



**HAL**  
open science

# Comparaison et mise en place de méthodes de mesure et analyse pour décrire une dynamique de biomasse en prairie permanente

Destrade Clément

## ► To cite this version:

Destrade Clément. Comparaison et mise en place de méthodes de mesure et analyse pour décrire une dynamique de biomasse en prairie permanente. Environmental Sciences. 2019. hal-04069153

**HAL Id: hal-04069153**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04069153>**

Submitted on 14 Apr 2023

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

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



**DUT Génie Biologique**

**Option Agronomie**

**Comparaison et mise en place de méthodes de mesure et analyse pour décrire une dynamique de biomasse en prairie permanente**

**Rapport de STAGE**

**INRA de Crouël à Clermont-Ferrand 5 chemin de Beaulieu 63000**

**Du 01/04/2019 au 02/08/2019**



**DESTRADE Clément**

Maître de stage : Katja Klumpp

Encadrant de stage : Olivier Darsonville

**Année 2018/2019**



## **Remerciements : (fin de stage)**

Mes remerciements vont en premier lieu à Madame Catherine Picon-Cochard, directrice d'unité, pour m'avoir permis de réaliser ce stage au sein de son Unité de Recherche en Ecosystème Prairial (UREP), à l'Institut Nationale de Recherche Agronomique (INRA), basé à Clermont.

Je tiens vraiment à remercier Madame Katja Klumpp, Ingénieure de Recherche, qui a su me donner sa confiance pour réaliser ce stage basé sur un sujet aussi minutieux et exigeant que l'est ICOS (Integrated Carbon Observation System). De plus, elle m'a fait part de son expérience et de son savoir afin de m'aider à progresser au cours de ce stage, ce qui m'a permis d'apprendre les bases de la rigueur qu'exige le monde de la recherche scientifique.

Je tiens à remercier vivement Monsieur Olivier Darsonville, Technicien de Recherche, qui a su m'encadrer par son expérience et son expertise dans la réalisation des tâches techniques mais aussi scientifiques au cours de ce stage. Par ailleurs, la transmission de son savoir-faire et de ses connaissances m'ont permis d'avancer et d'apporter un autre regard sur l'ensemble du stage.

Je remercie aussi, Monsieur Michel Magniez, mon professeur-référent pour les réponses qu'il a pu apporter afin de permettre le bon déroulement de ce stage.

Enfin, je remercie l'ensemble du personnel de l'unité (UREP) mais aussi les doctorants et les stagiaires pour la bonne ambiance et l'aide qu'ils ont apportés pendant cette période de stage.

## Résumé :

Dans un contexte de **changement global**, les systèmes prairiaux se révèlent être très intéressants pour permettre le stockage du **carbone**. C'est écosystème représente en effet 40% de la SAU en France. Il est donc important d'avoir les connaissances suffisantes pour pouvoir gérer au mieux ce type **d'agroécosystème**. Une étude à long-terme est donc menée sur le site expérimental de l'INRA à Laqueuille (63) en **prairie permanente**.

L'UREP qui en est en charge de ce dispositif a pour objectif d'être labélisé par l'infrastructure de recherche européenne ICOS (Integrated Carbon Observation System). Cela inclue donc, la mise en place et l'adaptation de protocoles standardisés des différents écosystèmes terrestres sur les mesures de **flux** et de **Végétation** (biomasse, flore, hauteur herbes, etc...). Ainsi, le site de Laqueuille s'inscrit dans ce projet de labélisation et une réflexion est nécessaire quant à la mise en place de cette infrastructure. Ce stage s'insère dans ce projet et l'objectif sera donc de comparer les méthodes de mesures entre elles afin de faciliter leur mise en place, leur suivi, leur qualité dans le futur.

Cela passera par la mise en place de ces protocoles, et par la réalisation de différents types de mesures qui permettront de mettre en évidence une hétérogénéité certaine au sein des parcelles du site et qui montreront que la production de biomasse est influencée par le **chargement animal**. De plus, des comparaisons de méthodes sont apportées par l'intermédiaire de tableau comparatif et par des analyses statistiques, basées sur la corrélation linéaire.

Ce stage sera l'occasion de découvrir le milieu de la recherche scientifique mais aussi la mise en place de nombreuses méthodes de mesures de flux de **GES** et d'analyse de biomasse en **écosystème**. Il a permis de renforcer mon choix d'orientation qui se tourne vers la recherche en écologie.

**Mots clés : changement global, carbone, agroécosystème, prairie permanente, flux, végétation, mesures destructives, mesures non-destructives, rayonnement photosynthétiquement actif, chargement animal, GES, écosystème.**

## **Abstract:**

In a context of global change, grassland systems are proving to be very interesting for carbon storage. This ecosystem accounts for 40% of the UAA in France. It is therefore important to have enough knowledge to be able to best manage this type of agroecosystem. A long-term study is therefore conducted on the experimental site of INRA in Laqueuille (63) in permanent prairie.

The UREP which oversees this device aims to be labeled by the European research infrastructure ICOS (Integrated Carbon Observation System). This includes the establishment and adaptation of standardized protocols of different terrestrial ecosystems on flow and vegetation measurements (biomass, flora, grass height, etc.). Thus, the site of Laqueuille is part of this project of labeling and a reflection is necessary as for the setting up of this infrastructure. This internship is part of this project and the objective will be to compare the measurement methods between them to facilitate their implementation, monitoring, quality in the future.

This will involve the implementation of these protocols, and by the realization of different types of measurements that will demonstrate a certain heterogeneity within the plots of the site, and which will show that the biomass production is influenced by the animal loading. In addition, comparisons of methods are made via comparative table and by statistical analysis, based on linear correlation.

This internship will be an opportunity to discover the world of scientific research but also the implementation of many methods of GHG flow measurement and biomass analysis in the ecosystem. It has strengthened my choice of orientation that turns to research in ecology.

**Key words: global warming, carbon, agroecosystem, permanent grassland, flux, biomass, destructive measures, non-destructive measurements, photosynthetically active radiation, animal loading, GHG, ecosystem.**

# Sommaire

## Introduction

- I) Présentation du lieu et cadre de stage
  - 1) Présentation du lieu de stage
    - a) L'Institut National de Recherche Agronomique
    - b) L'Unité de Recherche en Ecosystème Prairial
  - 2) Présentation du cadre de stage
- II) Matériels et méthodes :
  - 1) Site expérimental de Laqueuille
    - a) Objectifs du site
    - b) Equipements
      1. La tour à flux
      2. La station météorologique
      3. Les chambres N<sub>2</sub>O
  - 2) Suivi de biomasse au cours du temps, par méthodes destructives et non-destructives
    - 1) Plan d'échantillonnage
    - 2) Matériel pour les mesures non-destructives
      - a) Herbomètre stick enregistreur
      - b) Herbomètre à plateau
      - c) Mesure de surface foliaire par le ceptomètre
    - 3) Mise en place des mesure destructives
      - a) Mise en place sur le terrain
      - b) Mise en place en laboratoire
    - 4) Comparaison des mesures de GAI
    - 5) Analyse de données
- III) Analyse et discussion des résultats
  - 1)

## **Introduction :**

De nos jours la part mondiale dans le domaine de l'agriculture des émissions de gaz à effet de serre (GES) s'élève à un taux de 20% ([2] Jérôme et al. 2013). Cette part se traduit par l'émission de trois gaz principaux : le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), le méthane ( $\text{CH}_4$  principalement issue de la fermentation entérique) et le protoxyde d'azote ( $\text{N}_2\text{O}$ , issue du sol et gestion effluents) et avec respectivement, 27%, 44% et 29% d'émissions de ces gaz (Peyraud et al.). Mais au-delà d'être un des acteurs du réchauffement climatique, l'agriculture peut être une alternative non négligeable pour lutter contre celui-ci. C'est pourquoi nous cherchons à mieux cerner le rôle des différents agro(eco)systèmes dans les cycles biogéochimiques du carbone et de l'azote notamment. Cela passe par l'étude de ces écosystèmes et des interactions qui les régissent. Pour pouvoir prendre en compte, de façon plus efficace, la capacité de stockage du carbone (C) et de l'azote (N), dans le but d'améliorer notre capacité à gérer ces écosystèmes.

Les prairies occupent aujourd'hui 30,2% de la superficie totale de la surface de la France, ainsi que 36% de la SAU de l'Europe, et leur capacité à stocker le  $\text{CO}_2$ , serait de l'ordre de 2,9 à 3,3 milliards de T eq.  $\text{CO}_2$  (d'après l'ADEME). De plus, en maintenant les surfaces, il est estimé que les réductions de GES d'ici à 2030 seraient à 2,5 Mt eq.  $\text{CO}_2$ /an. Pour obtenir un tel résultat, l'ADEME postule qu'il faut, allonger de la durée du pâturage, allonger la durée de vie des prairies temporaires, réduire les apports d'azote minéral sur les prairies les plus fertilisées, et enfin intensifier modérément les parcelles les moins productives. Il est donc important de les prendre en compte au vu des problématiques actuelles. Les prairies ont une capacité de stockage du C de 0,6 t C/ha.an (Soussana et al., 2010). De ce fait, des dispositifs de long terme mis en place aident à mieux comprendre le fonctionnement d'une prairie, dans un but d'amélioration de la gestion de celles-ci. Ainsi, le SOERE (Système d'Observation et d'Expérimentation de la Recherche en Environnement) ACBB (Agro-systèmes et Cycle Biogéochimiques et Biodiversité) a été conçu en 2005 sur une durée supérieure à 20 ans, afin de mieux comprendre le fonctionnement des cycle biogéochimique (C, N, P) des agroécosystèmes (prairie et culture), les interactions avec la biodiversité avec les impacts qui

en découlent, comprenant aussi les flux environnementaux du système sol-végétation vers l'atmosphère et l'hydrosphère. Le SOERE ACBB est constitué de 3 agro-écosystèmes, sur 3 zones études ; culture (Estrées-Mons), prairie temporaire (Poitou-Charentes), prairie permanente (Theix – Laqueuille, Auvergne). La zone d'étude en prairie permanente de moyenne montagne analyse l'effet du mode de pâturage et de la fertilisation sur : I) le rôle de la biodiversité dans le fonctionnement de l'écosystème, II) la dynamique de la matière organique du sol et la production de biomasse, et III) les émissions de gaz à effet de serre (GES) et la lixiviation sur un total de 12ha (SOERE Theix-Laqueuille dont 31 parcelles de taille 350 m<sup>2</sup> à 5,6ha) comprenant 10 traitements expérimentaux, avec un cahier des charges bien défini et commun aux 3 zones d'étude. Le SOERE Theix-Laqueuille mesure 6 grands groupes de variables : I) climat de l'air et du sol, II) suivi de végétation (qualité et quantité biomasse) et du sol (inventaire et masse racinaire), III) biodiversité végétale, lombrics et microbes du sol, IV) lixiviation de nutriments C et N, V) émissions de GES et VI) suivi de toutes les pratiques culturales (animal, fertilisation, fauche, pâturage).

Depuis son installation le dispositif a gagné en envergure au travers d'épreuves de labélisation nationale (type SOERE, ANAEE) ou infrastructures INRA (ICS). Depuis 2016, un projet de labélisation européen a été lancé sur une des grandes parcelles de Laqueuille, pour les cycles du C en intégrant cette parcelle dans l'infrastructure ICOS (Integrated Carbon Observation System). Le cahier des charges d'ICOS exige l'application des nouveaux protocoles pour l'ensemble des mesures de flux/cycle du C et de biomasse qui s'ajoutent au cahier des charges initiales du SOERE.

Le stage se portera sur le site de Laqueuille et plus précisément sur la parcelle rentrant dans le cadre « d'ICOS ». Celle-ci est soumise à un niveau de pâturage dit « intensif » avec une importante fertilisation azotée, ce qui s'oppose à la deuxième parcelle dite « extensive »

Le cadre du stage comprend la mise en place des protocoles de mesures pour la production de biomasse en prairie permanente en utilisant des méthodes destructives et non – destructive, et une comparaison des données recueillies selon les deux méthodes. L'accent sera également posé sur la réflexion apportée aux mesures de terrain, le traitement des échantillons en laboratoire, afin d'harmoniser le cahier de charge SOERE avec celles prescrites par ICOS, dans le but d'optimiser le travail. Le stage comprend la rédaction de mode opératoire et de fiche sur différentes étapes de travail (workflow).

Le rapport s'organiserà donc de la façon suivante : présentation du lieu et du cadre de stage, matériels et les méthodes appliquées et une analyse et une interprétation des résultats et conclusion.

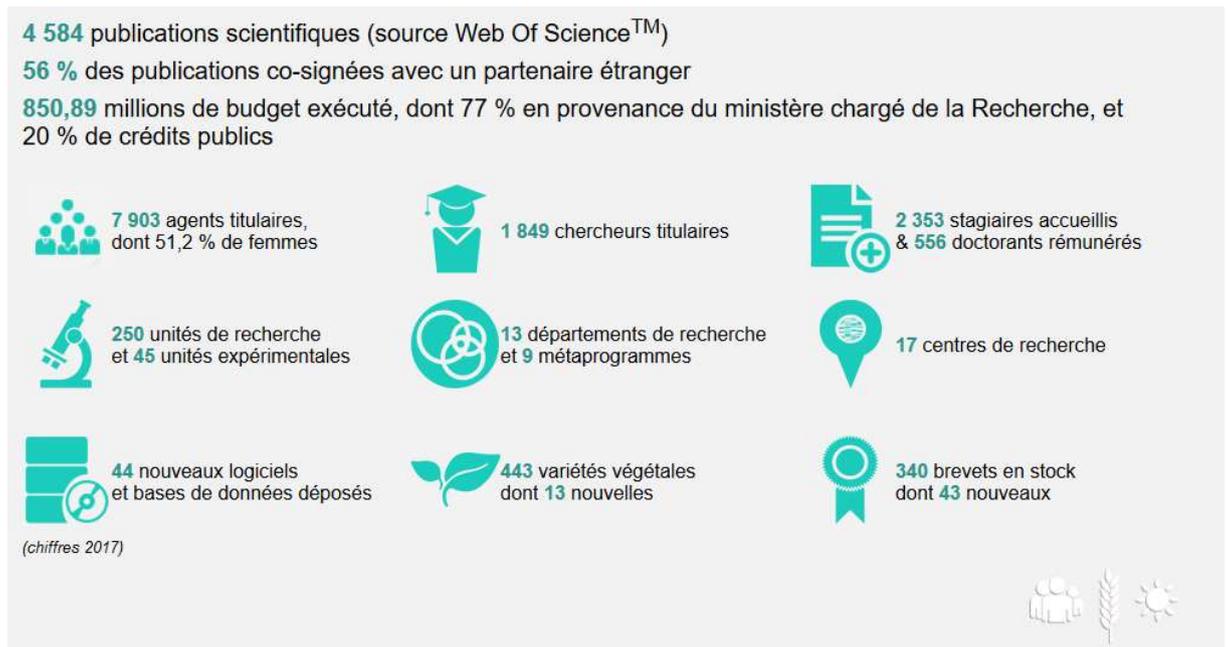
## **I) Présentation du lieu et cadre de stage :**

### **1) Présentation du lieu de stage :**

#### **a. L'Institut National de Recherche Agronomique :**

En 1946, dans un contexte d'après-guerre totale, la France a pour objectif de se reconstruire. La question de la nutrition se pose, « comment peut-on nourrir la France ? » C'est dans cette logique que fut fondé l'INRA, qui est alors un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST). Ainsi en associant la science et la technologie, l'objectif est d'améliorer les rendements des cultures et des élevages. Cette mission a atteint son objectif dans les années 60, mais n'a cessé de continuer afin de rentabiliser encore et encore l'agriculture. Mais c'est dans les années 70 que la France devient productive et commence alors à exporter sa production. Une autre mission lui est alors confié, celle d'améliorer la qualité des aliments et leur valeur ajoutée. De plus, avec la création de partenariat avec les industries, notamment les PME-PMI, l'établissement favorise ou suscite la création de pôles agroalimentaires régionaux. En 1973, avec la crise énergétique, la question de l'environnement se pose et l'INRA oriente une bonne partie de ses recherches vers ce domaine. Tout cela s'ensuit dans les années 80 de phénomènes de surproduction, de mise en place de quotas laitier et d'une première politique agricole commune. Il y a alors une réelle prise de conscience de la pollution liée aux activités agricoles. C'est à cette époque que l'essor des biotechnologies marquent l'histoire de la recherche. En 1982, l'INRA participe à un programme mobilisateur sur les biotechnologies, ce qui induit une profonde modification des modes d'investigation du vivant, des pratiques de recherches, et de l'évaluation des chercheurs. Mais un problème n'est toujours pas réglé à l'orée des années 90. Celui des crises sanitaires qui se multiplient de plus en plus. Le consommateur réclame alors une alimentation toujours plus saine et respectueuse de l'environnement. Ainsi, la recherche sur des aliments toujours plus qualitatifs et sur l'impact des pratiques sur les écosystèmes deviennent petit-à-petit les centres d'intérêt de l'institut. C'est essentiellement à partir des années 2000 que les consciences sur le développement durable s'éveillent et plus tard en 2010, l'INRA met en place des méta programmes appliqués aux problématiques actuelles qui perdurent depuis les années 80.

L'INRA dispose ainsi de 250 unités de recherches situés sur toute la France (métropolitaine et outre-mer), 13 départements scientifiques qui animent différents thèmes (figure1). Aujourd'hui l'INRA compte 7903 agents titulaires dont 1849 chercheurs répartis dans les différents départements. Avec tout cela, l'INRA est donc le premier institut de recherche en sciences agricoles en Europe et le deuxième dans le monde. C'est ce qui fait de lui, l'un des principaux acteurs scientifiques sur la scène internationale.



Source : <http://institut.inra.fr/Reperes/Chiffres>.

Figure 1 : Données chiffrées concernant le personnel de l'INRA :

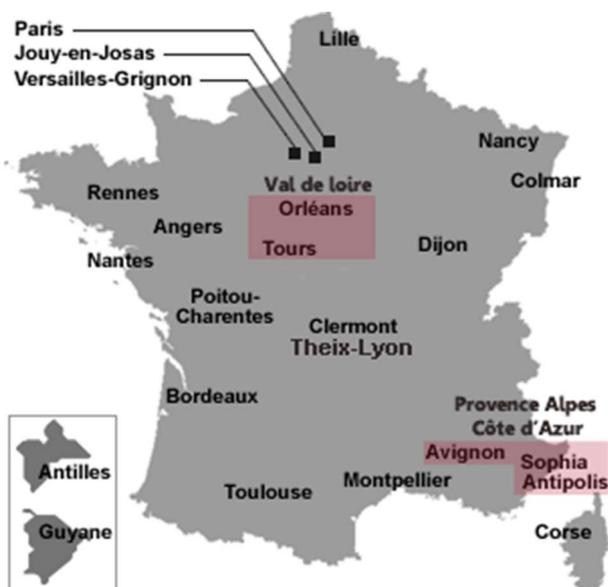
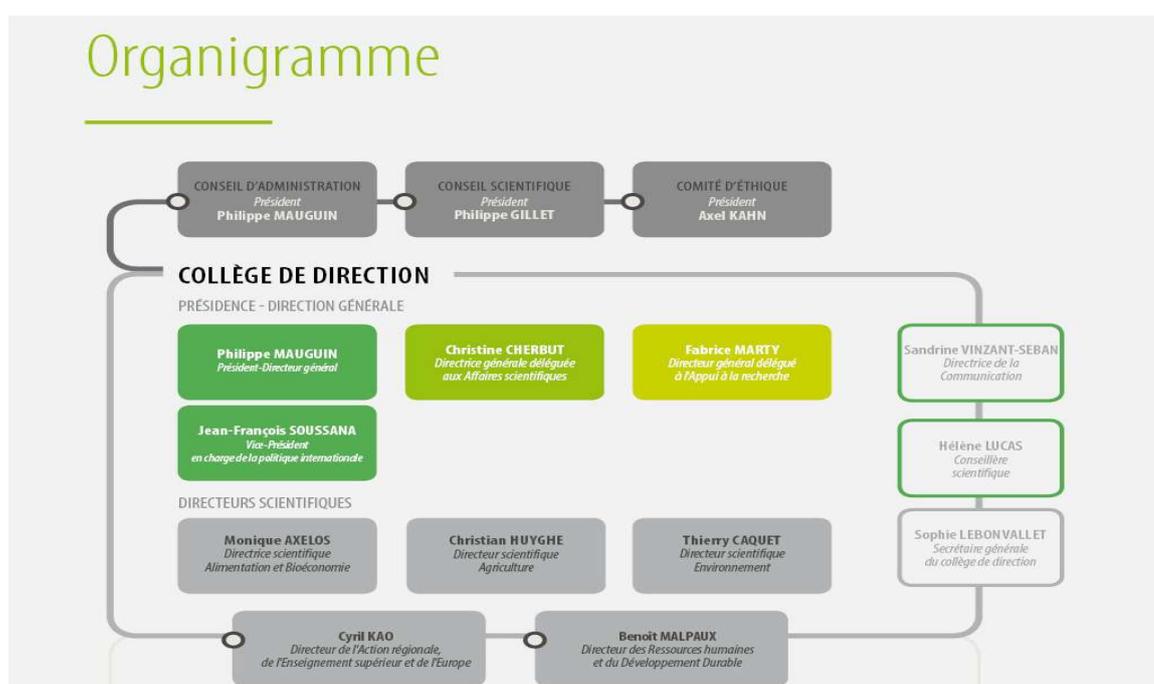


Figure 2 : Carte des centres de recherche de l'INRA en France :

Pour ce qui est de la direction en 2019, l'INRA dispose d'un directeur général et président du conseil d'administration, Monsieur Philippe Mauguin, d'un président du conseil scientifique, Monsieur Philippe Gillet, et un président du comité d'éthique, Monsieur Axel Kahn.



Source : <http://institut.inra.fr/Organisation/Organigramme>

Figure 3 : Organigramme de l'INRA :

Le département Écologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques est l'un des 13 départements de recherche de l'INRA. Les objectifs du département EFPA sont de gérer durablement, conserver et restaurer les écosystèmes forestiers, prairiaux et aquatiques, ainsi que les ressources physiques et biologiques qui en dépendent et les productions de biens et de services qui y sont associées. Le département EFPA (environ 500 agents permanents et 120 doctorants), est réparti dans une trentaine d'unités (principalement des Unités Mixte de Recherches) sur 10 centres INRA. L'expérimentation est basée notamment sur un réseau de 6 unités expérimentales (UE).

#### **b. L'Unité de Recherche en Ecosystème Prairial :**

L'UREP fait partie du centre Auvergnnes Rhône-Alpes. Il s'agit là d'un centre qui comprend les régions Auvergnnes, Rhône-Alpes et Limousin. Dirigé par Jean-Baptiste Coulon

depuis 2013, le centre représente un fort potentiel pour l'INRA car il compose 10% des effectifs de l'institut et se classe comme étant le troisième centre sur les 17 composants l'INRA. Le centre est composé de 31 unités qui travaillent des thématiques de recherche multidisciplinaires qui relèvent de 13 départements de recherches sur les 14 que comprend l'INRA.

Depuis 2004, l'UMR UREP basé sur le site de Crouël à Clermont-Ferrand, a pour projet scientifique « l'écologie, le fonctionnement et les services de la prairie permanente dans un contexte de changement global ». L'unité a donc la responsabilité scientifique des sites prairies permanentes du Système d'Observations et d'Expérimentation sur le long terme, pour la Recherche en Environnement « Agroécosystèmes, Cycles Biogéochimiques et Biodiversité » (SOERE, ACBB) dont l'objectif est d'analyser les effets de la gestion sur la biodiversité et les propriétés des écosystèmes. Le SOERE ACBB est constitué de 3 agroécosystèmes, sur 4 sites expérimentaux, dont le site de Laqueuille sur lequel se déroule le stage. Pour répondre aux objectifs posés le SOERE-ACBB acquiescent un grand nombre de variable avec un cahier des charges commun aux 4 sites. Elle comporte des données biologiques, chimiques, physiques et relatives aux pratiques de gestion des agroécosystèmes. L'enjeu de ce projet est de contribuer à une gestion durable de l'écosystème prairial dans un contexte changeant et incertain (climat et multifonctionnalité de l'agriculture). Pour cela, le projet s'organise autour de deux thématiques (cf. Figure 4) : « cycles carbonés (C) – azote (N) et effet de serre » et « biodiversité, fonctionnement et dynamique des écosystèmes prairiaux ». L'objectif de l'unité est donc de comprendre les variables clés du fonctionnement de ces systèmes et les mécanismes de régulation, voire leur résilience, sont des défis importants pour pouvoir proposer des modes de gestion adaptés et pérennes assurant une gestion raisonnée des ressources du territoire.

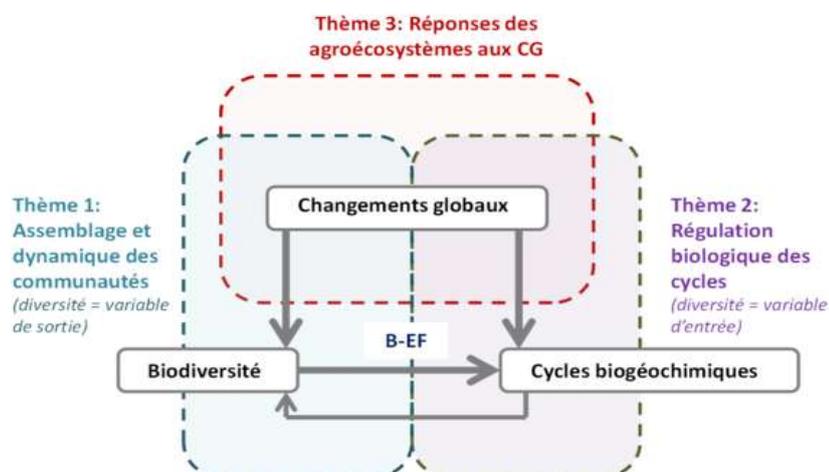


Figure 4 : Schéma des thématiques de l'UREP :

Source : <https://www6.ara.inra.fr/urep/Nos-recherches>

## **2) Présentation du cadre de stage :**

Le stage porte sur une des parcelles du SOERE-ACBB Theix-Laqueuille, dont l'UREP est en charge depuis 2004. Ce dispositif fait également partie d'une infrastructure française pour Analyse et Expérimentation pour des Ecosystèmes (AnaEE) et européenne pour des analyses de Cycles de C (ICOS, Integrated Carbon Observation System).

La gestion cultural (agricole) du SOERE-ACBB Theix-Laqueuille (en collaboration avec l'unité d'étude « Herbipôle »), porte sur deux gradients : I) niveau de chargement animal au pâturage et II) niveau de fertilisation minérale sur des parcelles conduites en fauche.

La parcelle concernée par le sujet de stage est située sur le site de Laqueuille, dédiée aux mesures de cycle de C et N, dont les échanges plante-sol-atmosphère. Le site a une surface totale de 9,6 ha, coupé en deux grandes parcelles (de 2,8 et 6,8 ha) gérées en pâturage continu avec un chargement animal fort ou faible, et avec une fertilisation NPK dans le cas du traitement fort chargement animal (210 N/ha). Les parcelles sont aménagées avec deux mats équipés pour les mesures de flux de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> à l'échelle de l'écosystème, ainsi que des mesures de flux de N<sub>2</sub>O par des chambres automatiques. Ceci permet de quantifier le stockage du C et les émissions de gaz à effet de serre (G.E.S) en prairie permanente de moyenne montage. Afin de comprendre, interpréter puis extrapolée ces mesures, un grand nombre de variables complémentaires sont acquises par différentes méthodes de mesures (destructives et non-destructive), exemple : la dynamique et qualité de biomasse végétale, composition botanique, etc...

L'objectif du stage portera sur la mise en place des différentes méthodes de mesures qui décrivent cette dynamique en prairie permanente. Plus précisément celui-ci porte sur 3 volets : I) la mise en place des protocoles de mesures et leur réalisation (terrain et laboratoire), II) l'analyse et comparaison des résultats et leurs préparation (mise en forme) des données pour une soumission sur base de données et III) rédaction des modes opératoire et fiche de terrain afin de permettre une utilisation plus simplifiée des appareils de mesure sur le terrain.

## **II) Matériels et méthodes :**

### **1) Site expérimental de Laqueuille :**

#### **a. Objectif du site :**

Au cours de ce stage, nous nous basons sur le site expérimental de Laqueuille. Ce site est situé à 40 kilomètres de Clermont-Ferrand, il dispose de 10 ha de prairies permanentes. Le site se trouve en moyenne montagne (1040 m d'altitude), ce qui est représentatif de la région (Auvergne-Rhône-Alpes). La température annuelle du site est de 8°C, tandis que les précipitations annuelles sont de 1000 mm. Le type de sol est un Andosol sur substrat basaltique, composé à 16% d'argile, 56% de limon et à 28% de sable, avec une profondeur de 35 à 85 cm ([4] Tallec T., Klumpp K., et al.). L'objectif avec ce site d'étude est de quantifier et modéliser les flux externes de carbone et d'azote, et d'enregistrer les variables d'états, tout en mesurant l'impact de la fertilisation minérale – pour différencier les degrés de couplage du carbone et de l'azote, dans les différents compartiments des écosystèmes – et du chargement animal.

Ainsi, depuis 2002, deux parcelles ont été mise en place. La parcelle *extensive* avec 3,4 ha qui comprend un faible chargement bovin (0,5 UGB/ha), sans fertilisation minérale. La deuxième parcelle, dite *intensive* (2,8ha), avec un fort chargement bovin (1 UGB/ha), avec une fertilisation minérale de 210N/ha. Tout ceci se fait sans aucune répétition et ce, sur chaque parcelle. Le site dispose aussi d'infrastructures qui vont permettre de mesurer les flux de CH<sub>4</sub> (Méthane), de CO<sub>2</sub> (dioxyde de carbone) et de N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote), par l'intermédiaire de différents dispositifs mis en place sur le site.

En 2017 la parcelle intensive a été agrandie, intégrant une partie d'une parcelle de fauche (total maintenant 5,4ha). Ainsi, ce stage sera aussi l'occasion de comparer les résultats de biomasse entre la partie pâturage (Intensif A) et la nouvelle partie étant anciennement en fauche (Intensif F).

#### **b. Equipements :**

##### **1. Le mât :**

Le site dispose d'équipements de mesure déjà en place au sein des parcelles, le tout formant un dispositif appelé : le mât. Ce dispositif permet de mesurer des échanges continus de flux d'énergies, de CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O et de CH<sub>4</sub>, entre l'écosystème et l'atmosphère. Une utilisation

couplée de différents appareils permet de se faire une idée précise de ces échanges. Pour ce qui est des mesures de concentrations de CO<sub>2</sub> et de vapeur d'eau dans l'air, le dispositif comprend des mâts équipés d'anémomètre sonique 3D de type GillR3, couplée avec un analyseur haute fréquence (à 20Hz), de type Li-Cor 7500. La méthode de mesure ainsi utilisée est la méthode des fluctuations turbulentes, dite, Eddy covariance. Afin de limiter la portée des mesures à la taille des parcelles, les appareils sont placés à une hauteur d'environ 2 mètres du sol. Une pompe reliée à un appareil récoltant les données permet de mesurer les flux de méthanes. (Photo + légende).

## **2. La station météo :**

Le site dispose aussi d'une station de mesure météorologique. Cette station dispose de plusieurs appareils qui permettent de se faire une idée du climat présent sur les deux parcelles. Elle comprend ainsi :

- Un thermomètre sous abri, permettant de mesurer des variables de températures, et d'humidité de l'air. En réalité, il y en a un situé à 50 cm du sol et un deuxième à 2m, afin de capter les différences entre l'humidité produite par le sol et celle de l'air.
- Un pluviomètre, qui renseigne sur les variations liées aux précipitations. Celui-ci est un pluviomètre chauffant afin de pouvoir faire fondre la neige et d'en récolter les informations de précipitation sans que la neige ne s'agglutine dans l'entonnoir.
- Plusieurs solarimètres de différentes générations. Chaque capteur, malgré les différences de génération, permet d'obtenir des valeurs précises de PAR, de rayonnement global, de rayonnement diffus, le rayonnement réfléchi, en mesurant aussi les différentes longueurs d'onde.
- Un anémomètre et d'une girouette qui donnent respectivement des données sur la vitesse et la direction du vent.
- Un baromètre qui mesure la pression atmosphérique,

Toutes ces infrastructures sont reliées à une centrale d'acquisition, enregistrant les données toutes les 30 minutes, le tout permettant d'obtenir les moyennes différents paramètres vus précédemment.

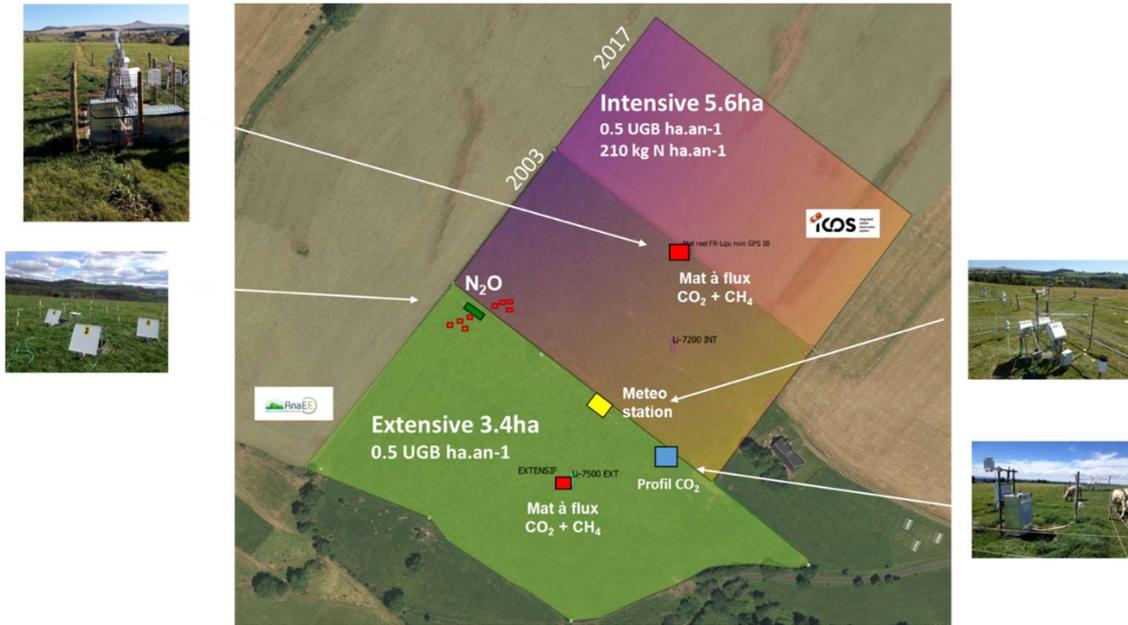


Figure 5 : Plan du site de Laqueuille. Il comprend les deux parcelles ainsi que les dispositifs mis en place sur le site.

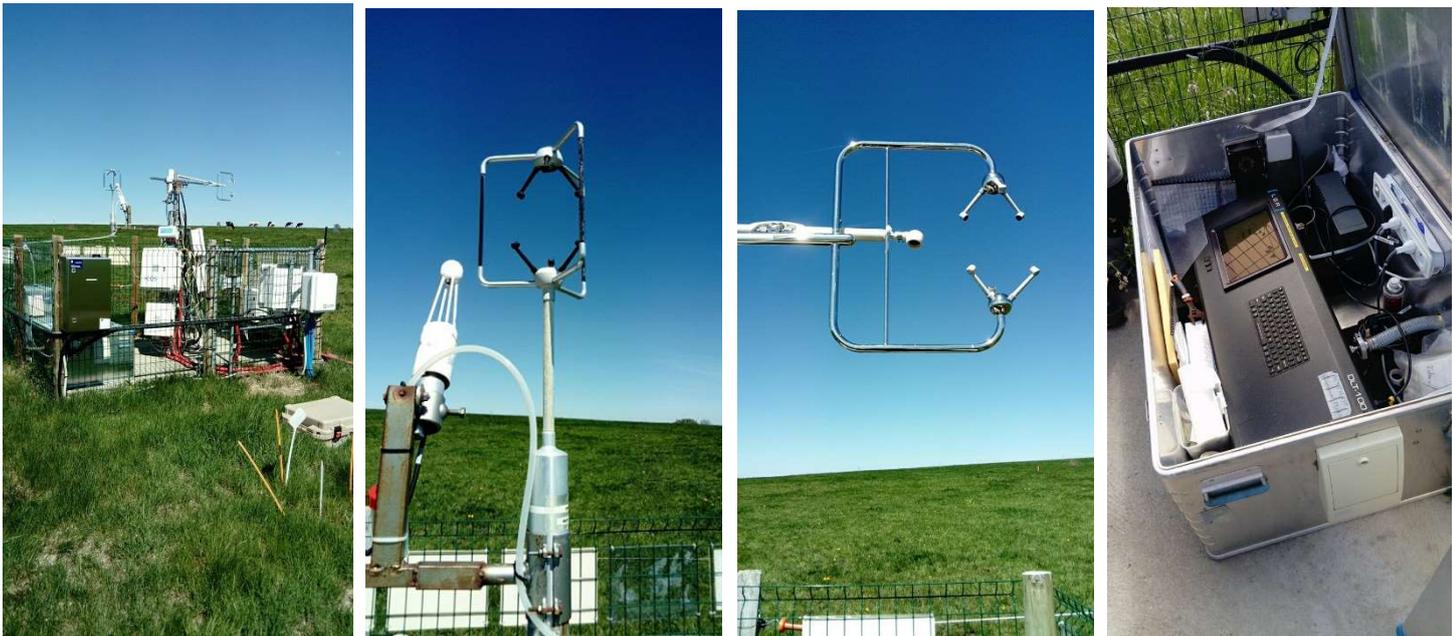


Figure 6 : Photo de quelques appareils du mât dans la parcelle intensive, avec de gauche à droite : le mât, l'anémomètre 3D et le Li-Cor 7500, l'autre anémomètre 3D (dernière génération), et l'appareil de mesure du méthane. (Source Clément Destrade).

### 3. Les chambres N<sub>2</sub>O :

Ce dispositif permet d'effectuer des mesures de flux à intervalle de temps réguliers. Il est constitué d'une base fixée au sol, qui permet de délimiter un carré de prairie. Ce carré de prairie sera le sujet des mesures. Sur celui-ci sera réaliser des mesures de CO<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>O (protoxyde d'azote) afin d'apprécier les échanges existants entre les plantes et le sol. Pour limiter l'échelle au carré de prairie sélectionné, un couvercle amovible commandé par une centrale viens recouvrir la base pour ainsi couper tout échange avec l'atmosphère au moment de la mesure.

Le site de Laqueuille dispose de 8 chambres N<sub>2</sub>O, soit 4 dans la parcelle extensive et 4 autres dans l'intensive. Un capteur d'humidité est présent au sein de la chambre, tandis qu'un capteur de température est planté dans le sol. Les données sont récoltées par des tuyaux placés au niveau d'ouverture. Ils permettent alors de captés les flux de CO<sub>2</sub> et de N<sub>2</sub>O et sont reliés à une centrale, permettant ainsi d'avoir un jeu de données.

#### 2) Suivie des productions biomasse au cours du temps, par méthodes destructives et non – destructives

Pour analyser l'évolution de biomasse au sein d'une prairie pâturée, trois variables sont acquises au cours de la saison de végétation (5 à 6 dates entre Avril-Novembre) ; des mesures 1) dites de « *Nettoyage* » (pour mesurer ce qu'offre la parcelle aux animaux ) qui correspondent à la biomasse sur pieds un moment donnée (ici AGB, AboveGround Biomass), 2) d'autres mesures dites « *Repousse* » (pour mesurer la production potentielle de la parcelle) qui correspondent à la quantité de biomasse que l'on peut potentiellement prélevée (Production Primaire Nette Annuelle (PPNA) ou Aboveground Net Primary Production (ANPP), qui est une repousse entre date (x) et date (x+1) sous cage après nettoyage, puis 3) des mesures dites de « *Croissance* » qui est la quantité de biomasse produite (entre deux dates) qui a été potentiellement ingérée par les animaux (Figure 7).

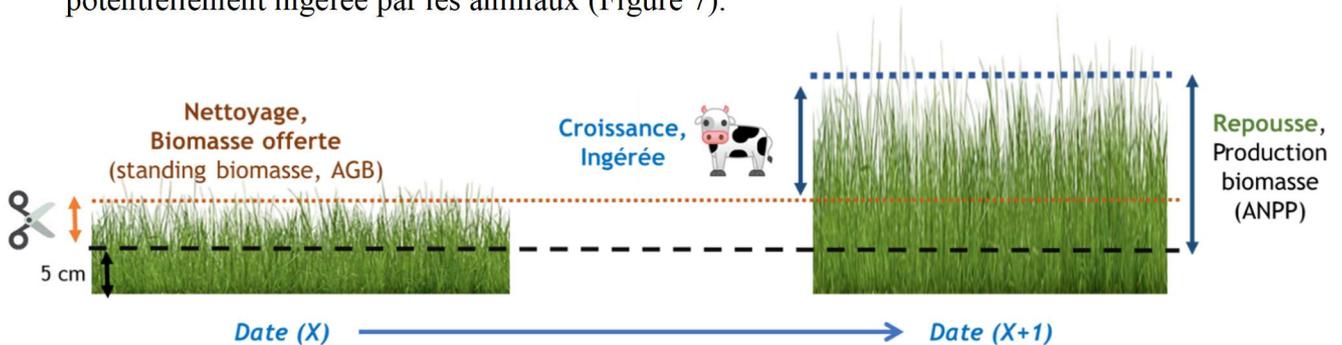


Figure 7 : Schéma représentatif des différentes coupes de biomasse.

Plus en détail :

- L'AGB, est définie comme la matière sèche des fractions de végétation au-dessus du sol par unité de surface de sol, et comprend la biomasse vivante et morte du matériel végétal [1]. Ainsi, les mesures d'AGB sont des mesures de biomasse aériennes qui correspondent à la biomasse sèche de végétation par unité de sol, soit en kg/ha ou MS/ha.

- la Production Primaire Nette Annuelle (PPNA) ou Aboveground Net Primary Production (ANPP), permet d'estimer la capacité d'une prairie de produire du fourrage ce chiffre est comparable aux récoltes en tonne de MS/ha/an de foin ou ensilage de l'herbe.

Afin de réduire la charge de travail, des méthodes non-destructive sont testées et comparées à des résultats de méthodes destructives. Les mesures de terrain et de laboratoire de l'AGB et de l'ANPP portant sur des méthodes (non) destructives sont schématisées sur la figure 8.

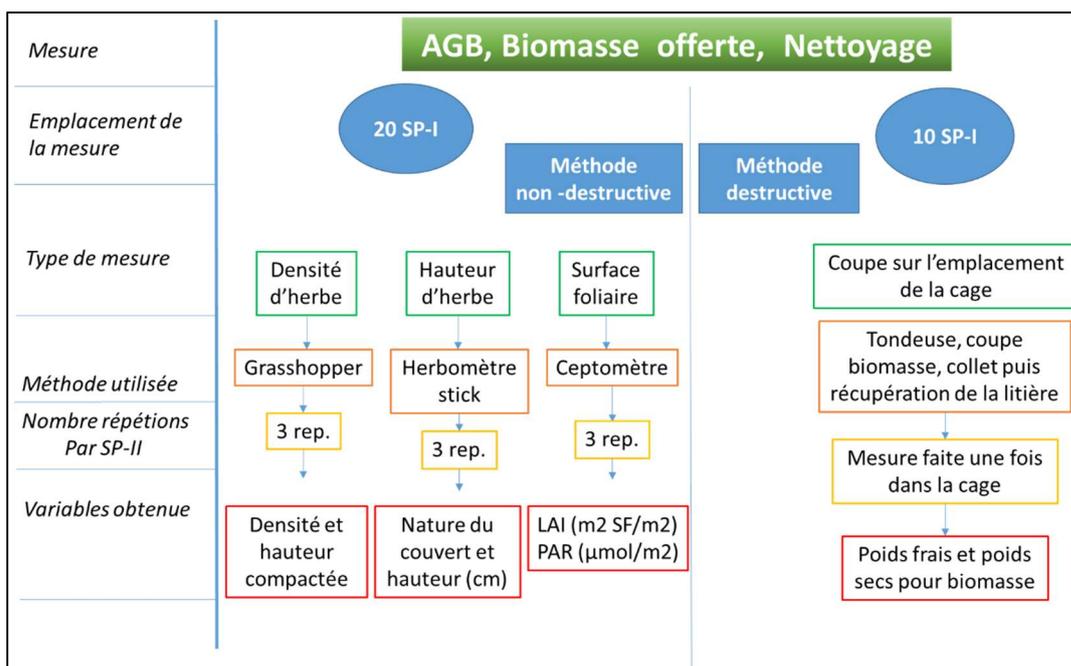


Figure 8 : Schéma des différentes mesures réalisées sur le terrain.

### a) Plan d'échantillonnage :

A chaque date, les mesures destructives et non-destructives sont faites sur 20 zones d'échantillonnages – appelées SP\_I – espacées de 20 m les unes des autres, et éloignées de 10 m d'une zone impropre aux mesures. Chaque zone comprend un rayon de 10 m (figure 9). Les zones d'échantillonnages sont nommées SP\_I suivi d'un chiffre tel que 01 ou 15. Ces chiffres

vont de 1 à 20, et correspondent aux différentes zones d'échantillonnages établies dans la parcelle.

Au sein de ce rayon, 5 points géo-référencés sont répartis – appelés SP\_II. Ces 5 points correspondent aux 5 répétitions (ou date) de récolte de biomasse à effectuer au cours de l'année. Toutefois, si un point n'est pas apte à effectuer une mesure, une réserve de 15 points programmés sur un plan, est à disposition et permet d'inter changer avec ce même point. Pour ce qui est des dates, celle-ci doivent être séparées de 4 à 5 semaines avec une répétition au début du pâturage (T0), une autre au pic de végétation, et enfin la dernière en fin de saison de pâturage.

Pour rappel, la parcelle intensive a été agrandie en 2017, les 20 zones d'échantillonnages – se situe ainsi une partie dans anciennement parcelle (en place depuis 2003) et une partie dans l'agrandissement (en fauche auparavant) (figure 9).

La parcelle dite *extensive*, suit un protocole selon le cahier des charges du SOERE. La parcelle extensive comprend de ce fait que 10 zones d'échantillonnages (10 cages).

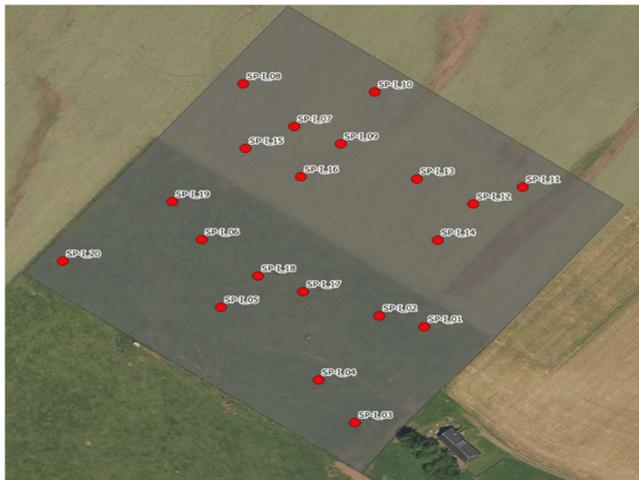


Figure 9: Parcelle intensive avec 20 zone d'échantillonnage – appelées SP\_I, avec 10 SP\_I en place depuis 2003 (N° XXX) et 10 SP\_I en place depuis 2017 (zone plus claire, N° 8,9,10,11,12,13, 14, 16, 16).

#### **b) Matériel pour les mesures non-destructives :**

Dans le cadre du sujet d'étude (évolution de la biomasse), nous utilisons trois mesures non-destructive pour l'estimation de la biomasse sur pied (« offerte ») : 1) la hauteur d'herbe (cm), 2) herbomètre à plateau (une combinaison de hauteur et densité du couvert), 3) mesure de l'interception de lumière (green area index, GAI).

Ces mesures sont effectuées sur 20 SP\_I (voir ANNEXE), juste avant de prélever la biomasse. Selon la mesure on réalise 3 répétitions par SP\_I (SP\_II) avec 3 mesures pour le GAI (donc au total, 60 répétitions), 3 mesures de hauteur d'herbe au stick, et une mesure pour

l'herbomètre à plateau, afin d'avoir la hauteur par densité d'herbe. Une telle démarche nous offre la possibilité de réduire le nombre d'erreur et de protéger au mieux les données, permettant ainsi une meilleure interprétation des résultats obtenus.

### **1. Herbomètre stick enregistreur :**

Herbomètre à stick est une simple tige métallique graduée servant à mesurer la hauteur de l'herbe. Il est équipé d'un boîtier permettant d'enregistrer les hauteurs d'herbes mesurées.

### **2. Herbomètre à plateau :**

La mesure non-destructive concernant la hauteur par densité du couvert se fait à l'aide d'un herbomètre à plateau (cf. entreprises telles qu'Arvalis, ou Grasshopper). Cet appareil est aussi utilisé par des agriculteurs, car il permet d'aider ces derniers dans la gestion de leur parcelle. On appelle ces appareils, des outils d'aide à la décision.

L'utilisation de l'herbomètre à plateau se base sur le principe qu'un plateau de taille et poids connus, posés sur la végétation rencontre la résistance de l'herbe lors de la compression. Cette résistance s'exprime par une hauteur d'herbe "compressée" qui tient compte de la densité du couvert végétal à l'endroit de la mesure : plus l'herbe est dense, moins elle s'écrase sous le poids du plateau. Cette hauteur est convertie en quantité de MS par ha.

Nous disposons ainsi de ces deux appareils pour mesurer la hauteur par densité d'herbe. Etant issus de marques différentes, leur utilisation est susceptible de différée, une comparaison de ces deux appareils a été effectuée avant utilisation sur le terrain.

*i) Herbomètre plateau (Arvalis) :* est constitué d'un plateau de 30 cm x 30 cm pesant 405 g, solide d'un tube coulissant sur un axe. Au sommet de cet axe est fixé une poignée pour manipuler l'appareil et une tablette servant de support pour écrire.

Avant toute utilisation, il faut le pourcentage d'erreur. Pour ce faire, étalons sur une surface plane. La plateau en bas de la barre, au contact point de mesure le plus bas. Pour la devra être placé tout en haut de la le point de mesure le plus haut.



l'étalonner, afin de minimiser on effectue deux mesures première mesure se fera avec le avec le sol, ce qui représente le deuxième mesure, le plateau barre, ce qui représente, de fait,

Figure 10 : Photo d'un herbomètre enregistreur de la marque Arvalis.

ii) **Herbomètre plateau (Grasshopper)** : est constitué d'un plateau de 35,5cm de diamètre pesant 480,71g

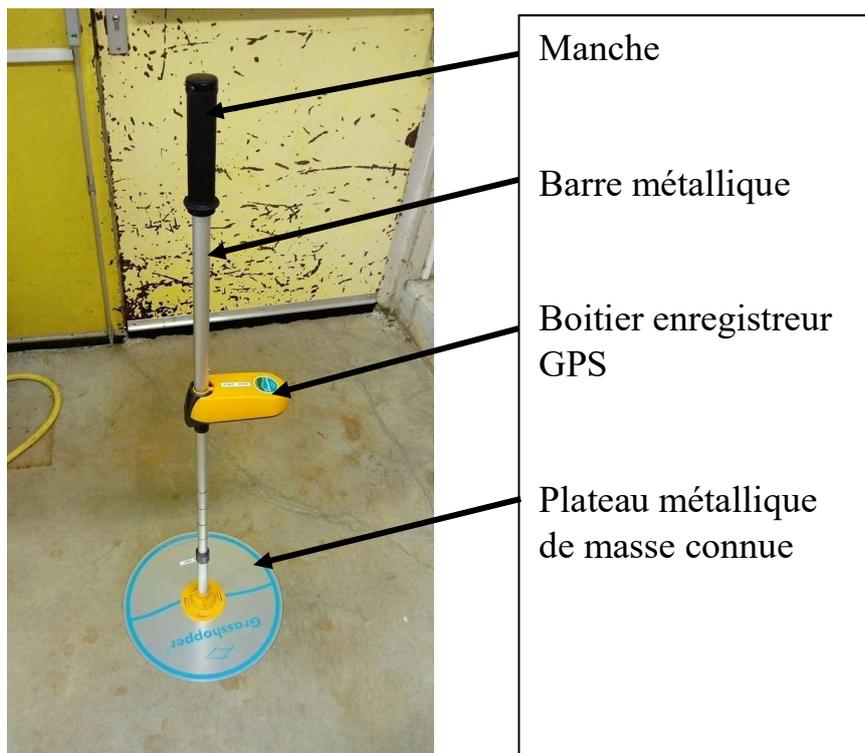


Figure 11 : Photo légendée de l'herbomètre à plateau de la marque Grasshopper.  
Source personnelle.

Il s'agit d'un appareil de dernière automatisée connecté à une application du même nom, qui permet d'enregistrer des parcelles, les valeurs mesurées et d'envoyer ces mêmes données par mail.

Grâce à ce système, son utilisation s'avère assez simple à travers une application sur Smartphone. Cette manœuvre s'effectue par l'intermédiaire du Bluetooth. Une fois ceci fait, il faut calibrer l'appareil, on peut alors passer à la cartographie de la parcelle sur laquelle seront réalisées les mesures. Pour cela, on effectue les mêmes gestes que lors des mesures, c'est-à-dire que l'on enclenche le Grasshopper point par point, chaque point déterminera alors les limites de la parcelle. Une fois la parcelle enregistrée, les mesures peuvent être effectuées. Pour cela, on détermine le nombre maximal de points nécessaires pour mesurer toute la parcelle. Puis, on réalise les points de mesure en fonction de la parcelle.

Les valeurs enregistrées sont ensuite envoyées par mail, afin que nous puissions les recueillir et monter la base de données permettant par la suite d'analyser le tout. Un fichier pdf est aussi envoyé, accompagné d'un graphique présentant les tendances liées aux mesures.

L'étalonnage effectué, nous pouvons ainsi procéder aux mesures. Pour ce faire, on réalise le même transect de point que pour le Grasshopper. A l'instar de ce dernier, on pose l'herbomètres sur le couvert. La barre plonge alors dans le couvert, tandis que le plateau va permettre d'évaluer la hauteur d'herbe, celui-ci étant posé sur le haut du couvert. Pour enregistrer les données, un bouton se situe sur le boîtier de l'appareil, il suffit d'appuyer sur celui-ci et les valeurs sont enregistrées dans l'herbomètres. Pour récupérer ces valeurs, un câble est mis à disposition. Les données sont alors récupérées par celui-ci et intégrées à la base de données.

### ***iii) Comparaison Herbomètre à plateau Arvalis vs Grasshopper :***

Afin de permettre une comparaison plus rigoureuse et avec le moins d'erreurs possible, une réflexion a été apportée sur la mise en place des mesures. Nous avons ainsi décidé, de réaliser les mesures avec un unique manipulateur tenant un herbomètres dans chaque main. Le manipulateur va réaliser un transect représentatif de la parcelle (voir image Grasshopper). Ainsi pour la parcelle intensive, il s'agira d'un transect de 100 points, soit 10 fois 10 points dans le sens de la longueur. De fait, quand le manipulateur effectue la ligne, il doit déterminer l'emplacement de chaque point de mesure. A chaque point déterminé, il va donc d'abord réaliser une mesure avec le Grasshopper, puis une autre au même point avec l'herbomètres à plateau. Un intervalle de temps de 3 secondes est compté afin de permettre à l'herbe de se

redresser étant donné qu'elle a tendance à s'affaisser sous la pression du plateau de chaque herbomètres. Puis l'herbomètres enregistreur mesure à son tour. On répète donc cette même méthode sur 100 points.

### **3. Mesure de la surface foliaire (GAI) par le ceptomètre :**

La biomasse sur pied peut être estimée par la surface foliaire des végétaux, par un indice de surface foliaire par unité de surface de sol « green area index ». Cette donnée inclue toutes les parties aériennes des plantes qui contribuent à la capacité photosynthétique totale de la végétation [1]. En prairie, cette donnée nous permet de nous rendre compte de la capacité du couvert à intercepter l'intensité lumineuse. On distingue deux méthodes pour le mesurer : sur terrain non-destructive par le ceptomètre (ou méthode AccuPAR) et au laboratoire par le planimètre (mesure destructive).

Le ceptomètre est un appareil qui permet de mesurer la radiation photosynthétiquement active (PAR), en micro moles par mètre carré par seconde ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ), qui permet, en inversant ces valeurs, de calculer l'indice de surface foliaire (GAI). Il s'agit d'un appareil composé d'un boîtier électronique, muni d'une sonde d'environ 80 cm, composé de 8 segments. Ces 8 segments vont permettre la mesure du LAI. Un capteur externe est aussi connecté au boîtier, celui-ci permettant de mesurer le rayonnement global.

La méthode d'utilisation de l'appareil est la suivante. Il faut d'abord l'allumer et commencer par connecter le capteur externe au boîtier. On fait ensuite, une calibration de l'appareil, qui va permettre de déterminer l'intervalle d'erreur entre le capteur externe et les capteurs du PAR. On réalise ensuite une mesure DIAG, demandée par ICOS. Cette mesure DIAG sert de référence de calibration, car celle-ci ne s'effectue pas dans le couvert. Elle permet donc de vérifier que la sonde et le capteur externe n'ont aucun problème, étant donné qu'ils doivent obtenir la même valeur. Une fois le DIAG terminé, on peut alors procéder aux mesures dans le couvert.

Les mesures sont effectuées dans l'ordre des SP\_II, juste avant de prélever la bande d'herbe dans la cage. A chaque cage, il faut se placer face au soleil, planter le piquet avec le capteur externe et faire 3 mesure dites BELOW avec la sonde sous le couvert. Un niveau à bulle permet de déterminer si l'appareil et le capteur sont tous les deux droits. Une fois cela fait, on peut mesurer. Sur le dispositif de Laqueuille, nous avons choisi de réaliser 3 répétitions par SP\_II ce qui fait donc au total, 60 répétitions. Une telle démarche nous offre la possibilité de

réduire le nombre d'erreur et de protéger au mieux les données, permettant ainsi une meilleure interprétation des résultats obtenus.

### **3) Mise en place des méthodes non-destructives :**

#### **a) Méthodes sur le terrain :**

Au cours de ce stage, les deux mesures de Biomasse ont été réalisées. Lors de la première, il s'agissait de l'entrée en pâture des animaux. On allait donc mesurer « ce qu'offre » la parcelle (AGB offert). Cette première mesure est intitulée « Nettoyage », car la zone nettoyée est ensuite protégée par une cage afin d'éviter que les animaux mangent la biomasse qui « repousse » (production, ANPP). Un deuxième jeu de 10 cages, n'est pas « nettoyé » auparavant mais seulement pose sur son emplacement (SP\_I). Ces cages « non-nettoyées » seront utilisées pour estimer la quantité biomasse ingérée pendant la période (entre deux dates de mesure) (cf. Figure 7).

Sur 20 zones d'échantillonnage – appelées SP\_I, les prélèvements « nettoyer » (AGB) et « non-nettoyer » (ingestion animal) sont échangé entre les SP\_I paires et impaires à chaque date, afin d'assurer un prélèvement représentatif de la parcelle intensive.

Lors de cette date, les deux méthodes des mesures (destructives et non-destructives) sont réalisées. Plus en détail les 20 zone d'échantillonnage (SP\_I) la biomasse offerte est mesurée *non-destructive* par l'herbomètre plateau, ceptomètre et hauteur stick) avant que toute coupe ne soit réalisée. Après cela, la coupe *destructive* de biomasse est effectuée sur l'emplacement de la cage, à l'aide d'une mini-tondeuse. La coupe doit se limiter à 5 cm du sol, juste au niveau des collets. Une fois que toute la cage a été coupée, la litière est ensuite ramassée en raclant le sol, notamment à l'aide d'un couteau. Chaque partie ramassée est placée dans un sac Kraft annoté. Ces sacs seront ensuite transportés au laboratoire, où les tris et les pesées seront effectués (voir schéma au verso). Dans le but de connaître les réserves carbonées qui se situe dans la gaine (<5cm, collet), les collets sont échantillonnés 3 fois par an en coupant les 5cm restant à l'aide d'un couteau à ras du sol.

Lors de la deuxième date de mesures de Biomasse, toutes les « **repousse sous cages** » (celles avec nettoyage auparavant et sans nettoyage) sont coupés pour l'estimation de ANPP et ingestion animal (cf. Figure 7). Ensuite les cages changent de position, et une mesure de **Nettoyage** est réalisées sur les emplacements des cages (SP\_II – 02 à 20). Cette méthode est exactement la même que lors de la première mesure de Nettoyage.

#### **c) Méthodes au laboratoire :**

Les biomasses prélevées lors des « **Nettoyage** » (AGB) et « **Repousses** » (ANPP, ingérée) sont amené au laboratoire dans le but de déterminer i) la quantité (poids matière sèche) et plus en détail dans le cadre des « **Nettoyage** » ii) leur qualité/composition en termes de groupes fonctionnelle (figure 12).

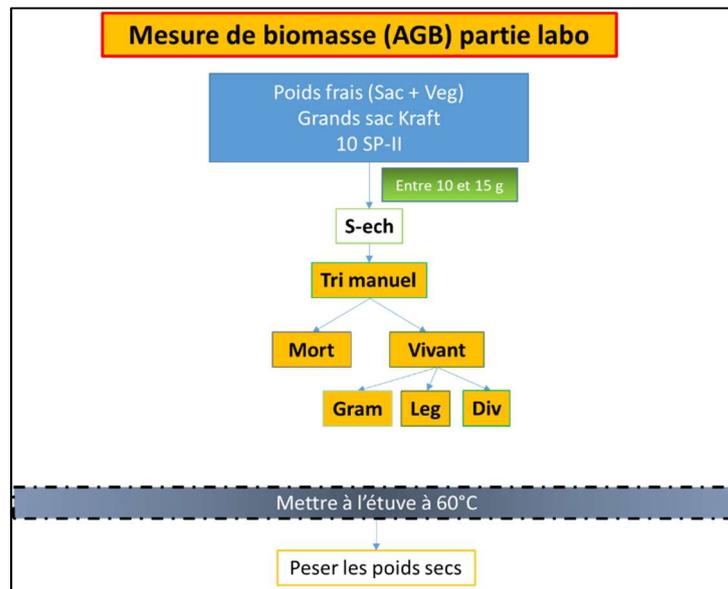


Figure 12 : Schéma représentant la réalisation des mesures en laboratoire.

Lors de la partie laboratoire, les sacs sont d'abords pesés en frais. Cela nous permet d'obtenir le poids frais de la biomasse récoltée, sachant qu'un sac kraft, dit Sac Tare, a été pesé afin de soustraire le poids du sac au poids total. Ceci est fait alors de même pour tous prélèvements ; les repousses (20) et nettoyages (10).

Le tri est effectué pour les 10 nettoyages (AGB) (cf. figure 12). Afin des réduire la taille des échantillons prélevée parfois volumineux un sous échantillon +reste (annotés S-Ech et reste) est faites. Pour ce faire, les échantillons sont sortis des sacs et sont éparpillés sur une paille. L'objectif est de chercher l'homogénéité de l'échantillon en termes de groupes, tiges, fleures, etc. afin d'obtenir quelque chose de représentatif. Ce sous échantillon (S-Ech, compris entre 10 et 15 g fraiche), est trié par la suite. Le tri s'effectue en plusieurs catégories correspondant au type fonctionnel du matériel végétal ; les légumineuses, les dicotylédones (ou diverses), les graminées, et le matériel sénescant (mort). Chaque partie triée et « reste » sont mise à séchée à l'étuve à une température de 60°C, pendant 48h. A la fin des 48h, le tout sera pesé en sec (obtention du poids sec) avec soit une balance précise à 0,01 g, pour les poids supérieurs à 1 g et une autre à 0.001 g pour les poids inférieurs à 1 g. Les poids seront ensuite

répertoriés dans la base de données concernée. Les échantillons sont ensuite rangés dans un carton, et gardé en réserve pour toute vérification, ou besoin éventuel à l'avenir.

Pour ce qui est **des collets**, on vérifie qu'il n'y a pas de terre, ou d'impureté dans l'échantillon, mais s'il y en a, on passe cet échantillon au tamis (2 mm). En effet, comme les collets sont prélevés au ras du sol, des morceaux de terre peuvent être présent. Ces morceaux risquent alors fortement de modifier le poids de l'échantillon. Une fois triés de cette façon, les échantillons de collets sont alors pesés en Frais puis placé à l'étuve à 60°C pendant 48h. Les 48h passées, les échantillons seront pesés en secs, puis rangés comme vu dans le paragraphe précédent.

Les litières ne sont pas pesées en frais. Ensuite un pourcentage de matériel vert dans l'échantillon est estimé à l'œil si nécessaire. Le pourcentage relevé par l'observateur est ensuite répertorié sur la base de données. Une fois cette méthode réalisée, les échantillons sont placés à l'étuve à 60°C pendant 48h et seront par la suite pesés en sec puis rangés comme vu précédemment.

Par ailleurs, lors de la deuxième date de mesure, une bande de 80x10 cm est coupée avant le reste de la cage. L'herbe alors récoltée sera mise dans un sac Kraft et sera déjà considérée comme un S-Ech. Cette bande va servir d'échantillon de mesure de LAI au planimètre (cf. Méthode destructives VS non destructives). Au préalable, une mesure de PAR (Photosynthetically Active Radiation) a été effectuée dans cette bande, alors qu'elle n'était pas encore coupée. Après quoi, nous avons pu passer aux autres mesure (Nettoyage et Repousse).

Dans la parcelle extensive, la façon de récolter l'herbe reste la même (mini-tondeuse, cage). Seulement, les cages ont des positions fixes et ne changent pas de position au cours de la saison. Néanmoins, 5 cages sont réservées aux mesures de Croissance (n°21 à 25). Celles-ci n'ont subi aucune coupe en début de saison de pâturage, contrairement aux 10 premières (n°10 à 20). De plus, des mesures d'herbomètre et de ceptomètre sont aussi réalisées aux points de mesures. En laboratoire, les méthodes de tris sont les mêmes.

### **3) Comparaison des mesures de GAI (ceptomètre VS planimètre) :**

Dans le cadre de l'infrastructure ICOS, il est demandé de comparer les mesures de GAI non-destructive (par le ceptomètre) avec une mesure destructive (cf. planimètre).

Le planimètre est un appareil de mesure non-portatif, qui permet lui aussi d'effectuer des mesures de GAI. A l'inverse du ceptomètre, cette mesure est dite destructive. Il faut en

effet, couper des bandes d'herbe à l'aide de mini-tondeuses. Ces bandes d'herbes alors récoltées seront ensuite analysées en laboratoire et serviront à mesurer une surface verte totale par surface de sol (Figure 13).

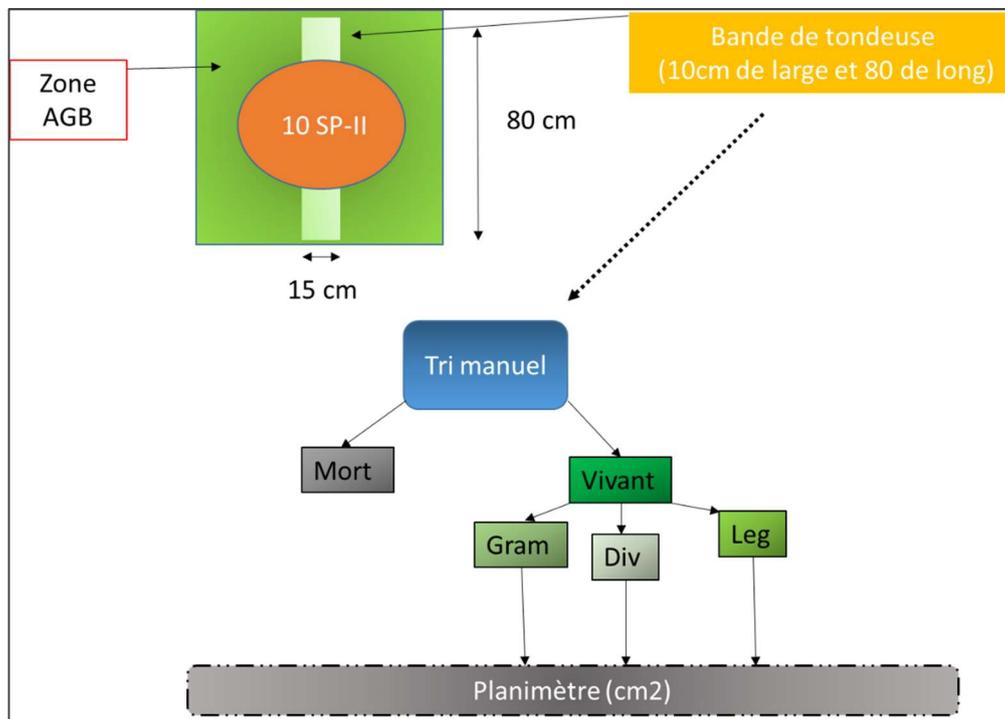


Figure 13 : Schéma représentatif des mesures de planimètre et de ceptomètre dans un objectif de comparaison.

Le planimètre est un appareil qui mesure l'interception de lumière (ombrage) d'un objet, passant sur rouleaux. L'ombrage est transféré en surface (cm<sup>2</sup>). Passant les talles et plante au-dessus d'un rouleau permet de mesurer la surface « foliaire » de l'herbe.

Cette analyse se concentre sur une partie de la cage réservée aux mesures de AGB, sur laquelle on prélève la biomasse lors de la mesure faite au ceptomètre. De ce fait, la biomasse est prélevée sur une largeur de lame de tondeuse (soit environ 10 cm), et une longueur égale à celle de la cage (80 cm). Les sacs d'herbes sont ensuite emmenés au laboratoire pour procéder à l'analyse.

Par la suite, les mesures sont effectuées de la façon suivante. Les sacs sont d'abord pesés le lendemain de la récolte, après avoir été mis au préalable en chambre froide, afin de leur permettre de garder l'eau. On pèse alors le poids frais de l'échantillon. En cas de récolte sous des conditions d'humidité élevées, les sacs sont alors laissés dans une autre salle à température ambiante afin de les laisser sécher (en effet s'ils sont trop chargés en eau, les valeurs de poids

frais peuvent être aberrantes). Une fois pesés en frais, les échantillons sont prêts à être mesurés. Nous allumons alors le planimètre.

Afin de calibrer l'appareil, un carton d'une surface connue (48 cm<sup>2</sup>) est utilisé afin de connaître si le planimètre rencontre un problème, puisque celui-ci – au passage de l'étiquette – affichera le bon résultat. Après cela, nous avons réalisé deux répétitions par échantillon (passage), ceci nous permettant d'être plus rigoureux dans la démarche et d'avoir, par l'obtention des moyennes, des valeurs plus appréciables pour l'interprétation.

L'objectif de toute la démarche vue précédemment, est donc de comparer l'efficacité des méthodes du point de vue des résultats, mais aussi du point de vue technique (gestion du personnel, gestion des ressources à disposition, compréhension des protocoles ICOS, etc...).

#### 6) Analyse de données

Des tests statistiques simples ont été effectués à l'aide des fonctions disponibles sur Excel 2016 (Microsoft), afin de mieux comparer les différences entre dates de prélèvement, parcelles (cf. moyenne et erreur standard) et variables mesurées (cf. régressions simples, et coefficient de variance).

### **III) Analyse et discussion des résultats :**

#### 1) Mesures de biomasse par des méthodes destructives :

##### 1) Biomasses offertes (nettoyage, AGB) :

Dans cette partie nous allons analyser les résultats de biomasse obtenus entre la partie anciennement en place (depuis 2003, *Intensif A*) et la partie après agrandissement en 2017 (anciennement fauche, *Intensif F*) pour 3 dates de prélèvement (Mai, Juin et Juillet). Cela nous a permis de mettre en évidence l'hétérogénéité de la parcelle et d'apprécier la différence potentielle entre l'Intensif ancien et l'intensif fauche.

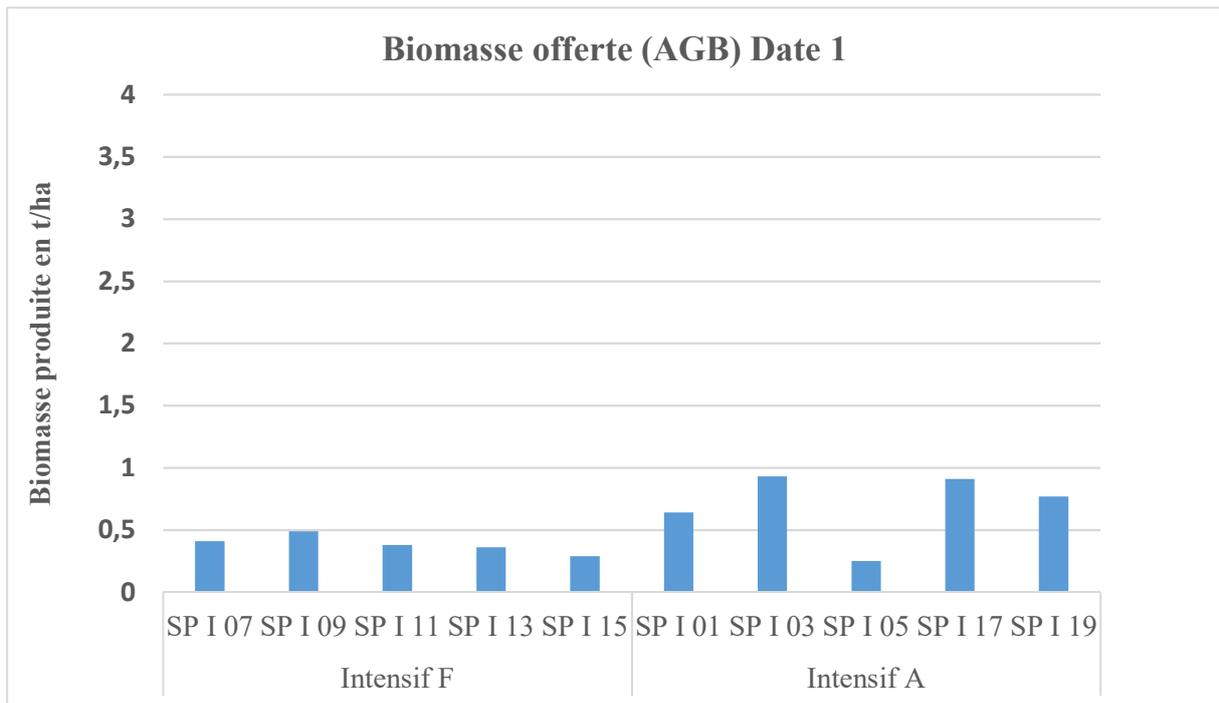


Figure 14 : Diagrammes représentant la biomasse offerte par points (SP\_I) avec une comparaison, lors de la date 1 (Biomasse 1). Avec anciennement en fauche (Intensif F) anciennement intensive (Intensif A).

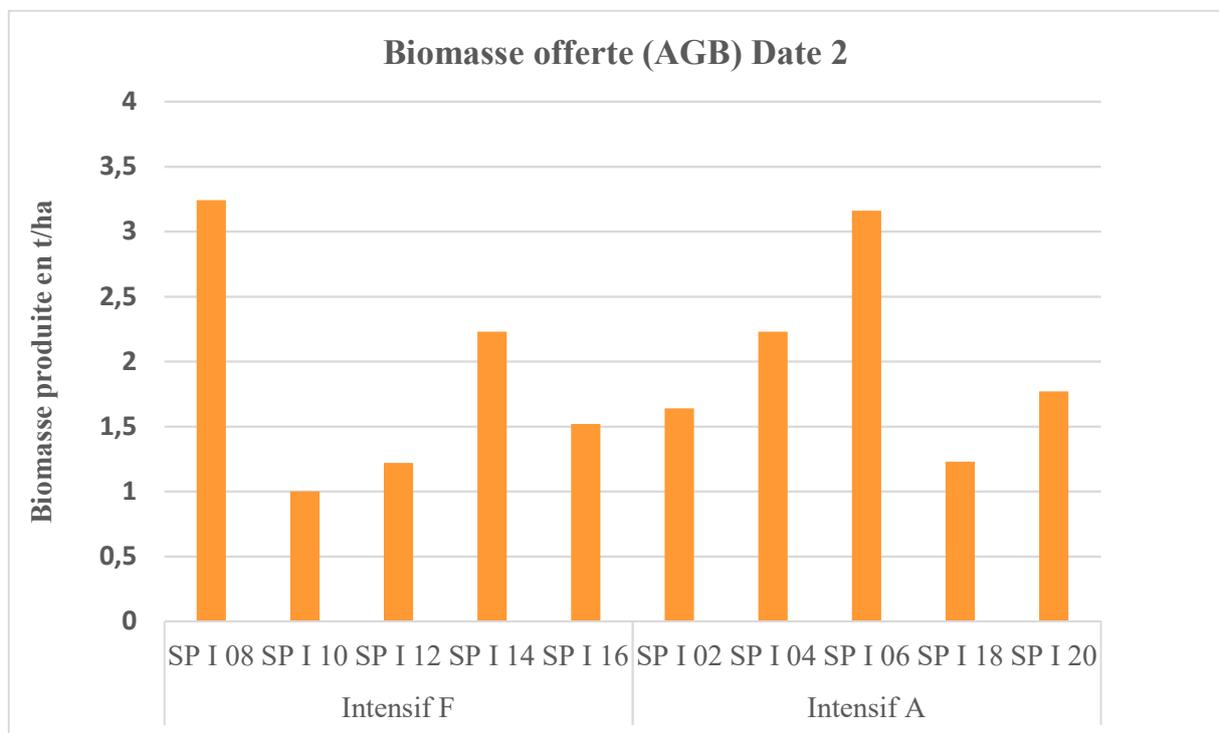


Figure 15 : Diagrammes représentant la biomasse offerte par points (SP\_I) avec une comparaison, lors de la date 2 (Biomasse 2). Avec anciennement en fauche (Intensif F) anciennement intensive (Intensif A).

La figure XX montre les biomasses offertes par point de prélèvement (« *Nettoyage* », dites AGB, t MS/ha) sur les deux premières dates de mesure (le 17/04/19 et le 27/05/19). Nous pouvons observer, lors de la première date, que malgré une hétérogénéité bien présente, il y a une différence entre les deux parties de la parcelle. D'après ce diagramme, basé sur les valeurs obtenues par points, la partie anciennement en fauche (Intensif F) présente des valeurs plus faibles que la partie anciennement intensive (Intensif A). En effet si l'on compare les valeurs des points les plus hauts (SP\_09 pour Intensif F et SP\_03 pour Intensif A) entre eux, on obtient en moyenne : 0,49 (de l'intensif F) < 0,93 t/ha (l'intensif A). En revanche, si l'on fait l'inverse avec les valeurs les plus faible on obtient l'effet inverse : soit 0,29 (Intensif F) > 0,25 t/ha (Intensif A). Preuve une nouvelle fois de l'hétérogénéité concernant la capacité de production de la parcelle. Mais, il est important de constater que toutes les valeurs de l'intensif F sont inférieures à la deuxième valeur la plus faible de l'intensif A (valeur à 0.64 t/ha). Pour comparer, la valeur la plus d'intensif F est inférieure avec 0,49 t/ha.

Ainsi, nous pouvons dire qu'en début de saison de pâturage (fin Avril), une parcelle de pâturage sera plus productive qu'une parcelle anciennement en fauche, compte tenu de leur utilisation ainsi que de leur composition botanique (espèces précoce vs tardif, données non montrées).

Lors de la deuxième date (le 27 mai) l'hétérogénéité entre les points de prélèvement persiste, mais l'on observe très peu de différence entre les deux parties de la parcelle (figure 14). Les valeurs, sont beaucoup plus équilibrées et il est plus difficile de les comparer. De ce fait, on peut voir que la parcelle anciennement en fauche a comblée son retard (cf. espèces précoce vs tardif). On peut alors émettre l'hypothèse que la partie anciennement en fauche à une capacité de croissance supérieur (espèces en croissance rapide), car en raison du phénomène de coupe, seules les plantes les plus aptes à la défoliation ont été sélectionnées naturellement. Ces potentiels de croissance et de production dits « Repousse » seront détaillés dans la section d'après.

La figure suivante nous permet d'avoir une vision plus générale, puisqu'elle montre les moyennes des parcelles, avec l'intervalle d'erreur. Nous pouvons ainsi observer sur cette figure une nette différence de production de biomasse entre l'intensif A et F et l'extensif (figure 15). En effet, en début de pâturage, la biomasse offerte de la parcelle extensive reste tendancielle et supérieure à celle de la parcelle anciennement en fauche, avec  $0,55 \pm 0,25$  vs  $0,39 \pm 0,07$  t/ha (respectivement, Extensif à gauche et intensif à droite). En revanche elle est inférieure à la biomasse offerte de la partie anciennement intensive (avec  $0,55 \pm 0,28$  t/ha pour l'extensif et 0,7

t/ha pour l'intensif A) à la 2<sup>ème</sup> date. Toutefois compte tenue d'erreur standard, il n'y a pas de réelle différence entre la parcelle intensive et la parcelle extensive au début de la saison de pâturage. Or, si l'on regarde la deuxième date de mesure de biomasse, on observe cette fois-ci une nette différence. La biomasse offerte lors de la deuxième date est nettement plus faible pour la parcelle extensive ( $0,7 \pm 0,3$  t MS/ha) que pour la parcelle Intensif F ( $1,84 \pm 0,9$ t/ha) et que pour l'intensif A ( $2,01 \pm 0,7$  t MS/ha).

En ce qui concerne la parcelle extensive, 8 valeurs restent aux alentours de 0,5 t MS/ha pour les deux dates ces valeurs s'expliquent par une composition botanique avec des espèces conservatives (croissance données non montrée). Durant cette période, les plantes ne produisent pas encore de fleur, et les graminées ne sont pas encore en phase d'épiaison.

En revanche, on peut observer cette fois-ci une différence entre la parcelle intensive et extensive pour la deuxième date, qui s'explique par la fertilisation azotée et indirectement par l'impact du chargement animal sur la parcelle. Plus en détail, un chargement animal plus élevé, réduit la diversité végétale (données non montrée), car seules les plantes les plus résistantes à la défoliation (cf. croissance rapide) et au piétinement seront sélectionnées naturellement. A l'inverse, le phénomène de compétition est plus important dans l'extensif car il y a plus de diversité, les animaux ont un impact plus réduit sur la parcelle, du fait de leur chargement moins important.

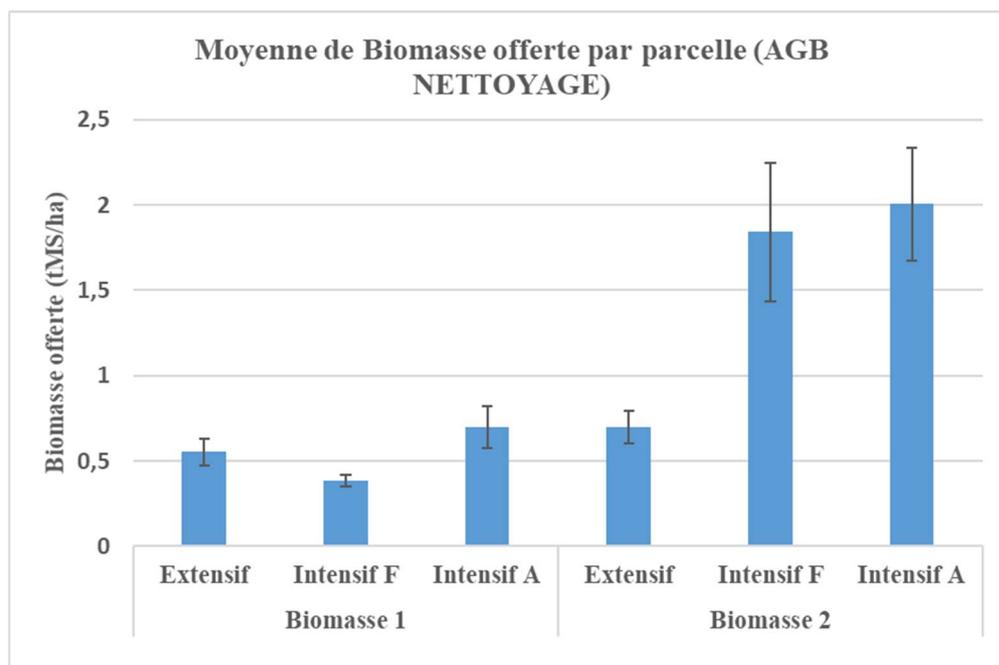


Figure 16 : Diagramme représentant les moyennes de biomasse offerte par parcelle sur les dates 1 et 2. Avec la parcelle intensive, anciennement en fauche (Intensive F), anciennement intensive (Intensif A) et la parcelle extensive.

### 1.1.1) Relation entre variables mesurées sur le terrain :

Afin d'estimer l'importance des différents organes (compartiments) récoltés au lieu du suivie de biomasse, nous avons comparé les biomasses sur pied (biomasse offerte, AGB) avec celles des collets (biomasse entre 5cm et sol). Suivant la biomasse des collets au cours du temps on constate qu'il y a une relation marquante pour la première date (sorti hiver), qui s'estompe à la deuxième date (biomasse maximale du couvert). Les graminées pérennes, stockent leurs réserves sous forme de sucre dans les racines et collets. En sortie d'hiver ces réserves sont mobilisées pour la première pousse de biomasse (date 1) jusqu'à ce que les tissus photosynthétiquement actifs reprennent le relai (date 2, ici absence de relation entre collet et AGB).

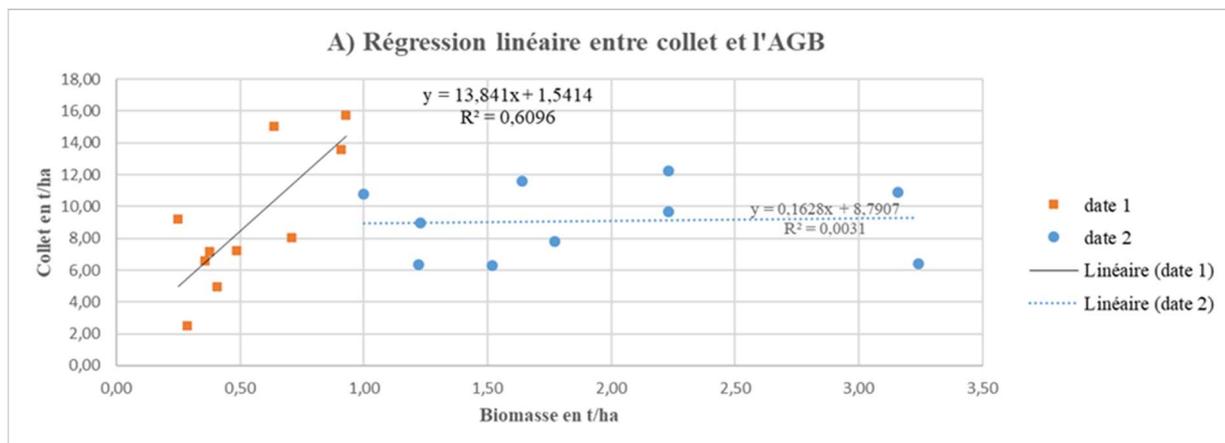
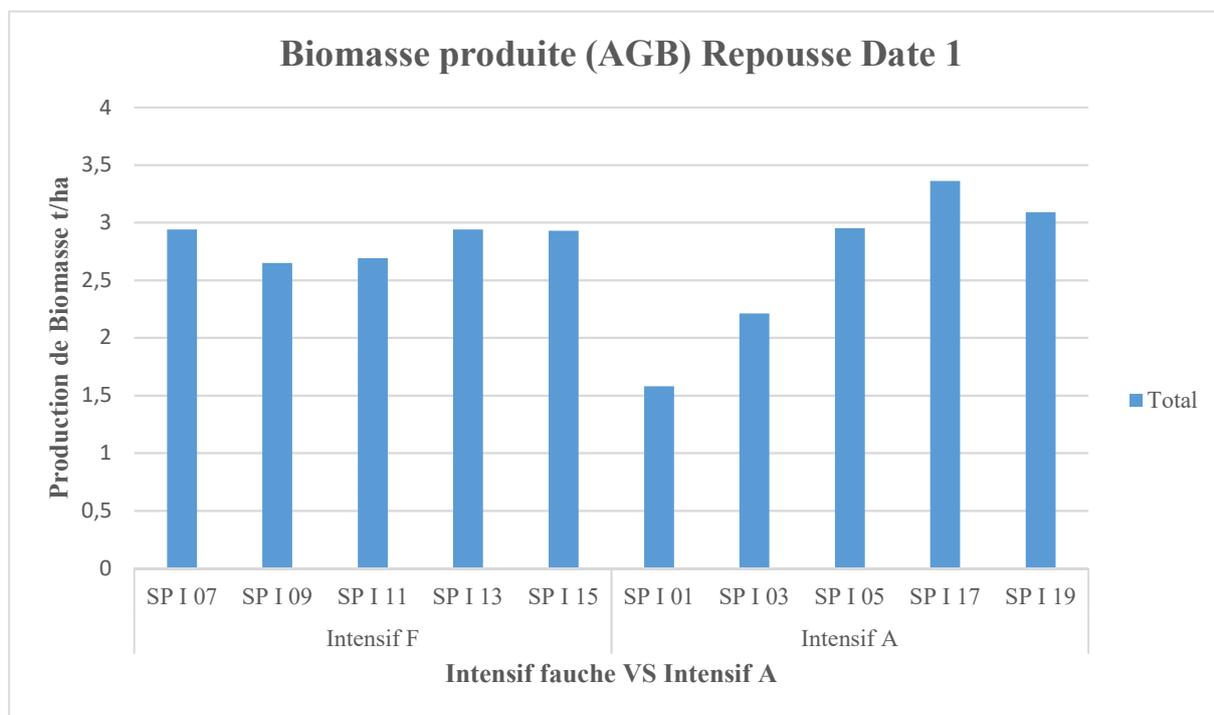


Figure 17 : Relation entre biomasse offerte et collet (partie restant après coupe) pour date 1 et date 2.

### 1.2) Production biomasse (Repousses, ANPP) :

Dans cette partie, nous allons analyser les résultats obtenus lors des mesures dites « Repousse ». C'est-à-dire la biomasse croissance qui à pousse sous cage entre deux dates. Comme dans la partie, « Nettoyage » nous avons comparé les deux parties de la parcelle intensive (Intensif A et Intensif F).



**Figure 18 :** Diagrammes représentant la production de biomasse (Repousse) par points (SP\_I) avec une comparaison, lors de la date 1 (Biomasse 1). Avec anciennement en fauche (Intensif F) anciennement intensive (Intensif A).

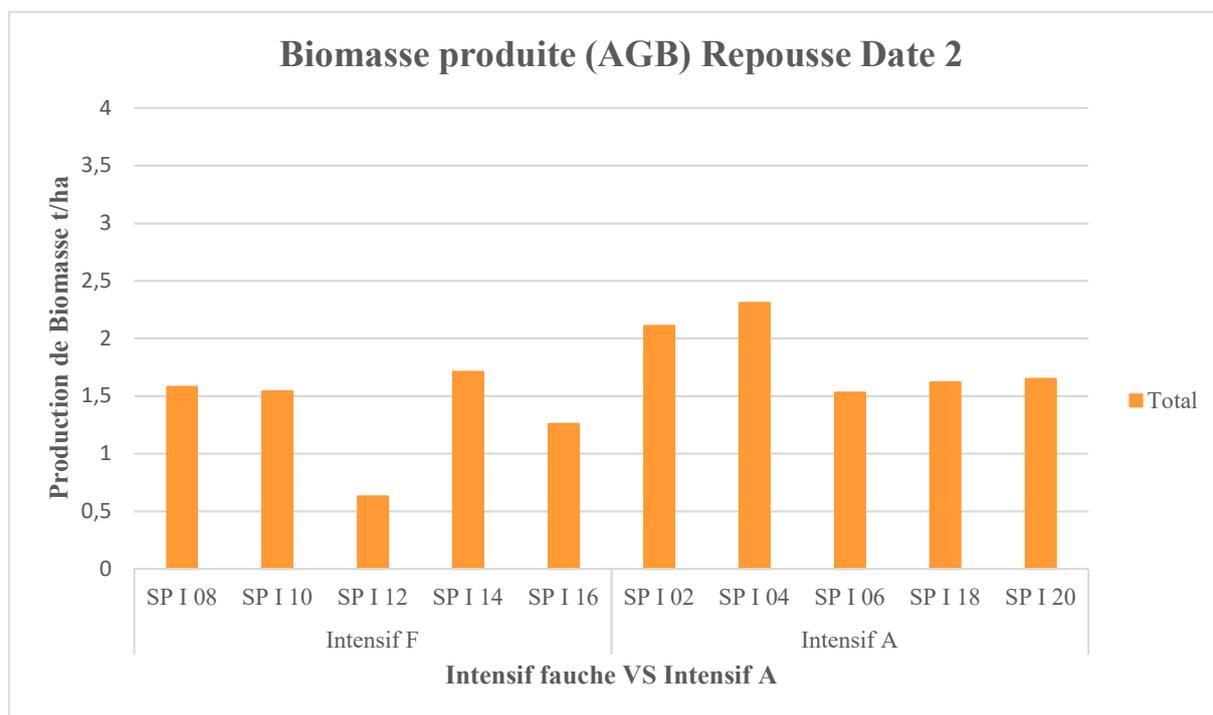
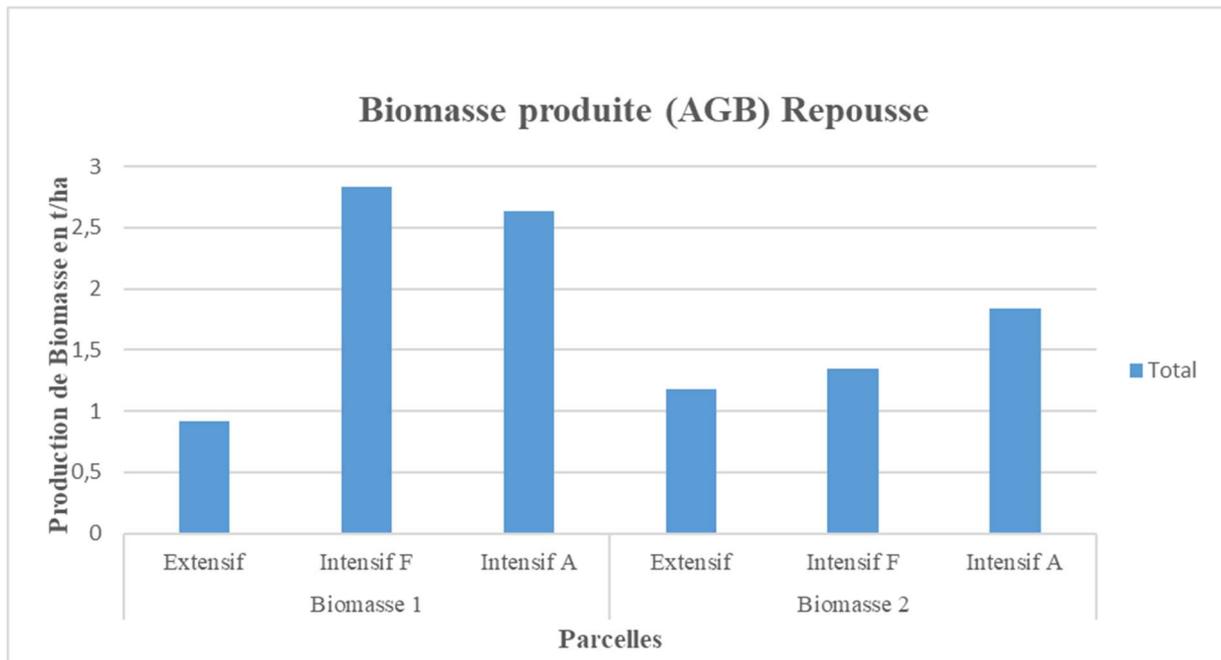


Figure 19 : Diagrammes représentant la production de biomasse (Repousse) par points (SP\_I) avec une comparaison, lors de la date 2 (Biomasse 2). Avec anciennement en fauche (Intensif F) anciennement intensive (Intensif A).

Tout d'abord, nous pouvons observer que la partie Intensif F (Fauche) présente une homogénéité apparente. Les valeurs restent situées entre 2,5 et 3 t MS/ha à l'inverse de la partie Intensif A (ancien) qui présente une hétérogénéité entre les points de mesure. En effet, la valeur minimale est de 1,58 t/ha pour l'Intensif A là où elle ne descend pas en dessous de 2,5 t/ha pour Intensif F (avec 2,65 t/ha). Cette observation peut s'expliquer par le passif des deux parties de la parcelle. En effet, la partie anciennement sous fauche comprend des espèces végétales qui sont adaptées à la fauche, elles sont donc plus résistantes et ont une capacité de production de biomasse (croissance) plus importante. Cela permet donc d'expliquer cette homogénéité, mais aussi l'hétérogénéité présente sur la partie anciennement intensive, qui a donc des plantes moins productives. Mais cette explication ne concerne que la première date de biomasse et donc le début de la saison de pâturage.

Voyons maintenant les résultats concernant la deuxième date de réalisation des mesures. Cette fois-ci, l'effet s'inverse. On observe que la partie Intensif A à une répartition plus homogène que la partie Intensif F. De plus, les valeurs de cette même partie de la parcelle sont inférieures à la partie Intensif A. Par exemple : en prenant les valeurs minimales de chaque partie on obtient 0,63 t/ha pour Intensif F contre 1,53 pour Intensif A. On peut de ce fait rajouter que la partie anciennement intensive a une meilleure capacité de production de biomasse pour la deuxième date.



**Figure 20 :** Diagramme représentant la moyenne de biomasse produite (Repousse) sur chaque parcelle en fonction des dates de biomasse.

Comparant les moyennes des traitements (extensif, intensif A et F) des deux dates au cours desquelles ont été réalisées les mesures de « Repousse ». Nous pouvons observer en premier lieu que la capacité de production dans l'extensif est tendanciellement plus faible que dans l'intensif.

Lors de la deuxième réalisation des mesures on observe une baisse de la production de biomasse en intensif. Cela peut s'expliquer par la date de réalisation et par les conditions climatiques pendant la repousse de biomasse (peu de précipitation). En effet, nous avons effectuée celle-ci lors de la 3<sup>ème</sup> date de récupération des biomasses soit après un événement de canicule qui avait notamment touché le site de Laqueuille. Ainsi, les plantes auraient subi une certaine sécheresse due à une carence en eau ce qui aurait ralenti leur capacité à produire de la

biomasse. Néanmoins, nous pouvons tout de même observer que la parcelle intensive reste plus productive que la parcelle extensive, par les résultats de la fertilisation azotée et du couvert végétale composées des espèces à croissance rapide.

## 2) Résultats des méthodes non destructives :

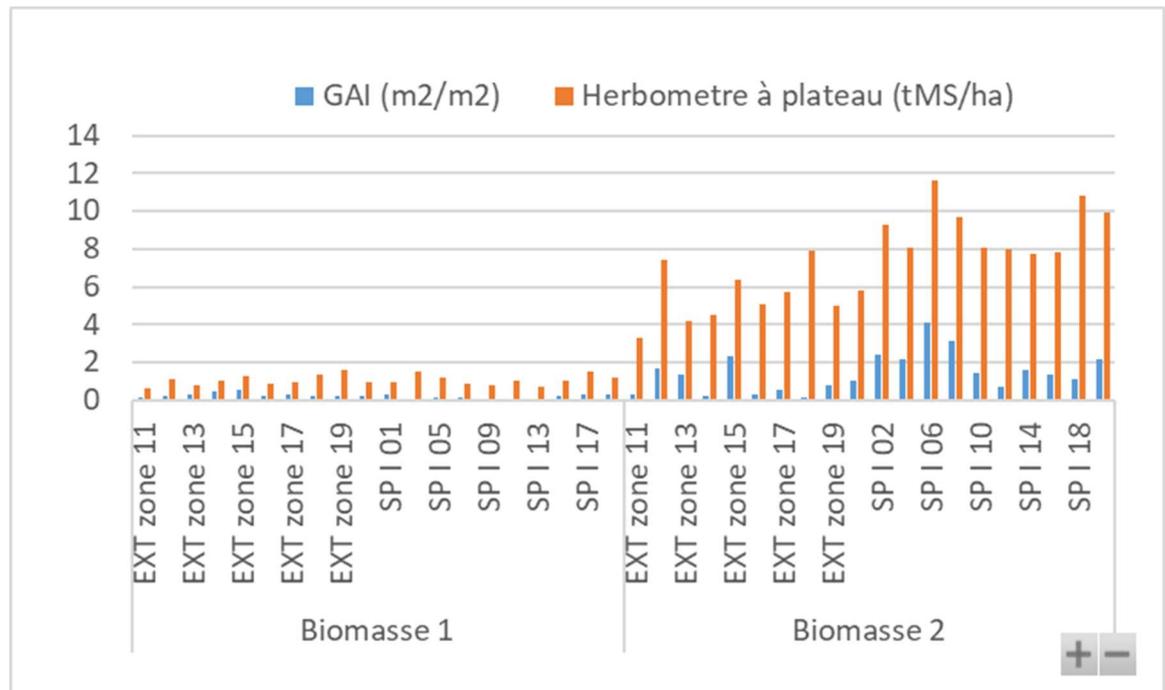


Figure 21 : Mesures de l'herbomètre à plateau et GAI pour la parcelle extensif et intensif pour Date 1 et Date 2.

Les mesures non destructives de l'herbomètre à plateau et GAI montre une différence importante pour les dates de mesures (Mai et Juin). Avec des valeurs plus faibles pour la 1<sup>ère</sup> date (GAI : 0,02 à 0,53 et herbomètre à plateau 0,63 à 1,63) que pour la deuxième date (GAI : 0,18 à 0,41 et Herbomètre à plateau 3,3 à 11,6) avec une différence de traitement (extensif vs intensif) plus prononcé pour la deuxième date (GAI : 0,8 vs 2,0 ; herbomètre 5,5 vs 9,1).

### 2.1) Comparaison des méthodes destructives et non-destructives :

Les méthodes non-destructives ont été évaluées par rapport à leur capacité à prédire les mesures destructives. Selon les deux dates analysées, la biomasse sur pied (AGB) estimée par les mesures de l'herbomètre à plateau, on constate que le plateau surestime les biomasses réellement récoltées sur le même point mesuré (à peu près un facteur 5 trop haut) (Figure xx). Toutefois la relation entre les deux mesures correspond à une corrélation acceptable ( $R^2=0,80$ ), même si on observe une légère différence entre les deux dates. En prenant celles-ci ensembles, on trouve une régression linéaire de :  $y = 0,18x$  ( $R^2 = 0.74$ ), qui confirme que les mesures de

l'herbomètre à plateau permettent de prédire la biomasse sur pied en prenant un facteur de correction de **0,18**. Toutefois plusieurs dates de mesure sont nécessaires pour confirmer ce coefficient.

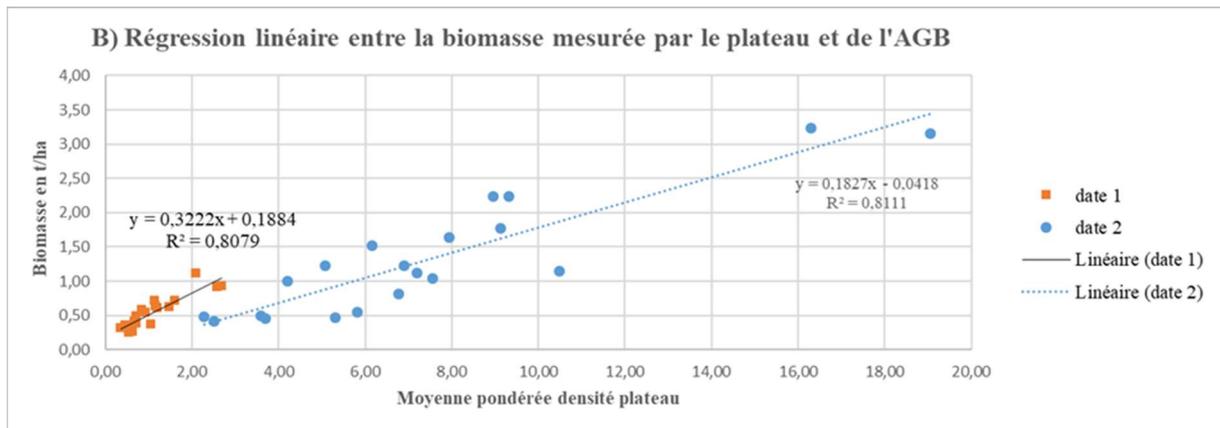


Figure 22 : Relation entre l'herbomètre à plateau et biomasse réellement récoltés (AGB) pour Date 1 et Date 2.

En ce qui concerne la prédiction (relation) entre la biomasse sur pied (AGB) par les mesure GAI (septomètre), on constate (Figure xx) qu'il y a une relation suffisamment bonne entre les deux mesures ( $R^2=0,63$ ), même si on observe une légère différence entre dates. Prenant les deux dates ensemble, on trouve une régression linéaire de :  $y = 0,65x$  ( $R^2 = 0,64$ ), qui confirme que les mesures de GAI permettent de prédire la biomasse sur pied avec prenant un facteur de correction de **0,65**. Toutefois plusieurs dates de mesure sont nécessaires pour confirmer ce coefficient.

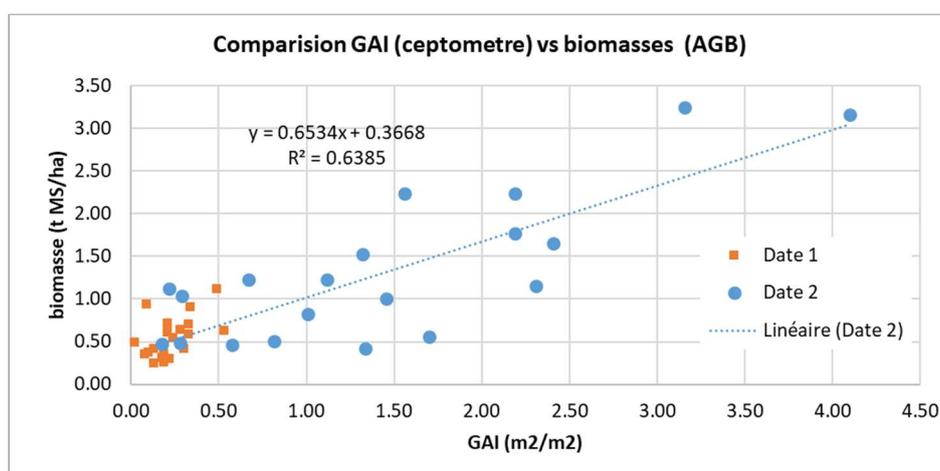


Figure 23 : Relation entre GAI (septomètre) et biomasse réellement récoltés (AGB) pour Date 1 et Date 2.

## 2.2) Evaluation de la méthode non-destructives (comparaison GAI par ceptomètre et planimètre) :

Dans un objectif de comparaison, nous avons réalisé les mesures comme lors de la partie matériels et méthodes qui y est consacré. Il s'agit de quelque chose de nouveau pour mes encadrants qui réalisaient pour la première fois ce test. Ce stage aura donc été l'occasion de mettre en place un nouveau protocole de mesure répondant au cahier des charges d'ICOS : la comparaison d'une mesure non-destructive (ceptomètre) et mesure destructive (planimètre) pour les mesures de GAI. Ainsi, à l'aboutissement des mesures, une réflexion a été menée sur cette démarche et un tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des deux méthodes a été dressé, dans le but d'aider à choisir la meilleure des méthodes entre les deux.

Brièvement, lors de la date 2, la surface foliaire (m<sup>2</sup>SF /m<sup>2</sup> sol) a été mesurée pour deux méthodes. On constate que malgré la différence entre les deux approches ; surfaces des tiges, tiges feuilles couchées (planimètre) par rapport à l'ombrage au sol des végétaux (ceptomètre), la corrélation est acceptable (R<sup>2</sup>=0,89). Ce qui confirme que les mesures de GAI par ceptomètre correspondent à la surface des végétaux multipliées avec un facteur de 2,23 et une interception de 15,76.

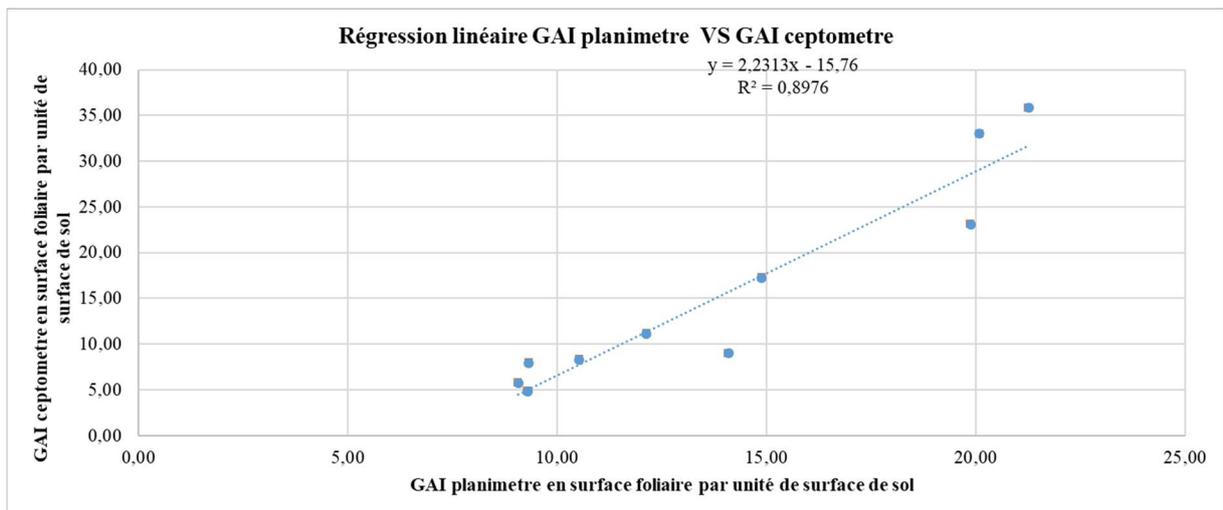


Figure 24 : Régression linéaire pour comparer les méthodes de mesures de LAI non-destructives et destructives (ceptomètre VS planimètre).

	Avantages	Inconvénients
<b>Ceptomètre</b>	- Cette méthode est non-destructive, la qualité de la donnée est donc préservée car il y a peu de risque de perte. De plus, celle-ci s'effectue directement dans le couvert ;	- Le capteur externe à tendance à devenir encombrant une fois sur le terrain. Il a été nécessaire d'y rajouter un piquet pour tenir en équilibre le capteur externe ;
	- C'est un appareil facile à transporter et à utiliser du fait de sa taille et de son poids ;	- L'appareil n'est pas adapté au relief. Il ne prend pas en compte la pente et le niveau à bulle de permet pas pallier ce problème ;
	- Il nécessite peu de moyen humain (1 seul manipulateur) ;	
	- Les données ont enregistré et sont récupérées sous la forme d'un fichier Excel qui peut être rajouté sur la base de donnée ;	
	- La calibration de l'appareil est au point, il est possible de faire plusieurs mesures permettant d'obtenir des références de calibration, cela nous permet donc d'être plus précis pour les mesures et l'interprétation ;	
	- Le niveau à bulle présent sur l'appareil nous permet d'avoir une meilleure précision lors de la réalisation des mesures ;	
<b>Planimètre</b>		- Cette méthode est destructive, la donnée perd ainsi de sa valeur et des pertes sont présentes lors du prélèvement de l'échantillon ;
	- L'appareil permet de mesurer une surface totale de biomasse verte, en prenant en compte la nature du couvert. De ce fait, s'il y a du matériel végétal sénescents, nous pouvons le retirer de l'échantillon ;	- Obligation de nettoyer le tapis roulant après chaque passage, ce qui rajoute une contrainte technique, ce qui n'amène pas un gain de temps ;
		- Impossibilité de lire une mesure bien précise lors de la sortie de l'échantillon, car les valeurs indiquées sur l'écran varient beaucoup. Ce problème concerne surtout les décimales. La lecture de la valeur mesurée risque donc d'être subjective, étant donné que l'on ne peut être précis, tant la donnée varie à la sortie de l'échantillon ;
		- Nécessite beaucoup de moyen humain et technique, entre la réalisation de la coupe (points par points) et la réalisation des mesures en laboratoire.

Tableau 1 : *Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des méthodes de mesure du LAI (ceptomètre VS planimètre).*

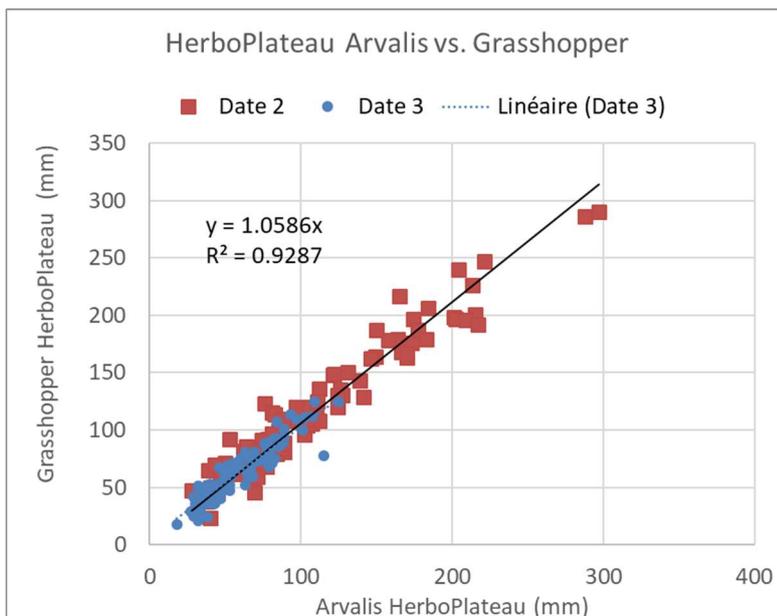
Nous pouvons observer d'après ce tableau qu'il existe plusieurs différences entre les deux méthodes. D'abord leur utilisation diffère puisque nous avons d'une part une méthode destructive et d'autre part, une méthode non-destructive. Ce qui inclue, que l'une des deux méthodes va demander plus de moyen technique et humains, ce qui peut amener à être plus

contraignant, vis-à-vis de la réalisation des mesures. De plus, le planimètre présente beaucoup plus d'imprécision, qui s'explique par le fait que l'on ne peut obtenir un 0 absolu lorsqu'aucun échantillon ne passe. C'est-à-dire qu'avant chaque passage, le 0 n'est jamais totalement fixé et ce malgré une nouvelle calibration ou un nettoyage du tapis roulant. En revanche, le ceptomètre permet de pallier ce genre de problème par la réalisation de plusieurs mesures dites DIAG servant de référence de calibration.

### 2.3) Regards critiques sur les appareils utilisée :

Cette partie concerne la comparaison entre les deux herbomètre enregistreur, de fournisseurs différents : plateau léger (Arvalis), plateau lourd (Grasshopper). Cette manipulation a été réalisée par la réalisation d'un transect de 10 points dans la longueur, répétés 10 fois sur la parcelle intensive (cf. matériel et méthodes partie 2).

En raison d'un affaissement du couvert végétal par le poids du plateau, chaque point a été fait dans l'ordre suivante : d'abord avec l'herbomètre à plateau léger (Arvalis) puis à plateau lourd (Grasshopper) en prenant un intervalle de 3 secondes entre chaque mesure d'herbomètres Arvalis et Grasshopper afin de laisser l'herbe reprendre une position acceptable pour les mesures. Les mesures se sont déroulées sans encombre. D'une manière générale, l'herbe était rarement affaissée, ce qui est une bonne nouvelle puisque le risque d'erreur est donc diminué.



*Figure 25 : Mesures de hauteurs (mm) avec herbomètre à plateau de Arvalis et Grasshopper sur deux dates. Régression linéaire pour comparer les deux appareils de mesure avec  $Y=ax$ .*

La comparaison montre une bonne corrélation entre les deux appareils de mesure pour les deux dates de mesure. La relation (pente) entre appareil est de l'ordre de 1.06 avec  $R^2=0,93$ . C'est-à-dire, que les appareils donnent les mêmes résultats avec environ 6% de différence.

Le seul inconvénient notable est le transport des herbomètres. Celui du Grasshopper est plus pratique mais en revanche l'herbomètre dispose d'une batterie externe rectangulaire d'une taille de 25 cm x 10 cm environ, ce qui rends moins pratique son transport. Il y a d'autres avantages et inconvénients concernant les deux appareils, j'ai donc décidé de les rassembler en un tableau, permettant ainsi à tout type de lecteur de comprendre la démarche. Ce tableau peut permettre à un autre manipulateur de faire son choix.

Ayant tous deux des méthodes d'utilisation similaire, il y a tout de même des différences notables. Concernant l'aspect scientifique, la traçabilité est une divergence importante entre les deux appareils. En effet, seul le Grasshopper dispose d'une application permettant de cartographier le tracé d'une parcelle (et même d'en enregistrer plusieurs). Grâce à cela, il est possible de suivre l'avancer des mesures ce qui permet au manipulateur de diminuer le risque de se perdre dans ses mesures. Par ailleurs, les données peuvent être envoyées à tout moment grâce à l'application du Grasshopper, là ou celles enregistrées par l'autre herbomètres nécessite plus de moyens tels que des câbles, et une réorganisation de la base de données.

Concernant l'aspect technique, le Grasshopper semble là encore plus approprié pour le manipulateur. C'est là que le côté ergonomique de l'appareil semble plus acceptable que celui de l'herbomètre. D'abords parce qu'il n'y a pas besoin de porter la batterie externe avec soi étant donné que le boîtier enregistreur du Grasshopper en est équipé.

Malgré cela, le Grasshopper n'est toujours pas au point, certains bugs de l'application, et même de l'appareil peuvent gêner la connexion Bluetooth. De plus, il n'est pas possible d'attendre plus de 20 minutes environ entre les mesures, sinon l'appareils s'éteints, cela peut donc causer des problèmes d'organisation, si l'on a prévu d'autre mesure à réaliser entre chaque points (cf. tableau).

Pour finir, la meilleure des méthodes à choisir, entre les deux, reste celle du Grasshopper. En effet, celui-ci est adapté aux démarches scientifiques par son aide à la traçabilité (cartographie de parcelles, suivi des mesures). De plus, ICOS, nous demande de référencer les points de mesures. Cet appareil nous le permet, car il envoie dans le tableau Excel, la localisation GPS de chaque point de mesure. Par ailleurs, celui-ci est aussi plus intéressants pour l'aspect technique, en effet, il est moins contraignant pendant la manipulation du fait de sa batterie interne.

- Herbometre à plateau	- Avantages	- Inconvénients
<b>Grasshopper</b>	- Appareil connecté de dernière génération ;	- Problèmes rencontrés avec la connexion en Bluetooth : mise hors tension de l'appareil et perte des données enregistrées et difficulté rencontrées lors de la reconnexion ;
	- L'application permet une meilleure traçabilité et facilite le suivi des parcelles (outil d'aide à la gestion du pâturage) ;	- Impossibilité d'interrompre l'ensemble des mesures pour que le manipulateur puisse aider à effectuer une autre, sinon l'appareil se met automatiquement hors tension, cela amène une perte de temps et de moyen humain pour réaliser des tâches nécessitant ces moyens (coupe de biomasse dans les cages);
	- Balisage GPS performant ;	
	- Une fois sauvegardées, les données sont récupérables à tout moment ;	- Cette méthode ne prend pas en compte la nature et la composition du couvert végétal (sénescence, limbe, type de plante, etc...);
	- Nécessite très peu de moyen humain (1 manipulateur) ;	
	- Pas de batterie externe à transporter ;	- Nécessite de charger le boîtier avant toute utilisation ;
	- Données stocker, sur l'application et accessible en tout temps ;	
<b>Arvalis</b>	- Nécessite peu de moyen humain ;	- Les données sont stockées dans l'herbomètres, elles ne sont donc pas accessibles à tout moment (besoin d'un câble pour les transmettre à un ordinateur) ;
	- Plateau plus léger que celui du Grasshopper, ce qui affaisse moins le couvert et permet une meilleure représentativité lors des mesures ;	- La batterie étant externe, il faut la porter autour de la taille, mais le système n'étant pas au point, cela peut créer des problèmes d'ergonomie, ce qui empêche le bon déroulement des mesures ;
	- Possibilité d'interrompre les mesures afin d'aider à faire d'autres tâches (mesures...) nécessitant plus de moyens ;	- Problème de traçabilité, l'appareil n'aide pas à savoir ou en est le manipulateur dans ses mesures ;
		- Cartographie de parcelle impossible ;

*Tableau 2 : récapitulatif des avantages et inconvénients des appareils méthodes de mesure du LAI (ceptomètre VS planimètre).*

## **Conclusion :**

Ce stage m'aura donc permis d'acquérir de nouvelles connaissances et compétences dans deux domaines. Le premier est scientifique et il s'est exprimé au cours de ce stage par la lecture et la traduction de protocole en anglais (ICOS), qui ont conduit à la mise en place et à la réalisation de ceux-ci. Ainsi, une réflexion a donc été apportée à la suite de ces lectures afin d'harmoniser les pratiques de l'INRA avec celles d'ICOS, afin d'obtenir une partie terrain moins contraignante et plus facile à gérer. Il en va de même pour la partie laboratoire, dans laquelle il m'aura été appris la « Traçabilité » lors de la préparation des sacs, la pesée et le rangement de ceux-ci. Enfin, j'ai pu apprendre comment gérer les échantillons, en passant par leur préparation, leur élaboration en terrain puis leur traitement en laboratoire en terminant par leur rangement. Les données ont aussi été sujettes à cet apprentissage qui m'a permis de comprendre comment une base de données basée sur le long terme (données datées depuis 20 ans), mais aussi sur le court terme (données datées de cette année).

Enfin ce stage aura été enrichissant concernant le domaine professionnel (ou personnel), car il m'aura permis de découvrir le monde de la recherche, milieu dans lequel je souhaite travailler à l'avenir. Il aura donc été enrichissant puisque j'ai appris à travailler en autonomie, à gérer mon temps tout en étant intégré dans un planning intégrant les priorités de l'équipe et de chacun. C'était d'ailleurs l'une des difficultés rencontrées, à l'instar de la gestion des données, car il fallait savoir être rigoureux et précis sur le travail mené tout en respectant les délais imposés. L'apprentissage de cette rigueur aura donc été de mise au cours de ce stage, afin de répondre aux attentes et aux contraintes de l'équipe. Ainsi, le travail en équipe a lui aussi fait partie de l'expérience acquise au cours de ce stage, n'étant pas un travail facile, il n'en était pas moins enrichissant.

## BIBLIOGRAPHIE :

[1] **Gielen B., Acosta M., Altimir N., et al.** : *Ancillary vegetation measurements at ICOS ecosystem stations*

[2] **Jérôme E., Beckers Y., Bodson B., et al.** : *Synthèse bibliographique sur les stockages de carbone et flux de gaz à effet de serre en prairie*

[3] **Scurlock J.M.O., Johnson K. and Olson R.J.** : *Estimating net primary productivity from grassland dynamics measurements*

[4] **Tallec T., Klumpp K., Guix N., Soussana J-F.** : *Les pratiques agricoles ont-elles plus d'impact que la variabilité climatique sur le potentiel des prairies pâturées à stocker du carbone ?*

## TABLE DES ABREVIATIONS :

ICOS : Integrated Carbon Observation System

SOERE : Système d'Observation et d'Expérimentation de la Recherche en Environnement

GES : Gaz à Effet de Serre

C : Carbone

N : Azote

CO<sub>2</sub> : Dioxyde de Carbone

N<sub>2</sub>O : Protoxyde d'Azote

CH<sub>4</sub> : Méthane

ACBB : Agrosystèmes et Cycle Biogéochimiques et Biodiversité

SAU : Surface Agricole Utile

Figure	Titre
Figure 1	Données chiffrées concernant le personnel de l'INRA
Figure 2	Carte des centres de recherches de l'INRA
Figure 3	Organigramme de l'INRA
Figure 4	Schéma des thématiques de l'UREP
Figure 5	Plan du site de Laqueuille
Figure 6	Photo de quelques appareils de mesure de la tour à flux
Figure 7	Schéma représentatif des différentes coupes de biomasse
Figure 8	Schéma de la réalisation des mesures sur le terrain
Figure 9	Plan de la parcelle intensive avec les 20 points de mesures
Figure 10	Photo d'un herbomètre enregistreur de la marque ARVALIS
Figure 11	Photo légendée de l'herbomètre à plateau de la marque Grasshopper
Figure 12	Schéma représentant la réalisation des mesures en laboratoire.
Figure 13	Schéma représentatif des mesures de planimètre et de ceptomètre dans un objectif de comparaison.
Figure 14	Diagrammes représentant la biomasse offerte par points (SP_I) avec une comparaison. Figure 1 lors de la date 1. Avec anciennement en fauche (Intensif F) anciennement intensive (Intensif A).
Figure 15	Diagrammes représentant la biomasse offerte par points (SP_I) avec une comparaison. Figure 2 lors de la date 2. Avec anciennement en fauche (Intensif F) anciennement intensive (Intensif A).
Figure 16	Diagramme représentant les moyennes de biomasse offerte par parcelle sur les dates 1 et 2. Avec la parcelle intensive, anciennement en fauche (Intensive F), anciennement intensive (Intensif A) et la parcelle extensive.
Figure 17	Relation entre biomasse offerte et collet (partie restant après coupe) pour date 1 et date 2.
Figure 18	Diagrammes représentant la production de biomasse (Repousse) par points (SP_I) avec une comparaison, lors de la date 1 (Biomasse 1). Avec anciennement en fauche (Intensif F) anciennement intensive (Intensif A).
Figure 19	Diagrammes représentant la production de biomasse (Repousse) par points (SP_I) avec une comparaison, lors de la date 2 (Biomasse 2). Avec anciennement en fauche (Intensif F) anciennement intensive (Intensif A).
Figure 20	Diagramme représentant la moyenne de biomasse produite (Repousse) sur chaque parcelle en fonction des dates de biomasse.
Figure 21	Mesures de l'herbomètre à plateau et GAI pour la parcelle extensif et intensif pour Date 1 et Date 2.
Figure 22	Relation entre l'herbomètre à plateau et biomasse réellement récoltés (AGB) pour Date 1 et Date 2.
Figure 23	Relation entre GAI (ceptomètre) et biomasse réellement récoltés (AGB) pour Date 1 et Date 2.
Figure 24	Régression linéaire pour comparer les méthodes de mesures de LAI non-destructives et destructives (ceptomètre VS planimètre).
Figure 25	Mesures de hauteurs (mm) avec herbomètre à plateau de Arvalis et Grasshopper. Régression linéaire pour comparer les deux appareils de mesure avec $Y=a.x$ .
Tableau 1	Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des méthodes de mesure du LAI (ceptomètre VS planimètre).
Tableau 2	Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients des appareils méthodes de mesure du LAI (ceptomètre VS planimètre).

