dernière peut être déclinée en trois hypothèses :

H1 : Il y a des différences d'abondance, de fréquence et de nuisibilité des adventices entre des parcelles ayant subi un processus de pâturage et des parcelles identiques n'en ayant pas subi.

H2 : Des brebis font preuve d'un comportement de sélection vis-à-vis des espèces végétales présentes sur une culture intercalaire composée de légumineuses et de graminées, favorisant les plantes cultivées aux adventices.

H3 : L'intensité du pâturage du CIPAN mixte par des brebis en fait une pratique de destruction des couverts fonctionnelle, de manière homogène sur la parcelle.

Les réponses à ces hypothèses permettront de renforcer la bibliothèque d'informations disponibles sur la faisabilité et l'éventuel intérêt des ICLS dans nos régions. Les relevés de données effectués serviront également pour la suite de l'expérimentation ECOFOODSYSTEM qui se déroule sur huit ans.

## **4. Matériel et méthodes**

### **4.1. Description du site d'étude**

L'étude a été réalisée sur le terrain d'expérimentation ECOFOODSYSTEM (figure 1), situé en région limoneuse de Hesbaye. Il s'agit d'un terrain de 30 ha divisé en 32 parcelles d'expérimentation de 84 x 14 m<sup>2</sup> sur lesquelles sont implémentées quatre rotations expérimentales d'une durée de huit années chacune réparties en quatre blocs identiques au niveau de leur composition : Par bloc, on retrouve huit parcelles, deux pour chaque rotation, l'une démarrant en année 1 du cycle de la rotation et l'autre en année 5 (Annexe 1). Chaque rotation simule un scénario différent pour l'évolution du système alimentaire et agricole hesbignon : business as usual (BAU), BAU sans produits phytosanitaires, une rotation sans

l'inclusion d'animaux et sans produits phytosanitaires, et une rotation sans produits phytosanitaires intégrant du pâturage par des moutons sur les intercultures. Ces rotations seront citées sous l'appellation générale « *Type* » durant ce travail, avec comme noms de référence (dans l'ordre) « *Phyto* », « *Ref* », « *Vegan* » et « *Agro* ». Le terme « *Pratique* » sera également employé pour distinguer la rotation « *Agro* » où est pratiquée l'ICLS, des trois rotations témoins « *Ref* », « *Phyto* » et « *Vegan* », pour lesquelles les CIPAN ne sont pas pâturées :

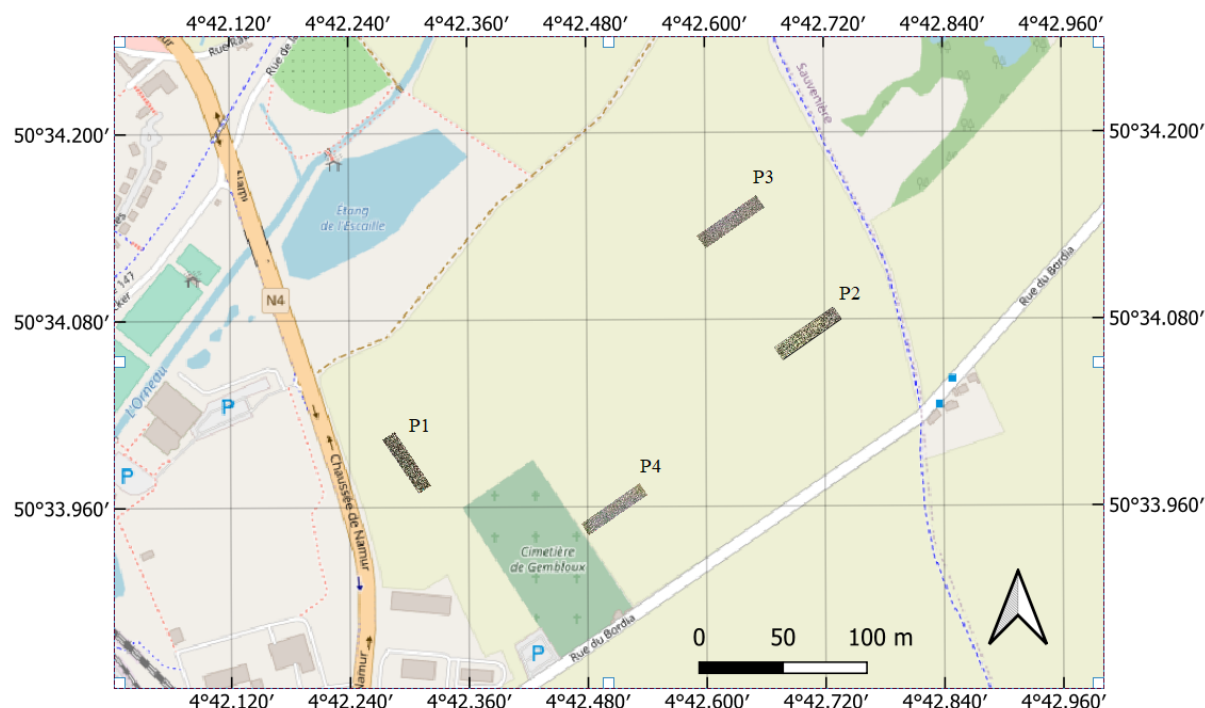


Fig. 1 : Terrain ECOFOODSYSTEM avec les 4 parcelles pâturées.

L'ensemble des parcelles étudiées étaient couvertes par un CIPAN semé le 3 septembre 2020 et composées de cinq essences et semées aux densités suivantes : Avoine (*Avena sativa*, 20kg/ha), Seigle (*Secale cereale* L., 20 kg/ha), Phacélie (*Phacelia tanacetifolia*, 4kg/ha), Trèfle Incarnat (*Trifolium incarnatum*, 10 kg/ha) et Trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum*, 10 kg/ha). Pour une raison indéterminée, aucune plantule de seigle n'a été observée. Un broyage du couvert a ensuite eu lieu après la fin des relevés, le 4 avril 2021.

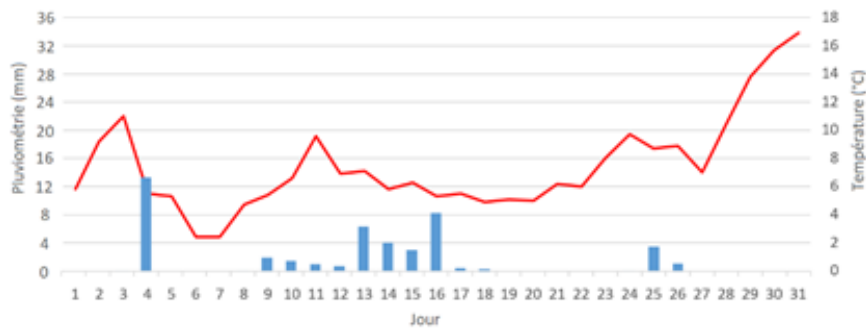


Fig. 2 : Diagramme des températures et précipitations du mois de mars 2021, sur base des relevés de la station de référence de Uccle (météobelgique.be).

La période de pâturage, qui s'étend du 2 au 30 mars 2021, est caractérisée par des températures stables avoisinant les 6°C et de légères pluies la deuxième semaine (figure 2). La culture a subi précédemment une offensive hivernale s'étant déroulée entre le 7 et le 14 février 2021, qui aura duré huit jours dont quatre jours durant lesquels la température est restée négative, de jour comme de nuit avec des températures atteignant les -8°C (Vilmos, 2021). La parcelle d'expérimentation a été recouverte d'une couche de neige, avec pour conséquence une dégradation marquée de l'état général du couvert végétal, un impact marqué sur la flore adventice réalisée, mais également sur l'avoine (*Avena sativa*) qui ne supporte pas les températures inférieures à -6°C (Eagles et al., 1993) et sur les phacélies (*Phacelia tanacetifolia*) qui atteignent rapidement le « point de congélation » (Sierra-Almeida & Cavieres, 2010) et perdent leurs feuilles les plus développées. Une grande partie de ces deux espèces a donc été détruite, diminuant fortement la biomasse présente. Les trèfles quant à eux ont une meilleure résistance (Junttila et al., 1990), c'est le cas des deux espèces présentes (*Trifolium incarnatum* et *Trifolium alexandrinum*) qui survivent sans problème à cet aléa climatique et qui étaient toujours bien présents sur les parcelles au démarrage des observations de pâturage.

#### 4.2. Relevés de la flore adventice

Une première série de relevés ont été effectués sur l'ensemble des parcelles avant les périodes de pâturage (T) entre le 12 et le 29 décembre 2020 et après (T+1) entre le 30 mars et le 2 avril 2021, afin de pouvoir effectuer une analyse comparative. Une seconde série de relevés a également été effectuée spécifiquement sur les parcelles en ICLS avant (AP) et après (PP) le pâturage par les brebis (Annexe 2). Cette approche permet d'identifier des changements de flore au niveau des espèces et de la biomasse.

#### 4.2.1. Relevés T et T+1

Pour la première série de relevés concernant l'ensemble des parcelles ECOFOODSYSTEM, cinq points ont été sélectionnés de manière aléatoire (Diouf & Lambin, 2001), sur lesquels sont centrés des quadrats de 0,5x0,5 m<sup>2</sup> au sein desquels sont effectuées les relevés (Goodall, 1952) répartis sur la longueur de la parcelle en respectant une distance minimale de 5m entre deux relevés, entre eux et vis-à-vis de l'extérieur de la parcelle. Les points ne sont pas alignés entre eux afin de ne pas suivre accidentellement le même sillon de culture.

Pour chaque point, enregistré à l'aide d'un GPS RTK EMLID (EMLID, St-Petersburg, Russie), les données suivantes ont été relevées : recouvrement végétal total, estimé à l'aide d'une photo aérienne (Bråkenhielm & Qinghong, 1995), comptage du nombre d'individus par espèce et prélèvement de la biomasse totale d'adventices dans le quadrat, sans inclure les plantes du CIPAN. Les échantillons de biomasse ont été placés dans des sacs plastiques percés dans une étuve à 40°C pour y être séchés durant minimum 72h puis pesés à la balance de précision

Pour l'ensemble de ce travail ont été considéré comme « individu », dans le cas des plantes rhizomateuses (ex : *Elytrigia repens*) ou stolonifères (ex : *Trifolium incarnatum*, *Trifolium alexandrinum*) les groupements de tiges émergentes liées à une couronne localisée sur un entre-nœud (Guo et al., 2021). Dans le cas de plantes ne pratiquant pas la multiplication végétative, le terme « individu » désigne une plante entière.

Les données relevées ont permis de faire un inventaire de la flore réalisée et différents diagrammes d'infestations sur base du pourcentage de fréquence de présence de l'espèce dans les relevés et de l'abondance relative moyenne (Karkour & Mohammed, 2015; Lebreton & Le Bourgeois, 2005). L'abondance relative correspondant à la moyenne de présence de l'adventice par rapport au total d'adventice (à nouveau sans inclure les plantes du CIPAN) dans chaque quadrat.

Il est important de préciser qu'étant donné le pâturage successif à une semaine d'écart des parcelles, les relevés au T+1 ont eu lieu juste après le pâturage pour la P4, une semaine après la P3, deux semaines après la P2, etc.

#### 4.2.2. Relevés AP et PP

Pour la seconde série de relevés, concernant uniquement les parcelles ICLS avant et après pâturage, cinq points ont été fixés sur toute la longueur, à distance égale entre eux et vis-à-vis

des bordures de la parcelle, et centrés sur la largeur. Ces points sont enregistrés dans un GPS et constituent le centre de « stations fixes » inspirées du protocole DEPHY EXPE (Cellier et al., 2017; Froger et al., 2015) qui resteront les mêmes durant la durée totale d'expérimentation (huit ans). Ces stations sont des carrés de 16 m<sup>2</sup> de surface (figure 4). Pour une parcelle de taille standard de 84 x 14 m<sup>2</sup>, on peut placer les centres de stations à 10m du bord et à 11m entre elles (voir figure 3).

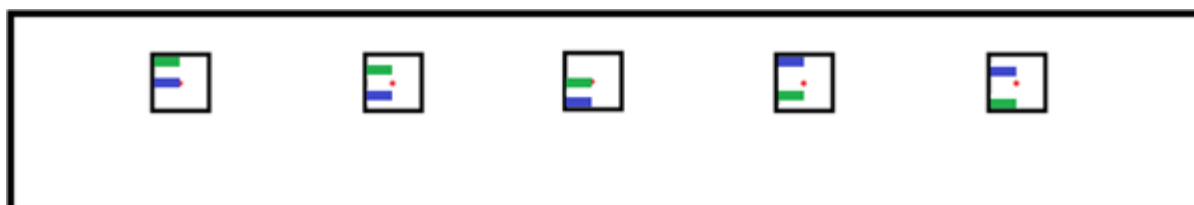


Fig. 3 : Disposition des stations fixes. Les points rouges sont enregistrés sur GPS. Les zones vertes sont les zones de relevé avant le passage des animaux. Les zones bleues sont les zones de relevé après passage des animaux.

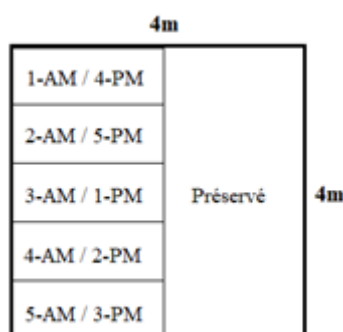


Fig. 4 : Station fixe et numéro de relevés pour chaque parcelle pâturée. La moitié de la surface des stations est systématiquement préservée pour l'année suivante.

Pour chaque relevé, les informations suivantes ont été relevées : recouvrement végétal total, comptage du nombre d'individus et prélèvement de la biomasse dans le quadrat avec une séparation des espèces selon 6 groupes :

1. Avoine (*Avena sativa*)
2. Phacélie (*Phacelia tanacetifolia*)
3. Trèfle incarnat (*Trifolium incarnatum*)
4. Trèfle d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum*)
5. Graminées adventices
6. Dicotylédones adventices

La biomasse disponible (kg de matière sèche (MS)) est également déterminée à l'aide du système de « Rising Plate Meter » (RPM), calibrée pour la végétation (Earle & McGowan, 1979; Ferraro et al., 2012). 30 prises de mesure sont effectuées sur chaque parcelle. Le calibrage ayant donné un  $R^2 = 0.239$  (Annexe 3) après avoir isolé les données aberrantes, les

résultats de la RPM sont uniquement utilisés à titre informatif dans la matrice de corrélation (Tableau 5).

La couverture végétale du sol a été évaluée par la méthode de point-fréquence, en disposant une série de 25 points par-dessus chaque photographie des quadrats (Bråkenhielm & Qinghong, 1995). Chaque point représente 4% de la surface totale du quadrat. Par exemple, la figure 5 indique 12 « hit » pour une couverture estimée de 48%.

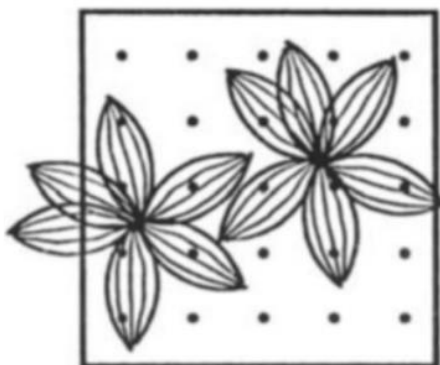


Fig. 5 : Méthode point-fréquence (Bråkenhielm & Qinghong, 1995)

#### 4.2.3. Relevés par télédétection

Pour chacune des quatre parcelles ICLS, deux vols d'un drone DJI Phantom 4 Pro (DJI, Shenzhen, Chine) avec capteur optique (RGB) incorporé, équipé d'une caméra multispectrale Micasense RedEdge (MicaSense, Seattle, USA) ont été effectués juste avant et juste après le passage des brebis. Les vols ont eu lieu à 30m d'altitude avec les caméras en vision nadir et un recouvrement de 80% en « front overlap » et 85% en « side overlap ». Ce recouvrement légèrement supérieur aux 80% habituels se justifie par le fait que la caméra multispectrale équipée possède une fauchée inférieure au capteur optique RGB. Des cibles “ground control point” (GCP) ont été placées au sol aux quatre coins de la parcelle pour recalibrer les blocs d'images avec la précision d'un GPS Emlid Reach RS+ (EMLID, St Petersburg, Russie).

Les images prises ont été traitées avec le logiciel QGIS (OSGeo, Chicago, USA) pour évaluer le NDVI. Le NDVI est l'indice le plus commun utilisé en télédétection. Il fournit une indication sur la quantité de végétation (Michez et al., 2019) et permet d'évaluer l'évolution de la phénologie ou du rendement des cultures (Wang et al., 2005; Zhao et al., 2009). Une végétation saine sera plus riche en chlorophylle, qui absorbe fortement la lumière visible (Red) qui la frappe entre 0,4 et 0,7  $\mu\text{m}$ , tandis que la structure cellulaire des feuilles réfléchit fortement la

lumière proche-infrarouge (NIR) entre 0.7 et 0.11  $\mu\text{m}$ , ce qui génère un indice élevé. A l'inverse une végétation malsaine ou clairsemée (indice faible) réfléchit plus de lumière visible et moins de lumière infrarouge proche (*Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*, 2000). Le calcul permettant d'obtenir le NDVI est le suivant :

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR} - \text{Red})}{(\text{NIR} + \text{Red})}$$

Le résultat obtenu varie toujours entre -1 et 1, sans séparation distincte pour chaque type de surface. Les valeurs négatives sont généralement des surfaces d'eau ou des nuages. Les formations végétales ont généralement des valeurs positives comprises entre 0,1 et 0,7.

La télédétection permet également de travailler avec différentes textures, en attribuant une valeur et une résolution définies aux images en fonction des besoins à remplir. Ce qui se fait en deux étapes : d'abord créer une première matrice nuancée de plusieurs tonalités de gris (grey level co-occurrence matrice (GLCM) (Haralick, 1979)), ensuite appliquer une seconde couche permettant d'obtenir des données sur les interrelations spatiales de la matrice. La figure 6 montre par exemple l'effet du paramètre IDM (Inverse Difference Moment) mesurant l'homogénéité, chaque case étant le centre d'une fenêtre (dans ce cas-ci de 3X3 cases) pour laquelle l'IDM est calculé puis représenté selon un gradient de gris.

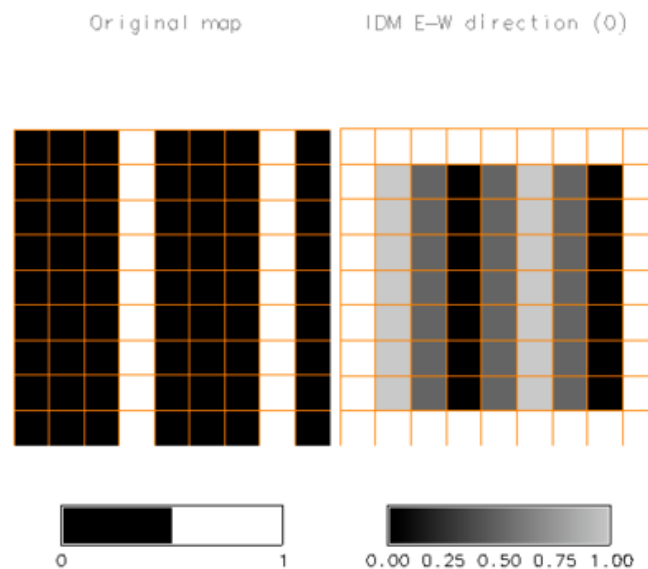


Fig. 6 : application de textures IDM.

L'ASM (Angular Second Moment) est l'un des paramètres GLCM les plus utilisés (Pantic et al., 2013), permettant de mesurer l'homogénéité d'une image (Haralick et al., 1973), autrement

dit à l'opposé de l'entropie. Ses valeurs augmentent lorsque les cases de la fenêtre mobile présentent une texture similaire. L'un des avantages de l'ASM est de toujours donner des valeurs entre 0 et 1, ce qui le rend plus facile à représenter dans des graphiques et analyses statistiques.

Les images ont été traitées via le logiciel « *QGIS with GRASS* » comme présenté à la figure 7 afin de pouvoir représenter l'évolution de la biomasse et l'hétérogénéité du pâturage. Les images multispectrales ont été traitées selon la formule du NDVI citée plus haut (Raster calculator NDVI) pour ensuite être découpées selon le contour des parcelles, en excluant les zones corrompues (abris, abreuvoirs, grilles couchées au sol). Une partie a été traitée en gardant séparés les rendus avant et après pâturage, pour celle-là un gradient de couleur a été ajouté (Symbologie) permettant de représenter les différentes valeurs de NDVI sur les parcelles avant et après pâturage (figure 17). Les données ont ensuite été traitées au travers d'une grille de résolution 0.1 m<sup>2</sup> permettant de calculer les moyennes et écarts-type de chaque parcelle sur base des valeurs moyennes de NDVI retenues dans chaque cases (figure 18). Une autre partie, suivant l'arbre le plus à droite, a été traitée en créant une grille de cases de 2 m<sup>2</sup> et en calculant la différence entre le NDVI avant et après le pâturage (Raster calculator : (PP-AP)). Le résultat après avoir ajouté un gradient de couleur est visible à la figure 19. La suite des opérations (r.recode et r.texture) permet de représenter l'ASM (pour des fenêtres de 3x3 cases) en figure 20 et d'en mesurer les valeurs (figure 21).



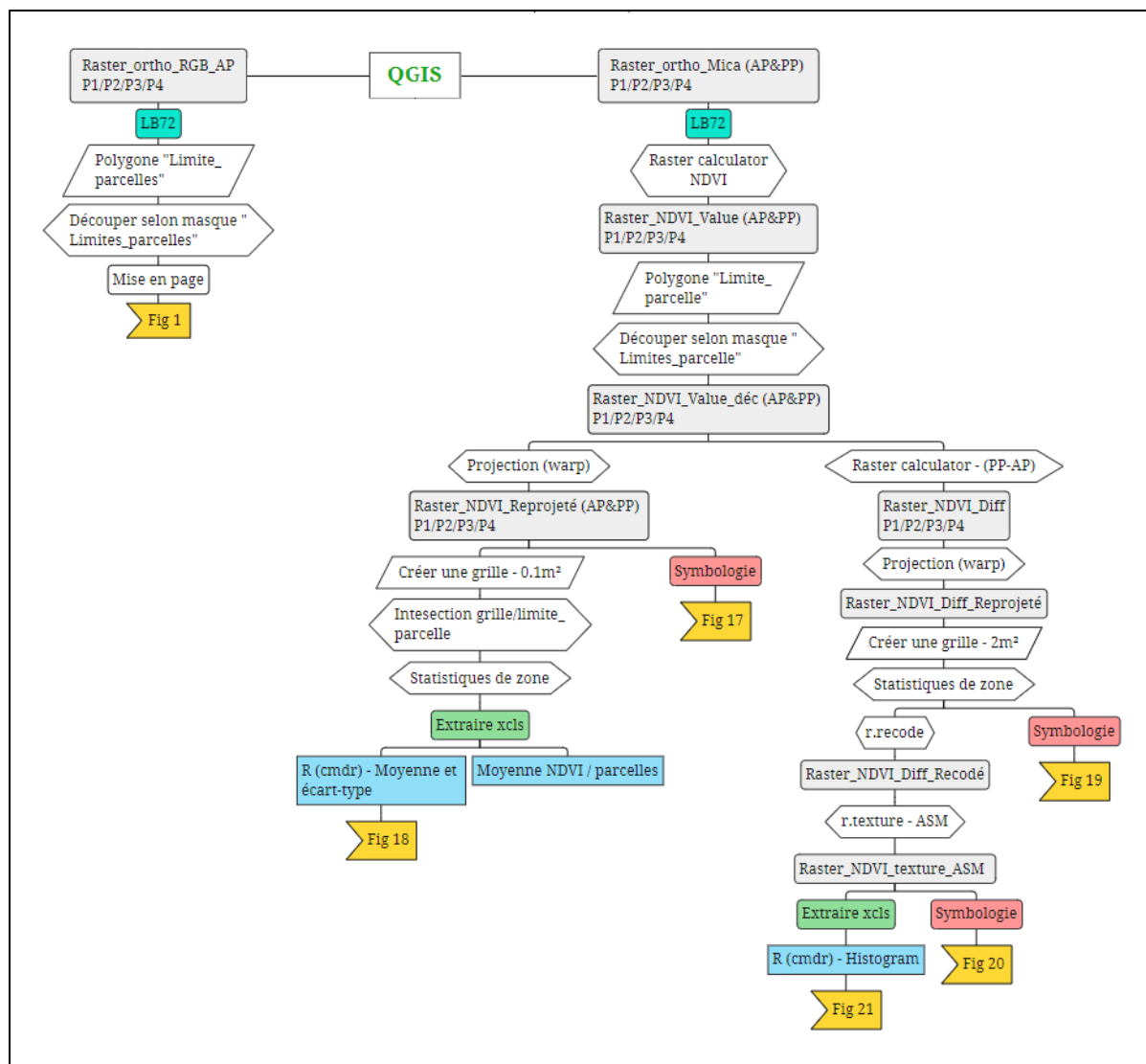


Fig. 7 : Logigramme des opérations effectuées sur le logiciel QGIS with GRASS.

### 4.3. Suivi du pâturage

Les observations ont eu lieu sur des brebis de race croisée Texel français, d'âge moyen de quatre ans et de poids individuels 70, 72 et 73kg en début d'expérimentation, n'ayant pas été tondu.

Les brebis ont été placées sur quatre parcelles successivement, nommées parcelle 1, 2, 3, 4 dans l'ordre chronologique, pour des durées de 7 jours sur un total de 28 jours entre le 2 et le 30 mars 2021. L'ordre des parcelles a été déterminé par la biomasse de manière décroissante, la première servant de période d'adaptation des brebis au terrain, et de familiarisation avec l'observateur (Bonnet et al., 2015; Meuret & Provenza, 2015). Cette période a permis à l'observateur de mettre en place sa grille d'observation. Les trois parcelles suivantes ont servi pour des périodes d'observation continues.

Le nombre de brebis à placer sur les parcelles devait être calculé pour qu'ils puissent rester sept jours sur la parcelle sans manquer de nourriture ni laisser trop de résidus derrière eux. Dès lors, trois individus ont été placés sur la première parcelle. Les trois mêmes individus ont été réutilisés pour l'ensemble des parcelles sans en ajouter ni retirer afin de garder ce paramètre homogène.

Concernant les périodes d'observation, pour les trois parcelles observées, trois jours d'observation ont été déterminés, chacun découpé en trois périodes "matin" "midi" et "après midi" (9h-11h; 11h-13h; 13h-15h), pour chaque période, chaque individu est observé sur une période de 10 minutes en continu et ses bouchées sont enregistrées selon une grille d'observation (Chebli et al., 2020) (Tableau 1). Le processus est répété sur les trois brebis aussi longtemps que nécessaire.

**Tableau 1 : Grille d'observation des espèces prélevées par les brebis.**

<i>Type</i>	<i>Nom commun</i>	<i>Nom scientifique</i>	<i>Nombre de bouchées</i>
<b><i>Couvert</i></b>	Avoine cultivée	<i>Avena sativa</i>	
<b><i>Couvert</i></b>	Phacélie à feuilles de tanaïs	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	
<b><i>Couvert</i></b>	Trèfle incarnat	<i>Trifolium incarnatum</i>	
<b><i>Couvert</i></b>	Trèfle d'Alexandrie	<i>Trifolium alexandrinum</i>	
<b><i>Adventice</i></b>	Graminées adventices		
<b><i>Adventice</i></b>	Dicotylédones adventices		

#### ***4.4. Traitement des données, calculs et analyse statistique***

##### ***4.4.1. Diagramme d'infestation***

Dans le but d'effectuer une analyse floristique quantitative, quatre diagrammes d'infestation reprenant les populations d'adventices relevées aux temps T et T+1 ont été réalisés selon la méthode présentée dans les travaux de Karkour et Mohammed (2016) et Lebreton et Le Bourgeois (2005). Ces diagrammes représentent la fréquence relative en abscisse et l'abondance relative en ordonnée.

La fréquence relative (Fr) correspond au rapport de la fréquence absolue de présence de chaque espèce végétale (Fa) au nombre total (Nr) de relevés effectués. Elle se traduit par l'expression suivante :  $Fr = Fa / Nr$  et est exprimée en pourcentage dans les graphiques :  $Fr (\%) = 100. Fa / Nr$ .

L'indice d'abondance (Ab) utilisé est un indice d'abondance relatif calculé par rapport au nombre de relevés dans lesquels l'espèce est présente. Cet indice se mesure en calculant le rapport du nombre d'individus relevé de chaque espèce ( $N_{ind}$ ) au nombre total ( $N_{tot}$ ). Elle se traduit par l'expression suivante :  $Ab = N_{ind} / N_{tot}$  et est exprimée en pourcentage dans les graphiques :  $Ab (\%) = 100 \cdot N_{ind} / N_{tot}$ . Le choix d'utiliser un indice d'abondance relative est justifié par le fait que l'objectif est d'observer les adventices qui prennent le dessus dans la communauté présente en situation « neutre » et en situation avec ICLS.

Quatre graphiques d'infestation ont été réalisés : deux pour les parcelles sans ICLS (pratiques « Vegan », « Ref », « Phyto » - 60 relevés) pour les temps T et T+1, et deux pour les parcelles avec ICLS (pratique « Agro » - 20 relevés) pour les temps T et T+1. Différents groupes d'espèces ont été déterminés, de manière à rendre les graphiques plus facilement interprétables. Ces groupes sont inspirés du travail de Karkour et Mohammed (2014).

Ces graphiques sont suivis d'un graphique à barres empilées qui affiche le nombre total de chaque espèce d'adventices présente sur l'ensemble des 60 relevés sans ICLS en T et T+1, et le nombre total de chaque espèce d'adventices présente sur l'ensemble des 20 relevés en ICLS en T et T+1, multiplié par 3 pour rendre l'information plus comparable.

#### 4.4.2. nMDS

Afin de mieux réaliser l'influence des blocs et des différentes pratiques sur l'évolution des communautés végétales, une analyse nMDS (non-metric MultiDimensional Scaling) a été effectuée. La nMDS est un type d'analyse multivariée parmi les plus indiquées pour l'ordination des relevés floristiques (Glele Kakaï et al., 2016). La variable environnementale utilisée dans ce calcul est l'abondance de chaque espèce végétale au sein des deux séries de 80 relevés effectués aux temps T et T+1. Il a été choisi d'utiliser directement les valeurs d'abondance et non pas de les ajuster selon un indice afin de conserver une information la plus fidèle possible aux relevés.

La nMDS a été lancée sur le logiciel R selon la matrice de similarité de Bray-Curtis (Pitz et al., 2018) via le package « vegan ».

Les facteurs environnementaux étudiés pour les espèces végétales relevées sont les suivants :

- ICLS ou non (Variable binaire : 0;1)
- Blocs d'expérimentation
- Type d'agriculture (« Agro », « Phyto », « Ref » et « Vegan »)

Ces facteurs sont enregistrés dans une matrice « ENV » à part. La fonction « envfit » du package « vegan » a ensuite permis de trouver les corrélations entre les facteurs et les dimensions NMDS 1 et NMDS2 obtenues. Cette fonction adapte les facteurs environnementaux (enregistrés dans ENV) à l'ordination créée par la nMDS, ce qui permet d'appliquer la fonction « fit », qui mesure la corrélation entre le facteur et les deux axes. Avec cette corrélation, on obtient une P value (Pr) qui indique si chaque facteur peut être considéré significatif. Deux nMDS séparées ont été réalisées pour mesurer les Pr de chaque facteur avant et après la période d'observation.

Les projections de points sur les vecteurs nMDS 1 et nMDS 2, réalisés avec le package « ggplot2 », ont une corrélation maximale avec les variables environnementales (abondance des espèces pour chaque relevés) correspondantes.

#### 4.4.3. Graphe de sélection

Un graphe de sélection a été réalisé (Chebli et al., 2020), avec pour abscisse le pourcentage de disponibilité en matière sèche de chaque groupe de végétaux dans la zone pâturée (kg MS/Total) et en ordonnée le pourcentage de sélection par les brebis (nombre de bouchées sélectionnant une plante du groupe par rapport au total de bouchées de la période d'observation). Les moyennes par groupe par parcelle ont été mesurées, permettant d'afficher des barres d'erreurs standards calculées par la fonction « STDEV » du logiciel Excel.

Le graphe est suivi d'un tableau de l'indice de sélectivité d'Ivlev (SI) (Chebli et al., 2020). Couramment utilisé pour comparer les habitudes alimentaires des animaux aux aliments disponibles. La formule permettant de mesurer cette relation est la suivante :

$$SI = \frac{r_i - p_i}{r_i + p_i}$$

Avec  $r_i$  étant la proportion de la plante i dans le régime, et  $p_i$  étant la proportion de disponibilité de la plante i dans la zone pâturée. L'indice a une valeur comprise entre -1 et 1, une valeur

positive signifie que la plante a tendance à être sélectionnée préférentiellement et une valeur négative signifie qu'elle a tendance à être rejetée.

#### 4.4.4. Matrice de corrélation

Une matrice de corrélation a été réalisée sur le logiciel Excel afin de comparer les différents outils de mesure utilisés pour mesurer la biomasse et le recouvrement végétal des CIPAN.

Pour chaque parcelle, aux temps T et T+1 (huit entrées au total) les quatre paramètres encodés dans la matrice sont les suivants :

-Kg MS : mesure de la biomasse par la moyenne de la matière sèche (g) des 5 relevés (0.25 m<sup>2</sup>) effectués sur la parcelle avant et après pâturage, multipliée par 8 pour obtenir une valeur en kg MS/ha.

-RPM : mesure de la biomasse par la moyenne des valeurs de RPM pour les 30 relevés effectués avant et après pâturage, traitée selon la formule obtenue lors du calibrage (Annexe 3) :

$$\text{Kg MS/ha} = 118,94 \cdot \text{RPM} + 826,56$$

-NDVI : mesure de l'indice NDVI moyen sur l'ensemble de la parcelle, mesurée via QGIS comme expliqué sur le logigramme (fig. 8).

-Couvert : mesure du recouvrement de la parcelle par la moyenne des recouvrements mesurés sur les cinq relevés, par la méthode de point-fréquence.

## 5. Résultats

### 5.1. Impact du pâturage sur l'évolution de la flore adventice

#### 5.1.1. Composition de la flore et diagrammes d'infestation

Les deux séries de relevés d'adventices ont permis de recenser 29 espèces d'adventices. 15 espèces au temps T et 18 au temps T+1 sur l'ensemble des 20 parcelles ICLS, et 22 au temps T et 21 au temps T+1 sur l'ensemble des 60 parcelles témoins. Ces espèces appartiennent à 14 familles végétales différentes (Voir tableau 2).

**Tableau 2 : Liste des espèces répertoriées au cours des relevés successifs.**

Famille	Nom scientifique	Nom vernaculaire	Non-ICLS T	Non-ICLS T+1	ICLS T	ICLS T+1
Astéracées	<i>Cirsium arvense</i>	Chardon des champs	I			I
	<i>Sonchus asper</i>	Laiteron rudes	I	I	II	I
	<i>Lapsana communis</i>	Lampsane commune	I	I	I	
	<i>Matricaria chamomilla</i> var. <i>recutita</i>	Matricaire camomille	II	II	I	I
	<i>Taraxacum officinale</i>	Pissenlit officinal		I		
	<i>Senecio vulgaris</i>	Séneçon vulgaire				I
Brassicacées	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Capselle bourse à pasteur	I	I	I	
	<i>Sinapis arvensis</i>	Moutarde des champs	I	I		I
	<i>Thlaspi arvense</i>	Tabouret des champs	I	I		I
Caryophyllacées	<i>Stellaria media</i>	Mouron des oiseaux	I	I	I	I
Euphorbiacées	<i>Mercurialis annua</i>	Mercuriale annuelle	I		I	
Génariacées	<i>Geranium molle</i>	Géranium mou		I		I
Lamiacées	<i>Lamium amplexicaule</i>	Lamier amplexicaule	I	I	I	
	<i>Lamium purpureum</i>	Lamier pourpre	I	I		I
Papavéracées	<i>Fumaria officinalis</i>	Fumeterre officinale			I	
	<i>Papaver rhoeas</i>	Coquelicot	VI	VI	VI	VI
Polygonacées	<i>Polygonum aviculare</i>	Renouée des oiseaux	I	I		
Rosacées	<i>Aphanes arvensis</i>	Alchémie des champs	I			
Rubiacées	<i>Galium aparine</i>	Gaillet gratteron		I		
Scrophulariacées	<i>Veronica hederifolia</i>	Véronique à feuilles de lierre	I	II	I	I
	<i>Veronica persica</i>	Véronique de perse	I	I	I	I
	<i>Veronica avensis</i>	Véronique des champs	I		I	
Valérianacées	<i>Valerianella locusta</i>	Valériane potagère				I
Violacées	<i>Viola arvensis</i>	Pensée des champs	III	III	II	V
Poacées	<i>Aspera spica-venti</i>	Agrostis jouet du vent	II	V	III	I
	<i>Elytrigia repens</i>	Chiendent rampant	VI	VI	VI	VI
	<i>Holcus mollis</i>	Houlque molle	I			
	<i>Poa annua</i>	Pâturin annuel		I		I
	<i>Alopecurus myosuroides</i>	Vulpin des champs	I	III		III

Les groupes des dernières colonnes correspondent aux niveaux d'infestation suivants : I = Espèces à infestation modérée ; II = Espèces à infestation moyenne ; III = Espèces générales ; IV = Espèces à infestation localisée ; V = Espèces à infestation élevée ; VI = Espèces à infestation très élevée.

Les informations contenues dans les diagrammes d'infestation des figures 8 à 11 permettent de constater, marquée par une fréquence relative de 100% dans tous les graphiques, une infestation très marquée de coquelicot (*Papaver rhoeas*) qui diminue entre décembre et fin mars : son abondance relative passe de 57 à 47% sur les parcelles sans ICLS, et de 52% à 43% sur les parcelles avec ICLS. Il reste néanmoins dominant. En seconde position, le chiendent rampant (*Elytrigia repens*) marque une légère augmentation d'abondance relative dans les deux pratiques, avec une infestation plus importante dans les parcelles « ICLS ». À elles seules ces deux espèces représentent 85% de l'abondance relative au temps T et 79% au temps T+1, en prenant en compte l'ensemble des relevés, toutes pratiques confondues.

**Groupe I :** Espèces à infestation modérée ( $F < 25\%$  ; abondance  $< 5\%$ ). Ce groupe rassemble les espèces ne représentant pas de gêne pour la culture. Sur les 17 espèces présentes dans ce groupe au temps T en non-ICLS, 5 ne sont plus présentes au T+1, 4 nouvelles sont apparues, 1 a progressé vers le groupe II (*Veronica hederifolia*) et 1 a progressé vers le groupe III (*Alopecurus myosuroides*). Sur les 10 espèces présentes dans ce groupe au temps T en ICLS, 6 ne sont plus présentes au T+1 et 10 nouvelles sont apparues, dont 2 espèces issues de groupes d'infestation plus élevés (*Sonchus asper* et *Aspera spica-venti*).

**Groupe II :** Espèces à infestation moyenne ( $25\% < F < 50\%$  ; abondance  $< 5\%$ ). Ce groupe rassemble les espèces à fréquence moyenne et peu abondantes. Sur les deux espèces présentes dans ce groupe en non-ICLS au temps T (*Aspera spica-venti*, *Matricaria chamomilla* var. *recutita*), l'agrostis voit son abondance relative augmenter lors du passage à T+1, tandis qu'en ICLS seule *Viola Arvensis* est présente dans ce groupe, et son abondance relative augmente lors du passage à T+1.

**Groupe III :** Espèces générales ( $F > 50\%$  ; abondance  $< 5\%$ ). Ces espèces accompagnent les espèces à infestation très élevée, tout en ayant une abondance relative faible. La composition de ce groupe diffère entre les parcelles en ICLS et sans ICLS, avec une apparition d'une nouvelle espèce pour les parcelles sans ICLS (*Alopecurus myosuroides*). Tandis que dans les parcelles en ICLS, il y a toujours une seule espèce, monocotylédone, dans ce groupe, qui est différente aux temps T (*Aspera spica-venti*) et T+1 (*Alopecurus myosuroides*).

**Groupe IV :** Espèces à infestation localisée ( $25\% < F < 50\%$  ; abondance  $< 5\%$ ). Ces espèces sont présentes dans peu de relevés, mais de manière plus dense. Ce groupe n'est composé que de *Sonchus asper* dans les parcelles en ICLS au temps T.

**Groupe V :** Espèces à infestation élevée ( $25\% < F < 50\%$  ; abondance  $> 5\%$ ). Ce groupe n'est composé que d'une monocotylédone (*Aspera spica-venti*) dont l'abondance relative a augmenté au T+1 pour les parcelles sans ICLS. Dans les parcelles en ICLS, c'est une dicotylédone qui a suivi la même évolution (*Viola arvensis*).

**Groupe VI :** Espèces à infestation très élevée ( $F > 50\%$  ; abondance  $> 5\%$ ). Constitué d'une monocotylédone (*Elytrigia repens*) et d'une dicotylédone (*Papaver rhoeas*), leur fréquence relative dépasse les 95% pour les deux pratiques et aux deux périodes.



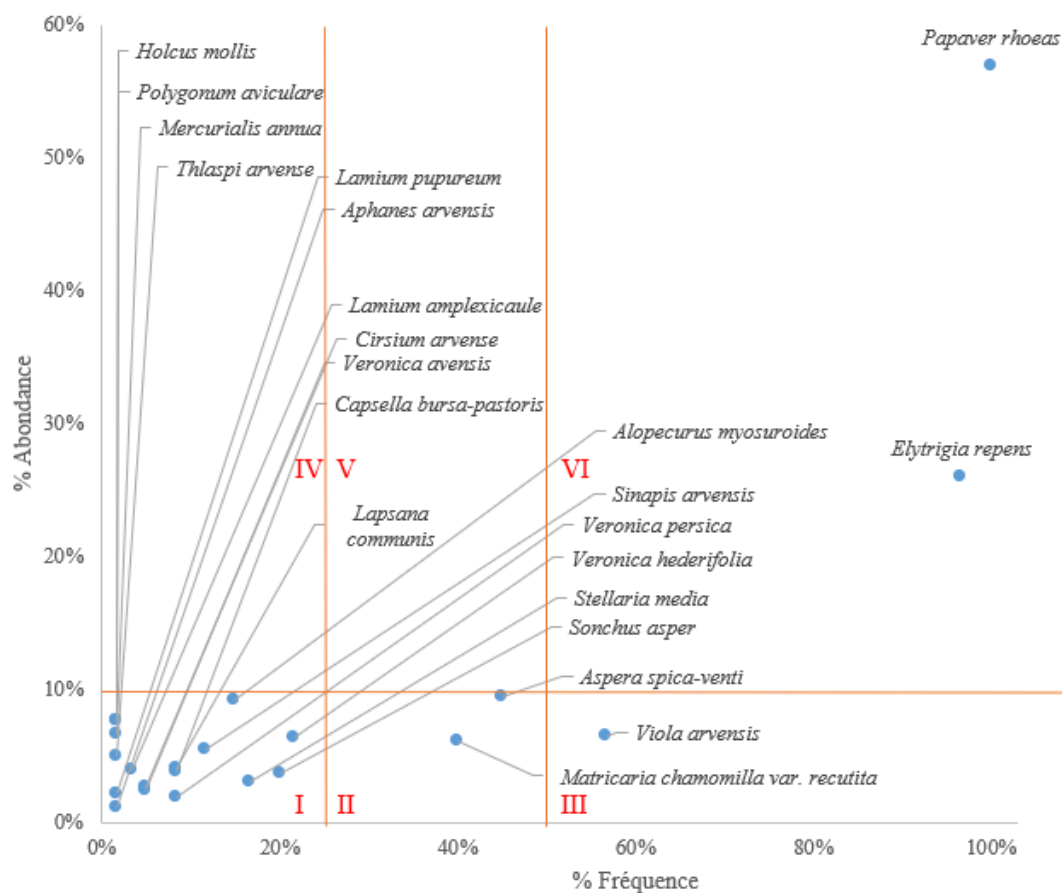


Fig. 8 : Diagramme d'infestation des adventices présentes au temps T sur les 12 parcelles sans ICLS (60 relevés).

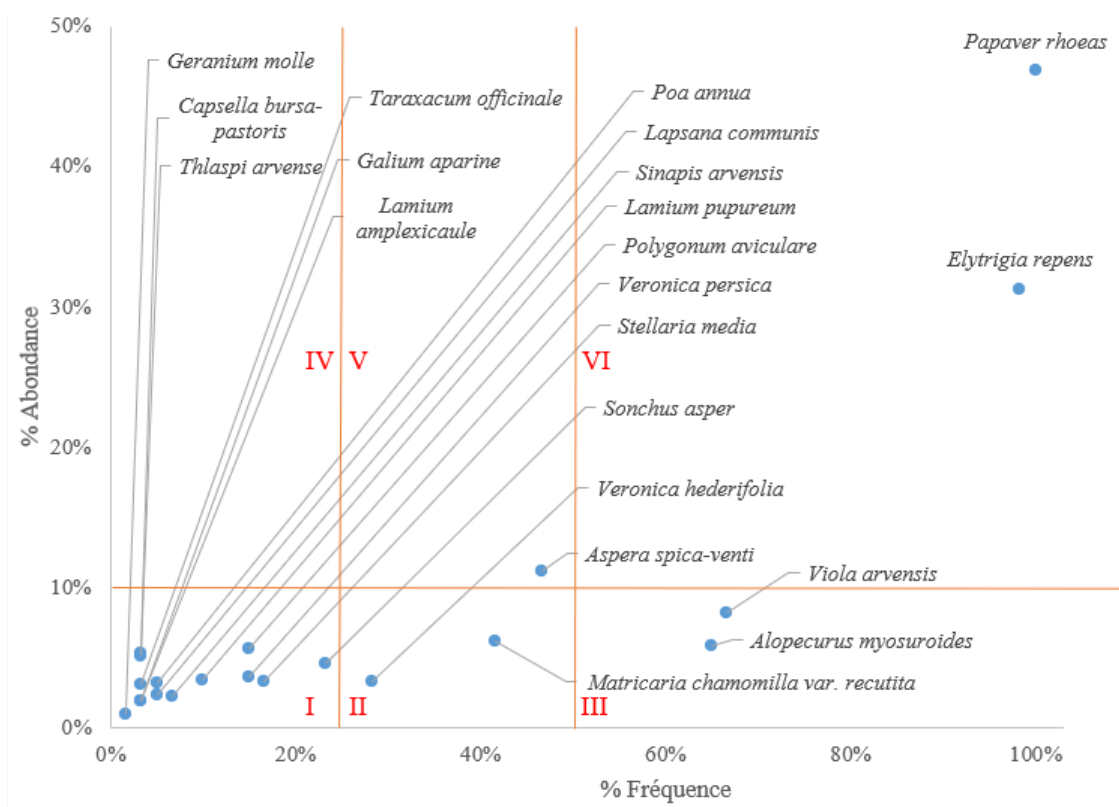


Fig. 9 : Diagramme d'infestation des adventices présentes au temps T+1 sur les 12 parcelles sans ICLS (60 relevés).

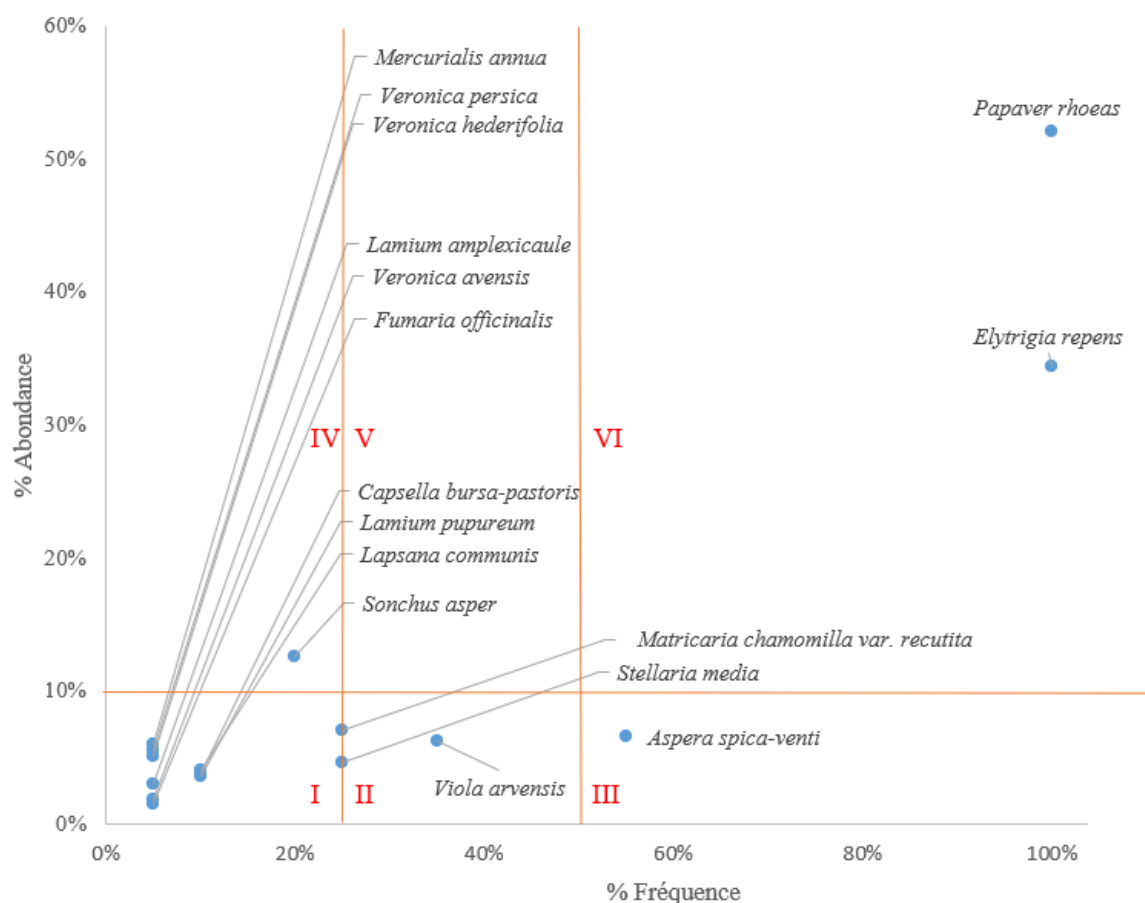


Fig. 10 : Diagramme d'infestation des adventices présentes au temps T sur les 4 parcelles en ICLS (20 relevés).

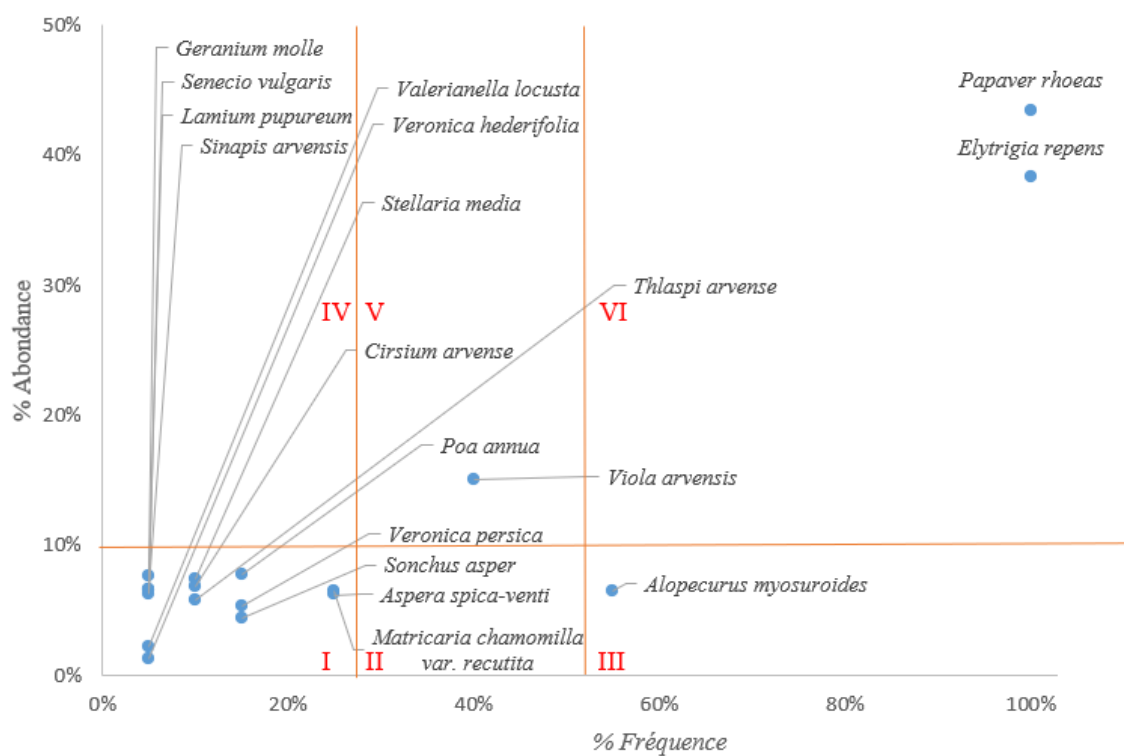


Fig. 11 : Diagramme d'infestation des adventices présentes au temps T+1 sur les 4 parcelles en ICLS (20 relevés).

L'évolution générale du nombre d'adventices présentes sur chaque parcelle est représentée sur la figure 12. L'abondance d'adventice sur les parcelles en ICLS au temps T était moins élevée comparativement aux parcelles sans ICLS. Le nombre d'échantillons moins élevé donne également une diversité d'espèces moins élevée pour les parcelles en ICLS. Les observations montrent ensuite que l'abondance totale d'adventice augmente dans les deux cas, de manière plus importante pour les parcelles en ICLS. Cette évolution est causée par une diminution de l'abondance de *Papaver rhoeas* sur les parcelles sans ICLS tandis qu'elle augmente sur les parcelles avec ICLS. Les graminées augmentent également dans les deux cas de manière similaire, à l'exception de l'espèce *Aspera spica-venti* qui diminue en abondance sur les parcelles en ICLS entre T et T+1. Les autres dicotylédones, avec en tête *Viola arvensis* et *Matricaria chamomilla* var. *recutita*, suivent également une évolution comparable entre les pratiques, à l'exception d'une diminution marquée de *Sonchus asper* entre T et T+1 pour les parcelles en ICLS.



Fig. 12 : Inventaire du nombre adventices présentes sur l'ensemble des relevés aux temps T et T+1 sur les parcelles sans ICLS (60 relevés) les 4 parcelles en ICLS (20 relevés) les données pour les parcelles en ICLS ont été multipliées par 3 pour les rendre comparables.

### 5.1.2. Two dimensions Nonmetric Multidimensional Scaling (nMDS)

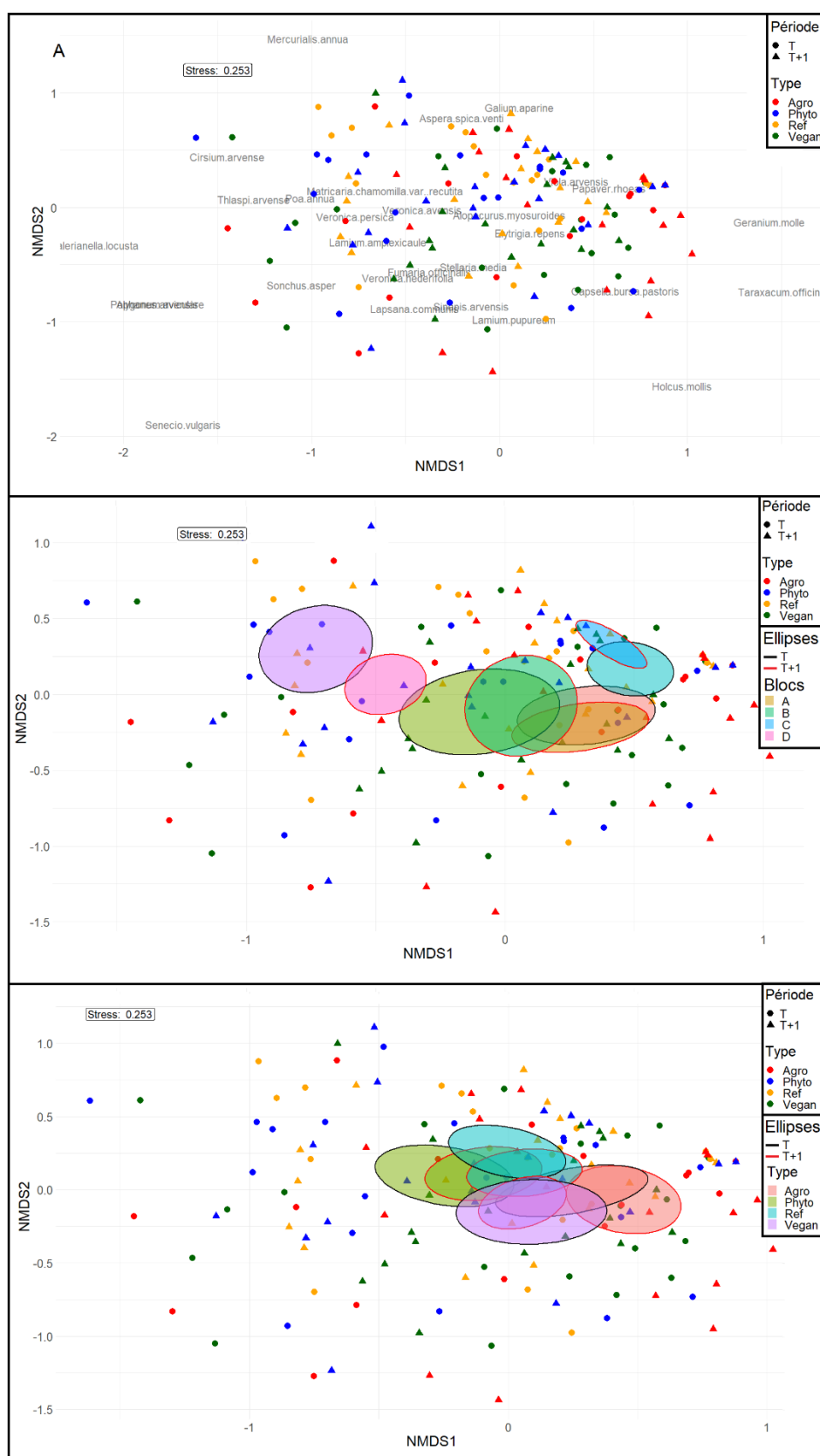


Fig. 13 : Diagramme nMDS des assemblages de plantes par relevés (n = 80) aux périodes T et T+1. **A** Les espèces présentes lors des relevés sont représentées. **B** Les ellipses représentent les populations présentes sur les différents BLOCS. **C** Les ellipses représentent les types d'agriculture. Le level des ellipses est de 0.1.

Le résultat de l'analyse nMDS (Figure 13) montre une hétérogénéité plus marquée entre les blocs de cultures qu'entre les différentes pratiques agricoles. Le tableau 3 indique que les différents blocs expérimentaux ont un impact significatif sur les communautés végétales aux temps T et T+1.

Le coefficient de stress doit obligatoirement être inférieur à 3 et idéalement inférieur à 2 est de 2.53, ce qui est donc suffisant mais pas optimal. Ce coefficient peut être défini comme une valeur représentant la différence entre les distances représentées dans la dimension réduite (ici, l'ordination en deux dimensions) par rapport à celles représentées dans l'espace multidimensionnel complet. Plus le coefficient est faible, plus la différence l'est également.

Les ellipses permettent de représenter les tendance en terme de présence d'espèces d'adventices (représentées à la figure 16A) d'ensembles de relevés (groupés par blocs expérimentaux à la figure 16B et par types d'agriculture à la figure 16C, les deux groupes donnant huit ellipses représentant chacune 20 relevés). Ces ellipses sont limitées à un « level » (paramètre qui règle la taille) de 0.1 pour empêcher un chevauchement rendant illisibles les résultats, l'ensemble des relevés est en réalité très centré sur les 2 espèces dominantes sur l'ensemble des relevés. L'ellipse « Agro » au temps T+1 est la seule à ne pas chevaucher les autres, ce qui indique une désolidarisation induite par le pâturage qui est confirmé par l'évolution de la Pr (Tableau 3) : la différence entre les parcelles « Agro » en ICLS et les 3 autres est beaucoup plus marquée au temps T+1 qu'au temps T, ce qui influence également la Pr liée aux pratiques comparées entre elles.

**Tableau 3 : Calcul du niveau de significativité de chaque facteur environnemental pour deux nMDS (T et T+1).**

	<b>T</b>	<b>T+1</b>
Facteur	Pr(>r)	Pr(>r)
ICLS	0.054	0.001 ***
Bloc	0.001 ***	0.001 ***
Type	0.157	0.043 *
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**'		
0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1		

Le Pr indique à quel point chaque facteur environnemental est corrélé à la disposition des points le long des vecteurs nMDS 1 et nMDS 2 dans l'ordination

## 5.2. Comportement des brebis vis-à-vis du CIPAN, sélection et rejet

L'évolution des différents groupes végétaux entre les parcelles est présentée dans la figure 14. Chaque relevé de parcelle ayant été effectué à une semaine d'intervalle, on peut observer certaines tendances évolutives. Les trèfles d'Alexandrie (*Trifolium alexandrinum*) et les trèfles incarnats (*Trifolium incarnatum*) voient leur disponibilité augmenter de manière marquée entre les parcelles et la sélection par les brebis suit cette tendance de manière presque proportionnelle. A l'inverse, l'avoine (*Avena sativa*) et les graminées adventices diminuent en disponibilité et en pourcentage de sélection entre la P2 et la P4. La chute de l'attrait pour l'avoine est causée par le froid qui diminue l'appétence des brebis à son égard.

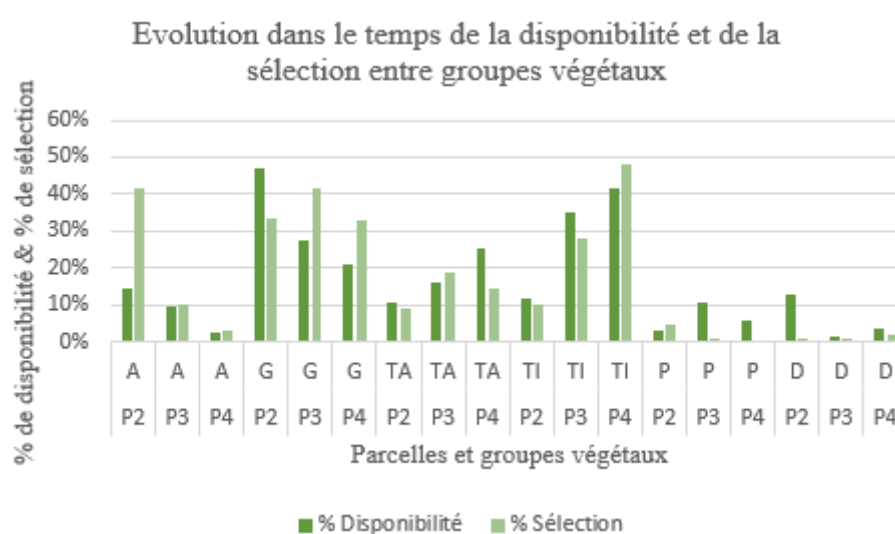


Fig. 14 : Histogramme de l'évolution de la disponibilité et de la sélection par les brebis des différents groupes végétaux précédemment établis sur les 3 parcelles observées. (A = *Avena sativa* ; P = *Phacelia tanacetifolia* ; TI = *Trifolium incarnatum* ; TA = *Trifolium alexandrinum* ; G = Graminées adventices ; D = Dicotylédones adventices)

Les surfaces étudiées étaient donc couvertes d'une végétation hétérogène composées de deux groupes distincts d'espèces végétales : graminées (*Avena sativa* et les espèces adventices *Elytrigia repens*, *Aspera spica-venti*, *Alopecurus myosuroides* et *Poa annua*) et trèfles (*Trifolium incarnatum* et *Trifolium alexandrinum*). Les comportements de prises de bouchées des brebis sont représentés sur la figure 15 qui démontre un comportement de sélection/rejet peu marqué, avec une sélection légèrement préférentielle des graminées en général et un rejet des groupes « *Phacelia tanacetifolia* » et « dicotylédones adventices ». On remarque que les barres d'erreur standard sont très importantes pour « *Avena sativa* » et « *Trifolium incarnatum* », ce qui s'explique par les évolutions importantes des disponibilités et sélections attribuées à ces deux groupes, qui sont affichées à la figure 14. Le coefficient d'Ivlev, calculé dans le tableau 4 permet de quantifier la sélection des groupes végétaux par les brebis et donne

des valeurs supérieures à 0.2 pour les groupes « Graminées adventices » et « *Avena sativa* » et inférieures à -0.6 pour « *Phacelia tanacetifolia* » et dicotylédones adventices.

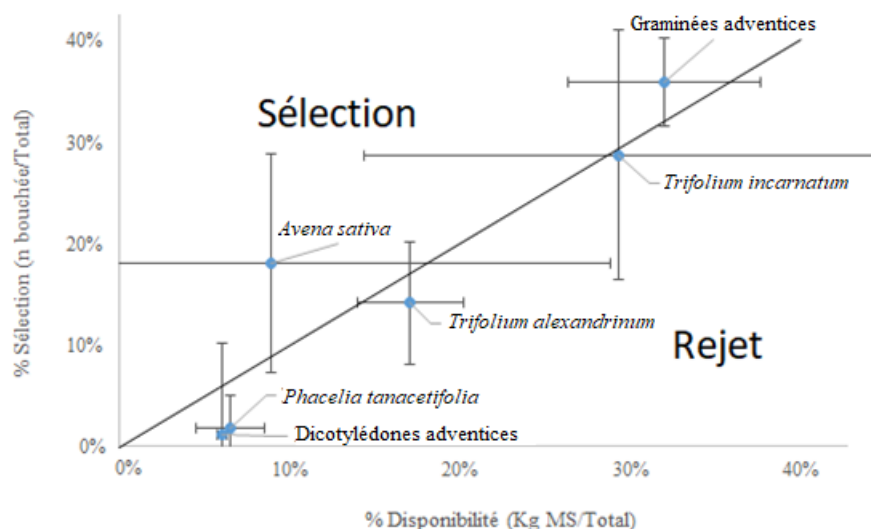


Fig. 15 : Sélection et rejet des groupes d'espèces végétales consommées par le pâturage de brebis sur les parcelles 2 à 4, avec barres d'erreurs standard entre le 9 et le 30 mars 2021.

**Tableau 4 :** Tableau des indices de sélection d'Ivlev pour les différents groupes végétaux.

Groupe	SI
Graminées adventice	0,24
<i>Avena sativa</i>	0,21
<i>Trifolium incarnatum</i>	-0,02
<i>Trifolium alexandrinum</i>	-0,19
<i>Phacelia tanacetifolia</i>	-0,60
Dicotylédones adventices	-0,79

L'indice de sélection d'Ivlev est mesuré selon la disponibilité et l'importance dans le régime de chaque plante (dans le cas présent il s'agit de groupes de plantes), plus la valeur est élevée plus le groupe est activement choisi par l'animal lorsqu'il se nourrit et inversement

### 5.3. Impact du pâturage sur l'état des couverts

#### 5.3.1. Comparaison des résultats obtenus via les différents instruments de mesure

La matrice de corrélations du tableau 5 indique des corrélations faibles entre les différents indicateurs de biomasse (kg MS, RPM et NDVI), systématiquement inférieurs à 0.5. Le plus marquant étant le lien entre le NDVI et les relevés de MS, qui est supposé donner une information très corrélée, qui obtient une valeur anormalement basse de 0.03. Les hauts résultats de corrélation obtenus pour la RPM sont peu révélateurs étant donné que le calibrage de cette dernière n'avait pas été convainquant. Il y a une corrélation logique entre le taux de couverture du sol et la MS.

**Tableau 5 : Matrice de corrélation entre différents outils de mesure de la biomasse et du couvert utilisés sur les parcelles 1 à 4.**

	Kg MS	RPM	NDVI	Couvert
Kg MS	1			
RPM	0,49	1		
NDVI	0,03	0,48	1	
Couvert	0,61	0,84	0,34	1

Kg MS : biomasse moyenne par ha sur base des relevés ; RPM : biomasse moyenne par ha sur base des 30 relevés RPM/parcelle, en appliquant la formule obtenue au calibrage ; NDVI : valeur moyenne du NDVI de chaque parcelle ; Couvert : recouvrement végétal moyen sur base des relevés.



Fig. 16 : Diminution de la biomasse, du nombre de plantes et de la couverture du sol entre AP et PP (Kg MS = Kg de MS par ha ; n = nombre de plantes par ha ; couvert = % moyen de taux de recouvrement végétal de la parcelle).

La figure 16 indique ce que les différentes méthodes de mesures ont permis d'obtenir comme données concernant l'évolution de la biomasse, du nombre de plantes et de la surface de couverture des sols sur les parcelles dès la fin de la semaine de pâturage. Aucun de ces résultats n'excède jamais les -40%. Les résultats de chaque parcelle affichent des tendances différentes, en particulier concernant la P2 qui est la seule à avoir une donnée positive, avec une plus grande abondance d'espèces lors des relevés post-pâturage qu'avant pâturage.



### 5.3.2. Diminution du couvert expliquée par la télédétection.

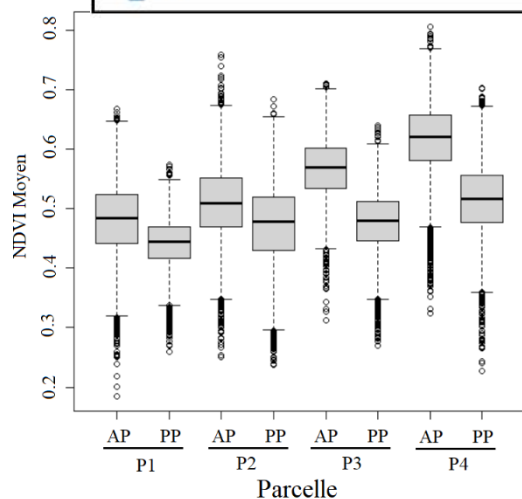
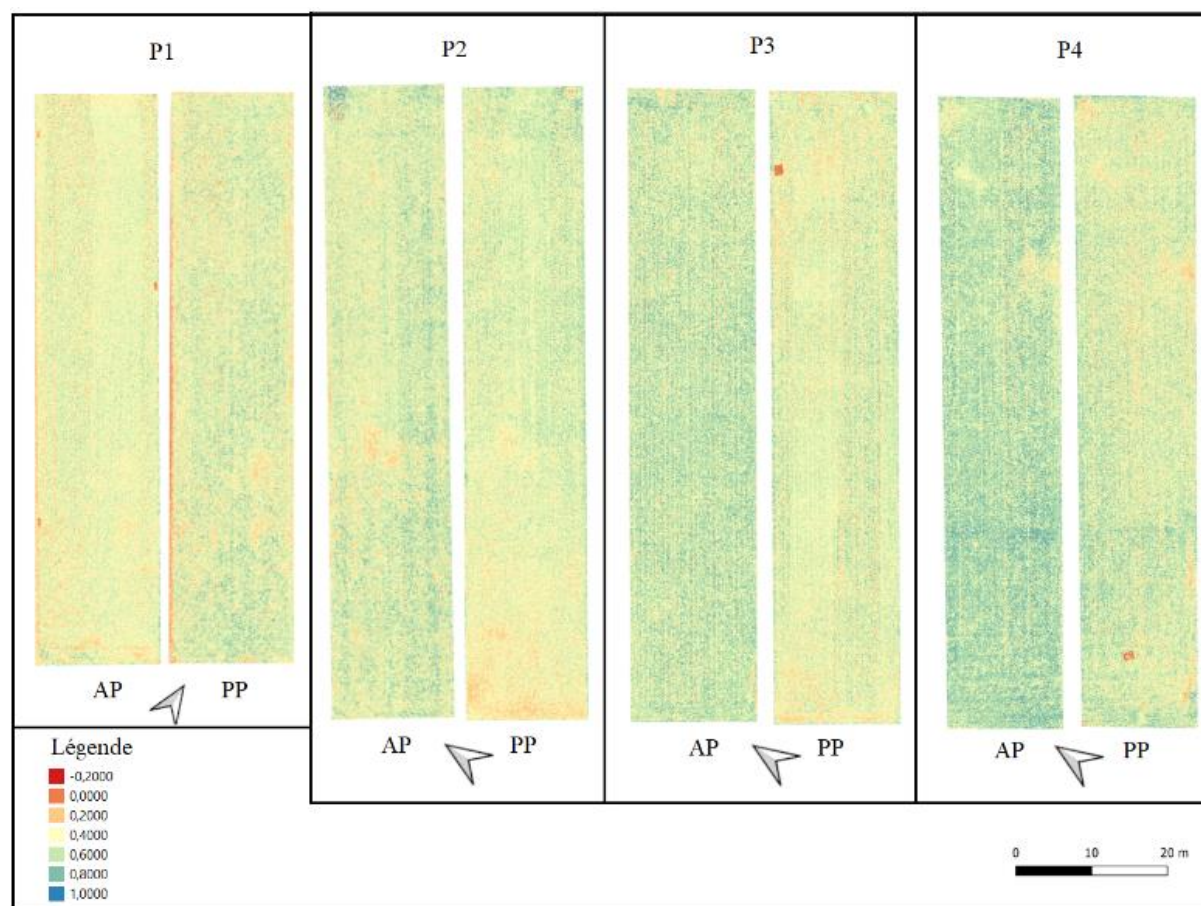


Fig. 18 : Evolution des valeurs de NDVI des parcelles 1 à 4

Fig. 17 : Représentation des valeurs de NDVI de la parcelle entre AP et PP en résolution 0.1 m².

Les images de télédétection présentées ci-dessus et ci-contre aux figures 17 et 18 indiquent des diminutions du NDVI comprises entre -6% et -16 ( $P3 \approx P4 > P1 \approx P2$ ). Ces représentations correspondent effectivement aux tendances générales observées sur le terrain durant le mois d'expérimentation, particulièrement pour les zones les plus touchées. Le NDVI avant pâturage augmente graduellement au fil des semaines tandis que le NDVI post-pâturage stagne aux alentours des mêmes valeurs. Il y a également des différences marquées dans l'homogénéité de l'impact du pâturage entre les différentes parcelles. On constate dans la figure 19 que sur la parcelle 2, le stationnement des brebis dans la partie sud-ouest de la parcelle est plus que marqué, les deux tiers de la parcelle les plus éloignés de ce point ayant même gagné en NDVI de part un manque de pâturage. Sur la parcelle 1, le NDVI a diminué avec une intensité assez faible mis à part dans la zone plus au sud, où se trouvaient l'abri et le matériel utilisé par

les techniciens, ce qui a pu avoir un impact sur la végétation. Les parcelles 3 et 4, qui présentaient les plus hautes valeurs de NDVI initiales et également celles pour lesquelles la diminution de NDVI est la plus marquée, présentent des diminutions du NDVI sur l'ensemble de leur surface, sans zone de repousse. Cependant la figure 20 indique que le pâturage reste très hétérogène grâce à des fenêtres de texture plus précise. La représentation des valeurs ASM aux figures 20 et 21 indiquent d'ailleurs une grande prédominance de fenêtres homogènes dans toute la partie centrale, correspondant pour chaque case à une diminution homogène du NDVI sur une fenêtre de 6x6 m<sup>2</sup>.

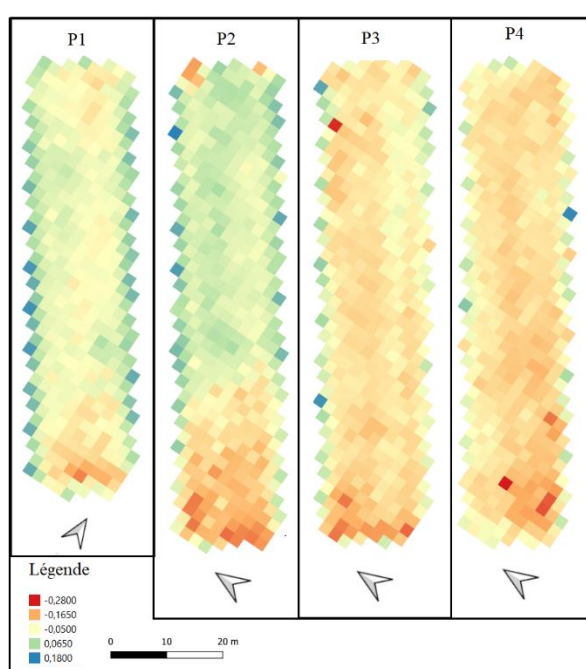


Fig. 19 : Représentation de l'évolution des valeurs de NDVI des parcelles entre les périodes AP et PP en résolution 2x2 m<sup>2</sup>. Plus les couleurs sont chaudes plus le NDVI a baissé. Les couleurs vertes et bleues indiquent une augmentation du NDVI.

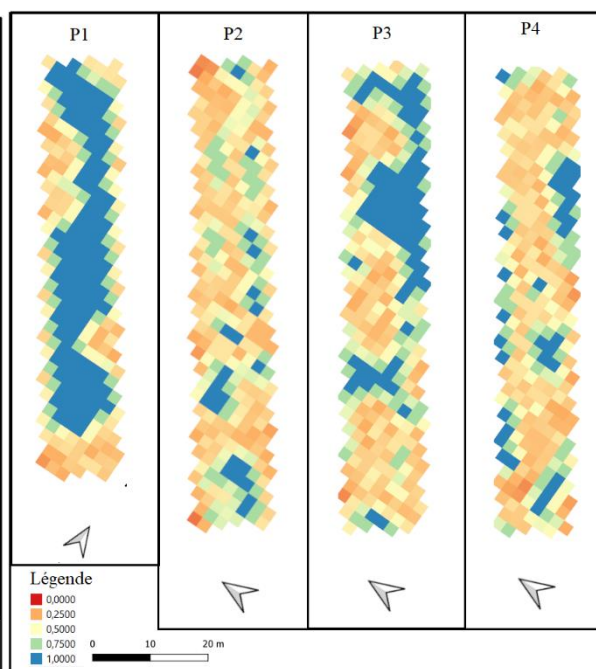


Fig. 20 : Représentation de l'homogénéité de la diminution du NDVI sur les parcelles entre les périodes AP et PP en résolution 2x2 m<sup>2</sup>. Le paramètre ASM a été utilisé avec des fenêtres de 3x3 cases. La couleur bleue indique une homogénéité totale au sein de la fenêtre, plus la couleur tend vers le rouge plus les cases au sein de la fenêtre ont des valeurs hétérogènes.

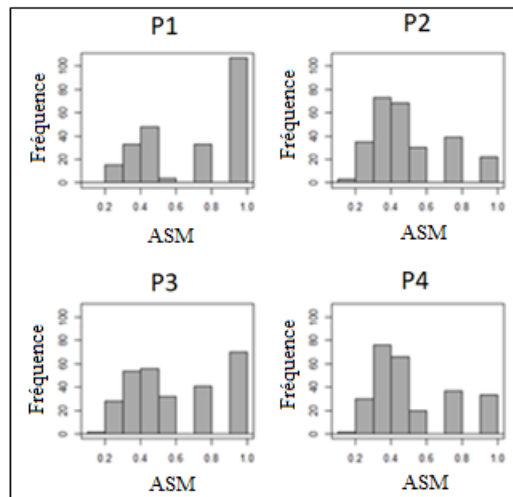


Fig. 21 : Histogramme des valeurs ASM représentées à la figure 20

## 6. Discussion

### 6.1. H1 : Différences d'abondance, de fréquence et de nuisibilité des adventices

L'analyse de la nMDS permet de confirmer l'hypothèse selon laquelle le pâturage a eu un effet significatif sur les communautés adventices présentes sur les parcelles, cependant ce dernier est limité. Les diagrammes d'infestations quant à eux permettent de constater que l'abondance marquée de *Papaver rhoeas* évolue de manière légèrement différente entre les temps T et T+1, avec une augmentation de l'abondance moyenne de (+10%) lorsque les parcelles ont été pâturées et une diminution (-16%) lorsqu'elles ne l'ont pas été. Il est important de noter qu'il s'agit de la première année où les moutons ont été installés sur les CIPAN, il s'agit donc d'une expérimentation à court terme, et les conditions d'expérimentations étaient particulières : impact du froid en février et pression du pâturage peu élevée (3 brebis pour 0.12 ha environ) en raison de la qualité des couverts. Il est également notable qu'il y a moins d'espèces adventices à degré d'infestation moins élevée que *Papaver rhoeas* et *Elytrigia repens*, présents dans les groupes II, III et V des diagrammes d'infestation pour les parcelles en ICLS que pour les parcelles sans ICLS. L'effet d'échantillonnage est néanmoins à prendre en compte pour cette dernière information.

## **6.2. H2 : Comportements de sélection**

Contrairement à l'hypothèse énoncée, le comportement alimentaire des brebis n'a pas particulièrement favorisé les plantes cultivées. Les brebis ont adopté un comportement indifférent quant aux deux espèces de trèfles présentes et une légère préférence pour les graminées (adventices et de culture). Leur comportement de sélection dépendant fortement de la biomasse (MS) disponible pour chaque espèce, ce qui peut se constater par une évolution du régime qui suit les évolutions de disponibilité de la végétation dans le temps. Deux exceptions sont néanmoins à noter. Premièrement, les phacélies ne semblent pas être sélectionnées de manière volontaire, ce qui pourrait être dû aux dégâts causés par le gel. Cependant un réel comportement d'évitement a pu être constaté sur le terrain lors des observations vis-à-vis de jeunes plants de phacélie pourtant bien vertes et au port érigé. Un échange avec l'une des techniciennes affiliées au projet ECOFOODSYSTEM (Sylvie Mabilie, communication personnelle) a permis d'apprendre qu'un tel comportement a déjà pu être observé sur d'autres parcelles dans la région, où les moutons mangent d'abord les autres plantes, puis s'attaquent à la phacélie, ne mangeant que les feuilles et laissant la tige et la plante bien vivante. Ce comportement est digne d'intérêt étant donné l'utilisation fréquente de la phacélie en tant que CIPAN, appréciée pour ses bienfaits apportés au sol et le succès de ses fleurs auprès des pollinisateurs. Cependant il est difficile de trouver de la documentation confirmant cette information.

Ensuite, bien que l'erreur standard soit plus élevée pour ces dernières, les dicotylédones adventices sont également sélectionnées moins régulièrement. Ce phénomène peut être lié à une hauteur de ces dicotylédones, moins élevée par rapport aux plantes de culture et graminées adventices, ce qui les rend plus fastidieuses à aller chercher. Il serait intéressant de mettre en place une intensité de pâturage plus élevée lors des expérimentations suivantes afin de vérifier si, une fois les strates végétales supérieures pâturées, les animaux adoptent un comportement de sélection différent.

## **6.3. H3 : Intensité du pâturage**

L'expérimentation de pâturage de CIPAN mise en place entre du 3 et le 30 mars 2021 permet de constater une destruction peu marquée du couvert végétal. Cette dernière, bien que constatable, ne dépasse que dans un seul cas (la MS de la P3) les 25%, aussi bien en matière de biomasse que d'abondance végétale. Ce constat rejoint l'hypothèse 2 en ce qui concerne le fait de bien évaluer le potentiel de la destruction du couvert et de la pression sur les adventices

exercés par le pâturage. La cause de cette destruction limitée de la végétation étant le nombre de brebis limité à trois et les périodes sans doute trop courtes d'une semaine de pâturage. Ce sous-effectif a pu être constaté dès la seconde semaine de pâture, suite à quoi il a été décidé de maintenir le nombre de 3 animaux pour une durée fixe d'une semaine afin de conserver des données homogènes pour l'ensemble de l'expérimentation.

Cependant cette faible intensité de pâturage permet malgré tout de déjà constater des différences de composition spécifique du milieu (hypothèse 1). Elle permet également de constater les zones préférentiellement pâturées par les brebis et leurs comportements de pâturage selon les milieux où elles se trouvent, là où un pâturage intensif aurait potentiellement donné des résultats beaucoup plus homogènes, ou nécessité des vols de drones intermédiaires en cours de pâturage.

#### ***6.4. Satisfaction des besoins alimentaires des animaux***

La végétation des CIPAN ayant été fortement impactée par les couverts, certaines craintes ont été énoncées quant au bien-être des animaux durant l'expérimentation. Au-delà des passages quotidiens pour vérifier qu'aucun animal n'était en mauvaise santé, il a pu être observé (Annexe 4) que les animaux prenaient du poids, et ce malgré le fait que les trois brebis étudiées avaient plus de quatre ans, limitant de ce fait leur prise de poids potentielle (Freetly et al., 1995). La prise de poids est toujours un objectif à atteindre lors de l'élevage, et indique une bonne santé et une bonne alimentation des animaux (Kuntjoro et al., 2009). Les poids au sortir du pâturage restent entre les 80 et 90 kg attendus pour une brebis Texel élevée pour sa viande.

#### ***6.5. Critique des méthodes de relevés***

Une question préoccupante ressort des résultats concernant les méthodes d'évaluation de la biomasse. Alors que les résultats du NDVI correspondent fidèlement à ce qui est observable sur le terrain, notamment pour les zones les plus extrêmes (comme par exemple la P2 (voir figure 19)), les relevés de biomasse sur le terrain ne semblent pas concorder avec ces informations. Une hypothèse pouvant justifier ces résultats serait que le NDVI se base sur la réflectance des chloroplastes tandis que les relevés de terrain mesurent la matière sèche. Les gels de février ont pu altérer les résultats à cause de l'abondance d'avoine et de phacélies en mauvaise santé. Leur présence impliquant une masse importante de tiges et de feuilles en sénescence. Ces dernières, en occupant moins de volume et en présentant moins de chloroplastes, diminuent la valeur de NDVI de la parcelle. À l'inverse l'augmentation de l'abondance et de la densité de trèfles ayant

mieux survécu au gel justifie les valeurs grimpantes de NDVI malgré une valeur de MS moyenne moins importante.

L'évolution hors norme de la P2 en particulier (figures 16 et 19) peut s'expliquer par trois phénomènes. Premièrement, le déplacement des brebis entre la P1 et la P2 s'est fait de manière moins paisible que les autres, ce qui a généré un stress les premiers jours, influençant leur appétit et expliquant les valeurs moins élevées de diminution de la biomasse. Deuxièmement, les brebis ont passé une partie importante de leur temps dans la partie sud-ouest de cette parcelle, ce qui peut être expliqué par le stress mais également parce que cette extrémité était plus à l'abri du vent. Troisièmement, le passage d'un ravel fréquenté par piétons et cyclistes à moins de 100m de l'autre extrémité de la parcelle a pu pousser ces animaux craintifs envers l'homme à s'agglutiner dans la partie opposée de leur enclos. Ces phénomènes, amplifiés par le comportement grégaire des moutons, a engendré un piétinement dans la même zone, et un pâturage progressif plus marqué dans cette moitié de l'enclos mais presque absent sur l'autre moitié. L'impact de ces comportements, constatable sur les figures 20 et 21 de la partie télédétection, explique les résultats concernant la couverture du sol, réduite par le piétinement, et l'augmentation du nombre de plantes lié à la moitié de la parcelle n'ayant pratiquement pas été pâturée.

L'impact du ravel et du dénivelé est également observable, de manière moins marquée, pour la P3 (figure 19) qui est parallèle à la P2, et où les moutons sont allés se réfugier dans la même extrémité du terrain, mais ont tout de même eu tendance à plus s'en éloigner pour aller pâturer.

## ***6.6. Perspectives***

Ces observations mettent en valeur l'importance d'autres paramètres non étudiés dans le cadre de cette expérimentation. D'une part, l'impact de l'exposition des parcelles au vent et la proximité avec le passage de promeneurs, et d'autre part l'impact du piétinement par les brebis de la végétation pouvant s'additionner à leur alimentation lors du pâturage en tant que facteur de destruction du volume et de la masse du couvert végétal. L'analyse de la nMDS permet également de constater que les différents blocs expérimentaux ont eu un impact plus marqué sur la composition spécifique des milieux que le type d'agriculture pour cette première année, ce qui est normal pour les types « Phyto », « Ref » et « Vegan » qui ont jusqu'à présent suivi des itinéraires techniques similaires.

Les données concernant l'évolution de la biomasse des parcelles entre les temps AP et PP invitent à remettre en question l'exactitude de certains outils, et à pousser plus loin le potentiel de données récupérables par le biais de la télédétection. En effet les images multispectrales captées par drones ont permis dans le cas présent de tirer des informations sur l'intensité mais également l'hétérogénéité de l'impact du pâturage tout en ne détruisant pas la végétation, ce qui aurait été difficile voire impossible (et en tout cas très fastidieux et chronophage) par le biais de relevés de terrain.

Un élément intéressant concernant la relation des brebis avec la flore adventice présente dans ce cas d'étude concerne l'infestation très marquée de *Papaver rhoeas* avec une abondance relative de 73% au temps T (toutes pratiques confondues). Il s'agit de l'une des espèces adventices annuelles présentes dans les cultures d'hiver les plus communes en Europe. Sa banque de graine persistante, sa période de germination étendue et son haut taux de fécondité (Torra et al., 2018) en font pour certains auteurs l'adventice dicotylédone la plus importante d'Europe (Stankiewicz-Kosyl et al., 2020). La présence d'individus présentant des résistances implique une menace significative pour les rendements des cultures ainsi que pour la biodiversité des communautés adventices qui l'accompagnent (Stankiewicz-Kosyl et al., 2020). La résistance aux herbicides que cette espèce a développé pour les régulateurs de croissance et inhibiteurs de la synthèse d'acétolactate est problématique, ce qui entraîne (souvent à tort) une utilisation toujours plus importante d'herbicides aux matières actives diverses, ou avec de plus grandes fréquences d'utilisation (Stankiewicz-Kosyl et al., 2020). Qui plus est, le nombre de cas de biotypes résistants aux herbicides augmente, y compris en Belgique (Ibid.). Des méthodes non-chimiques ont été testées pour contrôler les populations de *Papaver rhoeas*, mais donnent des résultats inégaux étant donné la banque de graines importante. Même la combinaison d'hersage et de labour ne suffit pas toujours à contrôler les infestations à haut niveaux (Cirujeda et al., 2003) et ces pratiques dépendent fortement de conditions climatiques favorables (Ibid.). La gestion via des stratégies non-chimiques des adventices reste possible dans certaines situations, en décalant les semis, en choisissant des variétés adaptées et en pratiquant le labour ou l'utilisation de chisel (Torra et al., 2011). Il serait néanmoins opportun de suivre sur le long terme au potentiel de destruction des populations de *Papaver rhoeas* de la pratique d'ICLS, qui pourrait être une méthode alternative permettant d'éviter l'augmentation de la résistance liée aux herbicides et d'avoir des périodes d'application différentes du travail mécanique du sol. Lors de l'expérimentation, la densité moyenne de cette espèce a diminué pour les parcelles Phyto, Ref et Vegan et augmenté pour les parcelles Agro. Néanmoins, étant

donné la faible pression exercée par les trois brebis sur la flore, il serait intéressant de s'interroger sur l'impact potentiel d'une pression de pâturage plus importante et l'effet à long terme du pâturage sur les banques de graines. Cet impact pourrait, s'il est positif, constituer une alternative à la fois aux herbicides (réglant le problème de la résistance), et à l'utilisation jointe de labour et de hersage (qui représente un travail lourd du sol et ne donne pas toujours des résultats satisfaisants).

Cette augmentation du pâturage permettrait également de voir si les animaux adoptent un comportement plus sélectif ou s'ils continuent à manger de la même manière. Laissent-ils les phacélies malgré tout ? Commencent-ils à attaquer les dicotylédones lorsque les graminées et trèfles se font plus bas ?

## ***7. Conclusion***

Cette expérimentation a permis de constater l'impact d'un troupeau de trois brebis sur quatre parcelles de CIPAN de 0.12ha, en les comparant à 12 parcelles identiques n'étant pas pâturées. Une ordination à deux dimensions de type « non-metric multidimensional scaling » (nMDS)) de ces observations a permis de conclure que le pâturage avait un impact sur la flore adventice malgré un comportement de sélection des brebis tendant à favoriser les graminées présentes sur la parcelle dans leur régime, laissant presque intouchées les phacélies des CIPAN et les dicotylédones adventices. Toutefois, l'analyse de l'intensité et de l'homogénéité du pâturage, basée sur le NDVI ainsi que sur des relevés de biomasse, indiquent que les comportements de destruction de la culture en place étaient impactés par d'autres facteurs non étudiés dans ce travail comme la présence humaine, les conditions météorologiques ou le nivellement du terrain. Cette recherche doit être perçue comme une première pierre, une première prise de données permettant, via différents outils de mesure, d'explorer les effets et conséquences d'une pratique peu courante dans nos régions, mais qui semble susciter à nouveau de l'intérêt. Quelques pistes intéressantes de réflexion peuvent être poursuivies sur les sept années qui suivent. D'une part, la télédétection s'est avérée être un outil fiable et qui ouvre la porte à de nombreuses possibilités de modélisations et de texture (permettant un suivi de qualité de l'impact du pâturage). D'autre part, le suivi de la flore réalisée permettra (d'autant plus s'il est joint à un suivi de la banque de graines) d'évaluer sur la durée les éventuels services écosystémiques apportés par les ICLS. La combinaison de ces suivis pourra permettre de témoigner des impacts, qu'ils soient positifs ou négatifs, de la pratique d'ICLS dans le contexte du projet ECOFOODSYSTEM.



## ***Bibliographie***

### **Articles de revue**

- Arnold, G., & Campbell, N. (1972). A model of a ley farming system, with particular reference to a sub-model for animal production. *Proc. Aust. Soc. Anim. Prod.*, 9. <http://hdl.handle.net/102.100.100/313532?index=1>
- Barroso, J., Miller, Z. J., Lehnhoff, E. A., Hatfield, P. G., & Menalled, F. D. (2015). Impacts of cropping system and management practices on the assembly of weed communities. *Weed Research*, 55(4), 426-435. <https://doi.org/10.1111/wre.12155>
- Batista, K., Giacomini, A. A., Gerdes, L., Mattos, W. T. de, & Andrade, J. B. de. (2014). Phytosociological Survey of Weeds in Areas of Crop-Livestock Integration. *American Journal of Plant Sciences*, 5(8), 1090-1097. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.58121>
- Bilalis, D., Papastyliaou, P., Konstantas, A., Patsiali, S., Karkanis, A., & Efthimiadou, A. (2010). Weed-suppressive effects of maize-legume intercropping in organic farming. *International Journal of Pest Management*, 56(2), 173-181. <https://doi.org/10.1080/09670870903304471>
- Bonaudo, T., Bendahan, A. B., Sabatier, R., Ryschawy, J., Bellon, S., Leger, F., Magda, D., & Tichit, M. (2014). Agroecological principles for the redesign of integrated crop-livestock systems. *European Journal of Agronomy*, 57, 43-51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.09.010>
- Bonfiglioli, A. M. (1990). Pastoralisme, agro-pastoralisme et retour : Itinéraires sahéliens. *Cahiers Des Sciences Humaines*, 26(1-2), 255-266.
- Bonnet, O. J. F., Meuret, M., Tischler, M. R., Cezimbra, I. M., Azambuja, J. C. R., & Carvalho, P. C. F. (2015). Continuous bite monitoring : A method to assess the foraging dynamics of herbivores in natural grazing conditions. *Animal Production Science*, 55(3), 339-349. <https://doi.org/10.1071/AN14540>
- Bråkenhielm, S., & Qinghong, L. (1995). Comparison of Field Methods in Vegetation Monitoring. In J. Černý, M. Novák, T. Pačes, & R. K. Wieder (Éds.), *Biogeochemical Monitoring in Small Catchments* (p. 75-87). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-0261-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-011-0261-2_5)
- Cellier, V., Aubertot, J.-N., cordeau, S., Fontaine, L., Froger, M., Gardarin, A., Guillemin, J.-P., Lavigne, C., Petit, S., Alain, R., Sarthou, J.-P., & Valantin Morison, M. (2017). Développements méthodologiques pour une CARactérisation SIMplifiée des pressions biotiques et des Régulations biologiques—CASIMIR. *Innovations Agronomiques*, 59, 41-54. <https://doi.org/10.15454/1.5137850846009827E12>
- Chebli, Y., Otmani, S. E., Chentouf, M., Hornick, J.-L., Bindelle, J., & Cabaraux, J.-F. (2020). Foraging Behavior of Goats Browsing in Southern Mediterranean Forest Rangeland. *Animals*, 10(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/ani10020196>
- Cirujeda, A., Recasens, J., & Taberner, A. (2003). Effect of Ploughing and Harrowing on a Herbicide Resistant Corn Poppy (*Papaver rhoeas*) Population. *Biological Agriculture & Horticulture*, 21(3), 231-246. <https://doi.org/10.1080/01448765.2003.9755267>
- Clark, D., Lambert, M. 1, & Chapman, D. F. (1982). Pasture management and hill country production Rotational grazing, sheep, cattle. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association Conference*, 3(43), 205-214.
- Cortinovis, C., & Caloni, F. (2013). Epidemiology of intoxication of domestic animals by plants in Europe. *The Veterinary Journal*, 197(2), 163-168. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2013.03.007>
- de Faccio Carvalho, P. C., Anghinoni, I., de Moraes, A., de Souza, E. D., Sulc, R. M., Lang, C. R., Flores, J. P. C., Terra Lopes, M. L., da Silva, J. L. S., Conte, O., de Lima Wesp, C., Leven, R., Fontaneli, R. S., & Bayer, C. (2010). Managing grazing animals to achieve nutrient cycling and soil improvement in no-till integrated systems. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 88(2), 259-273. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9360-x>

- de Moraes, A., Carvalho, P. C. de F., Anghinoni, I., Lustosa, S. B. C., Costa, S. E. V. G. de A., & Kunrath, T. R. (2014). Integrated crop–livestock systems in the Brazilian subtropics. *European Journal of Agronomy*, 57, 4-9. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.10.004>
- De Toffoli, M., Decamps, C., & Lambert, R. (2013). Évaluation de la capacité de cultures intermédiaires à piéger l'azote et à produire un fourrage. *BASE*, 237-242.
- Diouf, A., & Lambin, E. F. (2001). Monitoring land-cover changes in semi-arid regions : Remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. *Journal of Arid Environments*, 48(2), 129-148. <https://doi.org/10.1006/jare.2000.0744>
- Eagles, C. F., Williams, J., & Louis, D. V. (1993). Recovery after freezing in *Avena sativa* L., *Lolium perenne* L. and *L. multiflorum* Lam. *New Phytologist*, 123(3), 477-483. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03759.x>
- Earle, D. F., & McGowan, A. A. (1979). Evaluation and calibration of an automated rising plate meter for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 19(98), 337-343. <https://doi.org/10.1071/ea9790337>
- FAO. (2010). An international consultation on integrated crop-livestock systems for development : The way forward for sustainable production intensification. *Integrated Crop Management*, 13. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/images/iclsd/documents/crop\\_livestock\\_proceedings.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/images/iclsd/documents/crop_livestock_proceedings.pdf)
- Ferraro, F. P., Nave, R. L. G., Sulc, R. M., & Barker, D. J. (2012). Seasonal Variation in the Rising Plate Meter Calibration for Forage Mass. *Agronomy Journal*, 104(1), 1-6. <https://doi.org/10.2134/agronj2011.0190>
- Freetly, H. C., Nienaber, J. A., Leymaster, K. A., & Jenkins, T. G. (1995). Relationships among heat production, body weight, and age in Suffolk and Texel ewes. *Journal of Animal Science*, 73(4), 1030-1037. <https://doi.org/10.2527/1995.7341030x>
- Froger, M., Cellier, V., Fontaine, L., Guillemin, J.-P., Rodriguez, A., & Cordeau, S. (2015). *Accompagner les réseaux DEPHY-FERME et DEPHY-EXPE dans la caractérisation de l'effet des systèmes de culture sur la flore adventice*. <https://hal-agrosup-dijon.archives-ouvertes.fr/hal-01873618/document>
- Gardner J.C. & Faulkner D.B. (1991). Use of cover crops with integrated crop-livestock production systems. *Cover crops for clean water. Soil and Water Conserv. Soc.*, 185-191.
- Glele Kakaï, R. L., Salako, V., Padonou, E., & Lykke, A. M. (2016). Méthodes statistiques multivariées utilisées en écologie. *Annales des Sciences Agronomiques*, 20, 139-157.
- Goodall, D. (1952). Some Considerations in the Use of Point Quadrats for the Analysis of Vegetation. *Australian Journal of Biological Sciences*, 5(1), 1-41. <https://doi.org/10.1071/BI9520001>
- Gowing, J. W., Golicha, D. D., & Sanderson, R. A. (2020). Integrated crop-livestock farming offers a solution to soil fertility mining in semi-arid Kenya : Evidence from Marsabit County. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 18(6), 492-504. <https://doi.org/10.1080/14735903.2020.1793646>
- Grimes, R. C., Watkin, B. R., & Gallagher, J. R. (1967). The growth of lambs grazing on perennial ryegrass, tall fescue and cocksfoot, with and without white clover, as related to the botanical and chemical composition of the pasture and pattern of fermentation in the rumen. *The Journal of Agricultural Science*, 68(1), 11-21. <https://doi.org/10.1017/S0021859600017809>
- Guo, L., Plunkert, M., Luo, X., & Liu, Z. (2021). Developmental regulation of stolon and rhizome. *Current Opinion in Plant Biology*, 59. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2020.10.003>
- Haralick, R. M. (1979). Statistical and structural approaches to texture. *Proceedings of the IEEE*, 67(5), 786-804. <https://doi.org/10.1109/PROC.1979.11328>
- Haralick, R. M., Shanmugam, K., & Dinstein, I. (1973). Textural Features for Image Classification. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, SMC-3(6), 610-621. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1973.4309314>

- Hodge, R. W., & Doyle, J. J. (1967). Diet selected by lambs and yearling sheep grazing on annual and perennial pastures in Southern Victoria. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 7(25), 141-143. <https://doi.org/10.1071/ea9670141>
- Houlbrooke, D., & Laurenson, S. (2013). Effect of sheep and cattle treading damage on soil microporosity and soil water holding capacity. *Agricultural Water Management*, 121, 81-84. <https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2013.01.010>
- Jaziri, B. (2020). Suivi par télédétection de la dynamique de la végétation de Jbel Bil Lahrish. *Geo-Eco-Trop*, 44, 65-82.
- Junttila, O., Svenning, M. M., & Solheim, B. (1990). Effects of temperature and photoperiod on frost resistance of white clover (*Trifolium repens*) ecotypes. *Physiologia Plantarum*, 79(3), 435-438. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1990.tb02099.x>
- Karkour, L., & Mohammed, F. (2015). *Effet des pratiques culturales sur la dynamique des flores adventices des terres cultivées dans la zone semi-aride (Algérie)*.
- Kenney, P. A., & Black, J. L. (1984). Factors affecting diet selection by sheep. 1. Potential intake rate and acceptability of feed. *Australian Journal of Agricultural Research*, 35(4), 551-563. <https://doi.org/10.1071/ar9840551>
- Kuntjoro, A., Sutarno, S., & Astirin, O. P. (2009). Body weight and statistic vital of Texel sheep in Wonosobo District by giving the ramie hay as an additional woof. *Nusantara Bioscience*, 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.13057/nusbiosci/n010102>
- Labreuche, J., & Bodilis, A. (2010, décembre 8). *Sensitivity of cover crops to frost and to mechanical destruction methods*. VINGTIÈME ET UNIÈME CONFÉRENCE DU COLUMA JOURNÉES INTERNATIONALES SUR LA LUTTE CONTRE LES MAUVAISES HERBES DIJON, Dijon. <https://www.researchgate.net/publication/319328683>
- Laidlaw, A. S., & Steen, R. W. J. (1989). Turnover of grass laminae and white clover leaves in mixed swards continuously grazed with steers at a high-and low-N fertilizer level. *Grass and Forage Science*, 44(3), 249-258. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1989.tb02162.x>
- Lebreton, G., & Le Bourgeois, T. (2005). Analyse de la flore adventice de la lentille à Cilaos—Réunion. *Cirad-Ca*. <http://www.agriculture-biodiversite-oi.org/Mediatheque/Documents-a-telecharger/Rapports-scientifiques/Analyse-de-la-flore-adventice-de-la-lentille-a-Cilaos-Reunion>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.08.009>
- Lenssen, A., Sainju, U., & Hatfield, P. (2013). Integrating sheep grazing into wheat-fallow systems : Crop yield and soil properties. *Field Crops Research*, 146, 75-85. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2013.03.010>
- McKenzie, S. C., Goosey, H. B., O'Neill, K. M., & Menalled, F. D. (2016). Impact of integrated sheep grazing for cover crop termination on weed and ground beetle (Coleoptera:Carabidae) communities. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 218, 141-149. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.11.018>
- Meuret, M., & Provenza, F. (2015). How French shepherds create meal sequences to stimulate intake and optimise use of forage diversity on rangeland. *Animal Production Science*, 55(3), 309-318. <https://doi.org/10.1071/AN14415>
- Michez, A., Lejeune, P., Bauwens, S., Herinaina, A. A. L., Blaise, Y., Castro Muñoz, E., Lebeau, F., & Bindelle, J. (2019). Mapping and Monitoring of Biomass and Grazing in Pasture with an Unmanned Aerial System. *Remote Sensing*, 11(5), 473. <https://doi.org/10.3390/rs11050473>
- Miller, Z. J., Menalled, F. D., Sainju, U. M., Lenssen, A. W., & Hatfield, P. G. (2015). Integrating Sheep Grazing into Cereal-Based Crop Rotations : Spring Wheat Yields and Weed Communities. *Agronomy Journal*, 107(1), 104-112. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0086>

- Moraine, M., Duru, M., Nicholas, P., Leterme, P., & Therond, O. (2014). Farming system design for innovative crop-livestock integration in Europe. *Animal*, 8(8), 1204-1217. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001189>
- Moraine, M., Grimaldi, J., Murgue, C., Duru, M., & Therond, O. (2016). *Co-design and assessment of cropping systems for developing crop-livestock integration at the territory level*. Agricultural Systems. <https://hal.inrae.fr/hal-02637593>
- Mousavi, S. R., & Eskandari, H. (2011). A General Overview on Intercropping and Its Advantages in Sustainable Agriculture. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 1, 482-486.
- Newman, J. A., Parsons, A. J., & Harvey, A. (1992). Not all sheep prefer clover : Diet selection revisited. *The Journal of Agricultural Science*, 119(2), 275-283. <https://doi.org/10.1017/S0021859600014209>
- OECD/FAO. (2020). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2020-2029. *OECD Publishing*. <https://doi.org/10.1787/cc6f09c-fr>
- Pantic, I., Pantic, S., Paunovic, J., & Perovic, M. (2013). Nuclear entropy, angular second moment, variance and texture correlation of thymus cortical and medullar lymphocytes : Grey level co-occurrence matrix analysis. *Anais Da Academia Brasileira De Ciencias*, 85(3), 1063-1072. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013005000045>
- Peyraud, J.-L., Taboada, M., & Delaby, L. (2012). *Integration between cropping and livestock systems in temperate areas*. 2. International Symposium on Integrated Crop-Livestock Systems (ICLS). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01210835>
- Peyraud, J.-L., Taboada, M., & Delaby, L. (2014). Integrated crop and livestock systems in Western Europe and South America : A review. *European Journal of Agronomy*, 57, 31-42. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.02.005>
- Phillips, R., McDougald, N., & Sullins, J. (1996). Plant preference of sheep grazing in the Mojave Desert. *Rangelands Archive*. /paper/Plant-preference-of-sheep-grazing-in-the-Mojave-Phillips-McDougald/d5c98bedc61ee7671fb829a1fa4a8c878f0e2caa
- Pirdashti, H., Pirdashti, M., Mohammadi, M., Baigi, M. G., & Movagharnejad, K. (2015). Efficient use of energy through organic rice–duck mutualism system. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(4), 1489-1497. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0311-4>
- Pitz, C., Piqueray, J., Monty, A., & Mahy, G. (2018). Naturally recruited herbaceous vegetation in abandoned Belgian limestone quarries : Towards habitats of conservation interest analogues? *Folia Geobotanica*, 53(2), 147-158. <https://doi.org/10.1007/s12224-018-9313-8>
- Russelle, M. P., Entz, M., & Franzluebbers, A. (2007). Reconsidering Integrated Crop-Livestock Systems in North America. *Agronomy Journal*. <https://doi.org/10.2134/AGRONJ2006.0139>
- Ryschawy, J., Martin, G., Moraine, M., Duru, M., & Therond, O. (2017). Designing crop–livestock integration at different levels : Toward new agroecological models? *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 108. <https://doi.org/10.1007/s10705-016-9815-9>
- Sainju, U. M., Lenssen, A. W., Goosey, H. B., Snyder, E., & Hatfield, P. G. (2011). *Sheep Grazing in a Wheat–Fallow System Affects Dryland Soil Properties and Grain Yield*. <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/53761>
- Schiere, J. B., Ibrahim, M. N. M., & van Keulen, H. (2002). The role of livestock for sustainability in mixed farming : Criteria and scenario studies under varying resource allocation. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 90(2), 139-153. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00176-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00176-1)
- Sierra-Almeida, A., & Cavieres, L. A. (2010). Summer freezing resistance decreased in high-elevation plants exposed to experimental warming in the central Chilean Andes. *Oecologia*, 163(1), 267-276. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1592-6>
- Stankiewicz-Kosyl, M., Synowiec, A., Haliniarz, M., Wenda-Piesik, A., Domaradzki, K., Parylak, D., Wrochna, M., Pytlarz, E., Gala-Czekaj, D., Marczevska-Kolasa, K., Marcinkowska, K., & Praczyk, T. (2020). Herbicide Resistance and Management Options of *Papaver rhoeas* L. and *Centaurea cyanus* L. in Europe : A Review. *Agronomy*, 10(6), 874. <https://doi.org/10.3390/agronomy10060874>

- Thomas, F., & Archambeaud, M. (2016). *Les couverts végétaux ; gestion pratique de l'interculture (2e édition)* (FRANCE AGRICOLE). <https://www.belgiqueloisirs.be/sciences-techniques/les-couverts-vegetaux-gestion-pratique-de-l-interculture-2e-edition-9782855574790.html>
- Torra, J., Royo Esnal, A., & Recasens Guinjuan, J. (2011). Management of herbicide-resistant *Papaver rhoeas* in dry land cereal fields. *Agronomy for Sustainable Development*, 31(3), 483-490. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0010-8>
- Torra, J., Royo-Esnal, A., Rey-Caballero, J., Recasens, J., & Salas, M. (2018). Management of Herbicide-Resistant Corn Poppy (*Papaver rhoeas*) under Different Tillage Systems Does Not Change the Frequency of Resistant Plants. *Weed Science*, 66(6), 764-772. <https://doi.org/10.1017/wsc.2018.53>
- Tracy, B. F., & Davis, A. S. (2009). Weed Biomass and Species Composition as Affected by an Integrated Crop–Livestock System. *Crop Science*, 49(4), 1523-1530. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.08.0488>
- Wang, J., Rich, P. M., Price, K. P., & Kettle, W. D. (2005). Relations between NDVI, Grassland Production, and Crop Yield in the Central Great Plains. *Geocarto International*, 20(3), 5-11. <https://doi.org/10.1080/10106040508542350>
- Webb, R. H., & Stielstra, S. S. (1979). Sheep grazing effects on Mojave Desert vegetation and soils. *Environmental Management*, 3(6), 517-529. <https://doi.org/10.1007/BF01866321>
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., ... Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene : The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Zaller, J. G. (2006). Sheep grazing vs. cutting : Regeneration and soil nutrient exploitation of the grassland weed *Rumex obtusifolius*. *BioControl*, 51(6), 837-850. <https://doi.org/10.1007/s10526-005-5272-0>
- Zhao, H., Yang, Z., Di, L., Li, L., & Zhu, H. (2009). Crop phenology date estimation based on NDVI derived from the reconstructed MODIS daily surface reflectance data. *2009 17th International Conference on Geoinformatics*, 1-6. <https://doi.org/10.1109/GEOINFORMATICS.2009.5293522>

## Sites Web

- Archambeaud, M. (2021, juin 7). *NitraWal : Culture intermédiaire piège à nitrates*. A2C le site de l'agriculture de conservation. <https://agriculture-de-conservation.com/NitraWal-Culture-intermediaire.html>
- Calus, A. (2020, novembre 26). *Les importations freinent tout développement de la filière ovine*. SillonBelge.be. <http://www.sillonbelge.be/6823/article/2020-11-26/les-importations-freinent-tout-developpement-de-la-filiere-ovine>
- FAO. (2021). *Plant Production and Protection Division : What are integrated crop-livestock systems*. <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/scpi-home/managing-ecosystems/integrated-crop-livestock-systems/icls-what/en/>
- Herremans, S., 2019. SERVEAU [WWW Document]. CRA-W Cent. Wallon Rech. Agron. URL <https://www.cra.wallonie.be/fr/serveau> (accessed 12.3.20).
- La race Texel, 2020. . M-Elev. URL <https://www.m-elevage.fr/ovins/races/texel/> (accessed 6.1.21).
- Measuring Vegetation (NDVI & EVI) [WWW Document], 2000. URL [https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_2.php](https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php) (accessed 6.2.21).
- Protect'eau, 2018. Protecteau » CIPAN et SIE [WWW Document]. URL <https://protecteau.be/fr/nitrate/agriculteurs/couvert/cipan-sie> (accessed 6.7.21).
- Regibeau, C., 2019. Des couverts et des moutons. Filagri. URL <https://filagri.be/actualites/des-couverts-et-des-moutons/> (accessed 12.3.20).
- STATBEL, 2020. Chiffres clé de l'agriculture - L'agriculture belge en chiffre - 2020. STATBEL.
- Vilmos, P.M. & R., 2021. Bilan de l'offensive hivernale de février 2021 [WWW Document]. Météo En Belg. URL <https://www.meteobelgique.be/article/nouvelles/la-suite/2434-bilan-de-l-offensive-hivernale-de-fevrier-2021> (accessed 6.2.21).

## Annexes

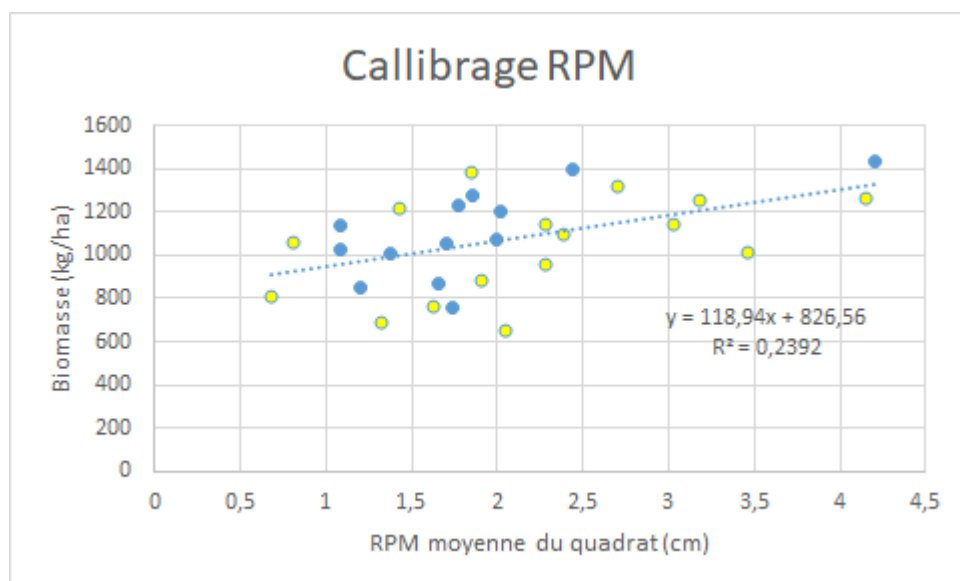
### Annexe 1 : Rotation des cultures du projet ECOFOODSYSTEM

Année	« Ref » et « Phyto »	« Vegan »	« Agro »
1	Betterave sucrière	Chanvre	Maïs
2	Blé	Blé suivi d'une culture de couvert	Blé suivi d'une culture de couvert pâturée
3	Pomme de terre	Fèverole	Fèverole
4	Blé suivi d'une culture de couvert	Blé	Blé
5	Colza	Colza	Colza
6	Association blé-pois suivi d'une culture de couvert	Blé suivi d'une culture de couvert	Association blé-pois
7	Maïs	Pois	Prairies
8	Blé	Avoine suivie d'une culture de couvert	Prairies

### Annexe 2 : Dates des relevés et du pâturage

	Pâturage	Relevé AM	Relevé PM
P1	02/03/2021-09/03/2021	19/02/2021	09/03/2021
P2	09/03/2021-16/03/2021	06/03/2021	17/03/2021
P3	16/03/2021-23/03/2021	11/03/2021	24/03/2021
P4	23/03/2021-30/03/2021	19/03/2021	31/04/21

**Annexe 3 : calibrage de la RPM pour la culture étudiée (en jaune les relevés AM, en Bleu les PM)**



**Annexe 4 : Evolution du poids des brebis entre le 2 et le 30 mars 2021**

Date de pesée	Brebis_7733	Brebis_7734	Brebis_7736
02/03/2021	73 kg	70 kg	72 kg
30/03/2021	91 kg	85 kg	86 kg