HAL
open science

Validation d'une méthode d'estimation de l'ingestion d'herbe d'une troupe de porcs au pâturage tournant reposant sur la mesure de biomasse avant et après pâturage

Vanessa de Jesus

To cite this version:

Vanessa de Jesus. Validation d'une méthode d'estimation de l'ingestion d'herbe d'une troupe de porcs au pâturage tournant reposant sur la mesure de biomasse avant et après pâturage. Sciences du Vivant [q-bio]. 2023. hal-04216707

HAL Id: hal-04216707

https://hal.inrae.fr/hal-04216707

Submitted on 25 Sep 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.

Troisième année - Spécialité Agronomie – Dominante Ingénierie de l'Elevage

STAGE Mémoire de fin d'études

Formation ingénieur Institut Agro Dijon

Formation initiale

Validation d'une méthode d'estimation de l'ingestion d'herbe d'une troupe de porcs au pâturage tournant reposant sur la mesure de biomasse avant et après pâturage

Stage réalisé du 20/03/2023 au 18/08/2023

Auteur

Vanessa DE JESUS

Enseignante référente

Christelle PHILIPPEAU

Enseignante-chercheuse au sein du département Agronomie Agro-équipement

Elevage et environnement

-

Institut Agro Dijon,

Tutrice de stage

Amandine DURPOIX

Ingénieure d'études

-

INRAE ACT- ASTER

Mirecourt, France

Année 2023

Résumé

Les limites et la précision d'une méthode, peu couteuse et non intrusive, reposant sur la différence de biomasse avant et après pâturage a été testée afin d'étudier les limites et la précision de celle-ci. Cette méthode a été expérimentée sur une troupe de 30 porcs charcutiers en plein air intégral. La méthode consistait à déterminer la biomasse à partir de droites de régressions reliant la hauteur de l'herbe à la biomasse. Pour cela, des mesures à l'herbomètre ont été réalisées et des quadrats d'herbes ont été prélevés. Ainsi, 10 valeurs d'ingestions ont été estimées. Les ingestions étaient comprises entre -0,8kgMS/porc/jour à 1,6kgMS/porc/jour. L'écart-type résiduel moyen des droites de régressions était de 627kgMS/ha induisant une erreur sur l'ingestion d'environ 0,5kgMS/porc/jour. En conditions humides, le retournement de la terre et l'enfouissement de la biomasse pouvaient altérer les mesures à l'herbomètre et les prélèvements de quadrats. Le piétinement de l'herbe et le pâturage sélectif des porcs en sortie de pâturage constituaient aussi une source d'erreur de l'estimation de l'ingestion.

Mots-clés : ingestion, pâturage, porc plein air, méthode, alimentation

Abstract

A low-cost, non-intrusive method based on the difference in biomass before and after grazing was tested to investigate its limitations and accuracy. This method was tested on a herd of 30 free-range pigs. The method involved determining biomass from regression linking grass height to biomass. To do this, measurements with a rising plate meter were taken and grass quadrats were sampled. In this way, 10 ingestions were estimated. Ingestions ranged from -0.8kgMS/pig/day to 1.6kgDM/pig/day. The mean residual standard deviation of regressions was 627kgDM/ha, giving an error in intake of around 0.5kgDM/pig/day. In wet conditions, turning over the soil and burying the biomass could affect the rising plate meter measurements and quadrat sampling. Trampling of the grass and selective grazing by the pigs, were also a source of errors in estimating herbage intake.

Keywords : intake, grazing, outdoor pig, method, nutrition

Table des matières

Introduction 1
1. L'élevage porcin plein air 2
1.1. Etat des lieux de la filière porcine en plein air 2
1.2. Races porcines 3
1.3. Chargement des porcs en plein air 3
1.5. Conduite des prairies en porcs plein air 5
1.6. Performance des porcs en plein air 5
2. Ingestion et méthodes d'estimation au pâturage 6
2.1. L'ingestion 6
2.2. Spécificités d'ingestion des porcs au pâturage 7
2.3. Méthodes de mesures de l'ingestion au pâturage 7
2.3.1. HerbValo 8
2.3.2. Excrétion fécale et digestibilité 8
2.3.3. Les marqueurs 9
2.3.4. Etude du comportement de l'animal au pâturage 11
2.3.5. Spectroscopie de réflectance proche infrarouge 11
2.3.6. Pesée de l'animal 11
2.3.7. Différence de biomasse avant et après pâturage 12
2.4. Problématique 13
3. Matériels et méthodes 15
3.1. Animaux 16
3.2. Santé 16
3.3. Le parcellaire 16
3.4. Alimentation des animaux 17

3.5. Méthode de mesure de l'ingestion de l'herbe et de la composition botanique des parcelles 18
3.5.1. Principe de la méthode de la mesure d'ingestion 18
3.6. Calculs de l'ingestion de l'herbe 19
3.6.1. Calcul de la croissance de l'herbe et prise en compte dans le calcul de la biomasse 19
3.6.2. Estimation de la biomasse d'entrée, de sortie et calcul de l'ingestion 20
3.7. Estimation de la composition botanique de l'herbe offerte dans les parcelles 21
3.8. Analyse des données 21
3.8.1. Précision des mesures d'hauteurs moyennes de l'herbe 21
3.8.2. Précision des droites de régressions 22
4. Résultats 23
4.1. Estimation de la croissance de l'herbe 23
4.2. Précision des hauteurs d'herbes mesurées 23
4.4. Estimation de l'ingestion 24
4.5. Estimation de la composition botanique de l'herbe offerte 25
5. Discussion 26
5.1.1. Faisabilité de la méthode 26
5.2.1. Estimation de la croissance de l'herbe 28
5.2.2. Précision des mesures d'hauteurs d'herbes pour estimer la croissance de l'herbe 28
5.2.3. Qualité des régressions hauteurs/biomasse 29
5.2.4. Estimation de l'ingestion 29
5.3. Comparaison à une méthode d'estimation de l'ingestion de mise en défend 31
5.4. Limites et perspectives 32
5.4.1. Limites de l'étude 32
5.4.2. Perspectives 33
Conclusion 34

Bibliographie.....1

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui m'ont encadrée et aidée au cours de ce stage.

Je remercie Amandine Durpoix, pour sa patience, sa pédagogie, pour ses encouragements et ses conseils.

Je remercie Christelle Philippeau pour son d'encadrement, sa disponibilité et ses conseils dans la rédaction de ce mémoire.

Un grand merci à Rémy Delagarde, pour ses explications sur le protocole et son aide dans l'analyse des données.

Merci également à Rémi Lavé, Lélia Bérard qui m'ont aidée lors des prélèvements sur le terrain. Merci pour vos conseils et les connaissances sur le pâturage que vous avez partagées avec moi et merci pour ces matinées à prélever l'herbe toujours dans la bonne humeur.

Je remercie Christophe Py, Bruno Ladaique pour ces très agréables après-midi à trier l'herbe.

Merci à Thomas Puech pour ses conseils et pour avoir accepté d'assister à la présentation de mon mémoire.

Merci à Brieuc Desaint d'avoir accepté d'être l'expert dans le jury de ma soutenance orale.

Je voudrais particulièrement remercier l'ensemble de l'unité ASTER pour leur accueil, leur bienveillance et qui ont rendu ce stage de 5mois si enrichissant.

Je tiens aussi à remercier les stagiaires qui ont travaillé avec moi sur le terrain dont Louise Corsyn, Breux Jean et Dillet Camille.

Pour finir, je remercie le département de recherche PHASE de l'INRAE qui a financé ce stage.

Tables des abréviations

ASTER : AgroSystèmes TErritoires et Ressources

cm : centimètre

Croiss : croissance estimée de l'herbe en cm/jour

EASM : Système d'élevage avicoles alternatifs

GenPhyse : Génétique Physiologie et Système d'élevage

ha : hectare

HE : hauteur moyenne de l'herbe à l'entrée des animaux dans la parcelle

Hecc : hauteur en entrée de pâturage corrigée de la croissance de l'herbe

HS : hauteur moyenne de l'herbe à la sortie des animaux dans la parcelle

IC : Indice de Consommation

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

IFCE : Institut Français du Cheval et de l'Equitation

IE : Installation Expérimentale

INRAE : Institut Nationale de La Recherche Agronomique et Environnementale

j : jour

kg : kilogramme

km : kilomètre

m : mètre

MS : Matière Sèche

PHASE : Physiologie Animale et Système d'Elevage

R.S.D : écart-type résiduel

SEM : erreur standard des moyennes

SRPI : Spectroscopie de Réflectance Proche Infrarouge

Tables des figures

Figure 1 : Evolution du cheptel porcs charcutiers et du nombre d'atelier d'engraissement de 2007 à 2021 (Agence bio cité dans Fédération Nationale d'Agriculture Biologique, 2021)
Figure 2 : Evolution du cheptel de truies reproductrices et du nombre de fermes avec activité de naissage de 2007 à 2021 (Agence bio cité dans Fédération Nationale d'Agriculture Biologique, 2021)
Figure 3 : Déroulement du pâturage de l'atelier d'engraissement des porcs dans le temps
Figure 4 : Porcs placés en bâtiment paillé pendant la période de transition avant le pâturage
Figure 5 : Schéma de la parcelle des porcs avec la partie en fauche découpée en sous parcelles et intégrée au pâturage tournant
Figure 6 : Parc de 290m2 où étaient installés les porcs
Figure 7 : Dates de changement de sous-parcelle des porcs
Figure 8 : Ordre de passage des porcs sur les parcelles en pâture
Figure 9 : Photo de l'herbomètre
Figure 10 : Photo de la mini-tondeuse utilisée lors des prélèvements des quadrats
Figure 11 : Photos de quadrats prises avant puis après le prélèvement d'herbe
Figure 12 : Effectifs des écarts-types intra-jour des mesures de hauteurs d'herbe
Figure 13 : Droites de régressions hauteur/biomasse avant et après pâturage
Figure 14 : Estimation de la composition en graminées, légumineuses et autres d'après la méthode des poignées (graphique à gauche) et avec la méthode de note sur 6 graphique à droite
Figure 15 : Exemple de quadrat de terre
Figure 16 : Photo prise en sortie de pâturage de la parcelle F
Figure 17 : Photo d'un porc mangeant une touffe de graminée

Tables des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des méthodes de mesure de l'ingestion au pâturage
Tableau 2 : Valeurs de croissance de l'herbe estimées en cm/jour à partir des mesures quotidiennes de hauteurs d'herbe avant le pâturage
Tableau 3 : Equations et écart-type résiduel moyen des droites de régressions
Tableau 4: Estimation de l'ingestion d'herbe par la troupe de 30 porcs charcutiers
Tableau 5 : Durée de réalisation de chaque étape du protocole

Introduction

L'agroécologie est de plus en plus décrite comme un moyen de rendre l'agriculture plus durable (Lucantoni, *et al.*, 2021). C'est dans ce cadre que des systèmes d'élevages alternatifs prennent leurs importances pour initier et participer à la transition agroécologique des systèmes d'agriculture (Magne *et al.*, 2019).

L'unité de recherche AgroSystèmes TErritoires et Ressources (ASTER) de l'Institut Nationale de La Recherche Agronomique et Environnementale (INRAE) participe au développement de systèmes agroécologiques par le biais d'expérimentation systèmes. Depuis 2017, ce système expérimental applique la diversification spécifique en associant des bovins laitiers avec des ovins allaitants ainsi qu'un atelier d'engraissement de porc charcutier en élevage biologique. Les porcs valorisent les issues de tris des cultures et les produits non commercialisables en alimentation humaine qui sont produits sur la ferme expérimentale. Ces porcs sont complémentés à l'herbe : ils sont élevés en plein air intégral au pâturage tournant. L'ingestion au pâturage est notamment un paramètre essentiel pour gérer la complémentation alimentaire (Smith *et al.*, 2021 ; Moshtaghi Nia et Wittenberg, 2002).

En 2020, une enquête a été menée par le département Physiologie Animale et Système d'Elevage (PHASE) de l'Institut Nationale de La Recherche Agronomique et Environnementale (INRAE) par le groupe de travail « Ingestion ». Cette enquête réalisée au sein de 30 unités de cet institut a montré un besoin de développer une méthode d'estimation de l'ingestion au pâturage adaptée pour toutes les filières confondues (bovins, ovins, porcins, lapins, volailles et équins) et indépendantes des conditions d'études expérimentales. C'est dans ce contexte que le département PHASE a financé 5 stages sur la période de 2022 à 2023 pour tester la même méthode estimant l'ingestion reposant sur l'estimation de la biomasse présente avant et après pâturage (Stockdale et Dellow, 1995) et son adaptation à différentes espèces animales (bovins, ovins, caprins, porcins, lapins, volailles et équins). Les unités de l'INRAE qui ont encadré ces stages étaient les unités PEGASE (vaches laitières), Herbipôle (génisses et ovins viande), EASM (volailles), GenPhyse (lapins) et ASTER (porcins). Le stage d'étude sur les équins a été réalisé au sein de l'Institut français du Cheval et de l'Equitation (IFCE) de Chamberet. Pour les porcs, c'est l'IE de l'unité de recherche ASTER de l'INRAE située à Mirecourt (88) qui a été sollicitée afin de mettre en place le stage sur l'espèce porcine.

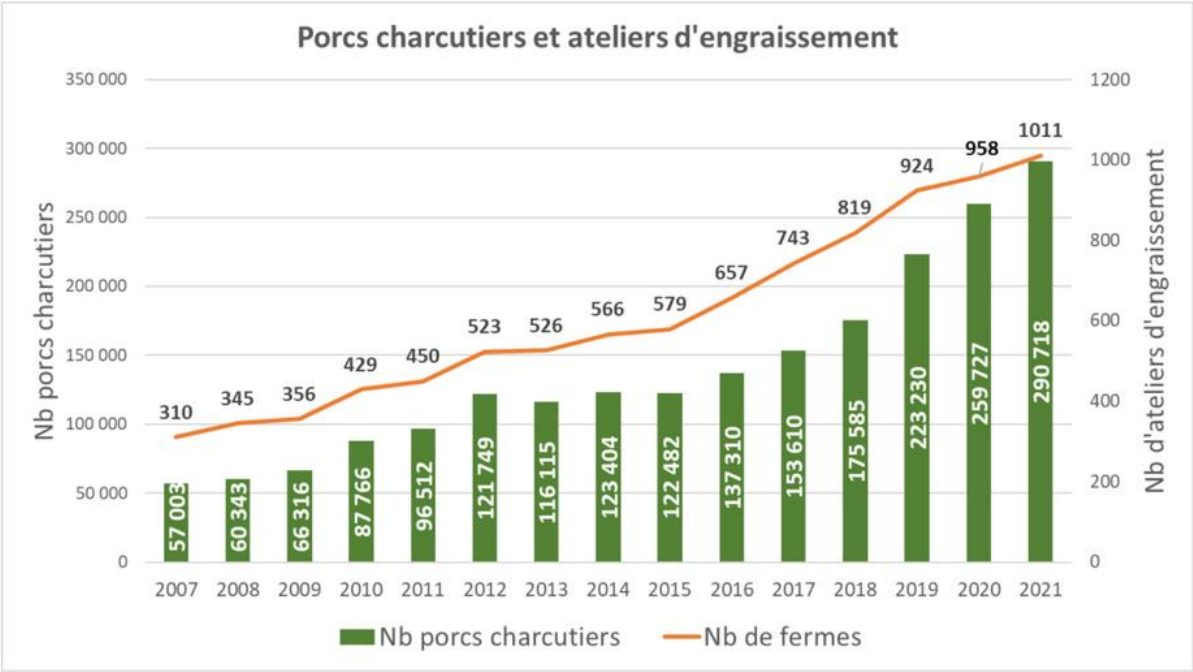

Figure 1 : Evolution du cheptel porcs charcutiers et du nombre d'atelier d'engraissement de 2007 à 2021 (Agence bio cité dans Fédération Nationale d'Agriculture Biologique, 2021)

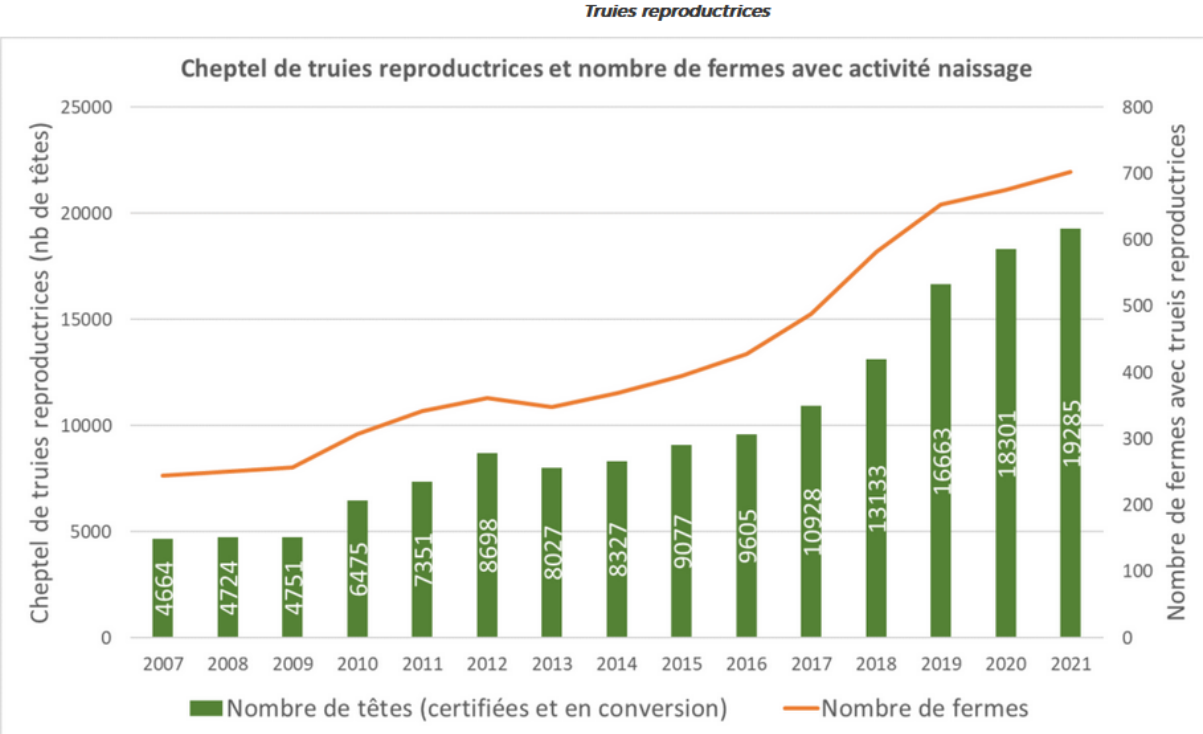

Figure 2 : Evolution du cheptel de truies reproductrices et du nombre de fermes avec activité de naissage de 2007 à 2021 (Agence bio cité dans Fédération Nationale d'Agriculture Biologique, 2021)

1. L'élevage porcin plein air

1.1. Etat des lieux de la filière porcine en plein air

La volonté de diversifier les systèmes de productions agricoles, de diminuer les coûts de production et le développement d'une prise de conscience sur le bien-être animal a remis au goût du jour l'élevage de porc en plein air (Edwards SA. et Zanella A., 1996 cités dans Edwards, 2003). En plein air, les porcs sont élevées toute l'année en extérieur, ou pendant la saison de pâturage (FiBL, 2019).

Le porc est un animal omnivore qui à l'état sauvage ou dans des conditions semi-naturelles utilise plus de 50% de son temps à chercher de la nourriture (Stolba et Wood-Gush, 1989) ; Mauget R., 1981, Graves HB., 1984 cité dans Edwards, 2003). Ce temps est dédié à pâturer ou à fouiller afin de consommer de l'herbe, des fruits, des noix, des racines ou encore des invertébrés. Les porcs sauvages peuvent aussi manger des petits vertébrés, des œufs, des petits mammifères ou bien se nourrir de charognes (Edwards, 2003). Le fouissage et le mâchonnement sont d'ailleurs deux comportement naturels chez les porcs (Remonguin, 2019).

Dans la majorité des pays européens, la production de porc plein air est principalement en élevage biologique. En élevage biologique, en France, les porcs peuvent être en plein air ou en bâtiments sur paille avec un accès obligatoire à une aire d'exercice à l'extérieur pour les porcs charcutiers. Ce parcours extérieur n'est pas nécessairement végétalisé (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2017). En France, en 2018, en bio, en gestation et en maternité, les truies étaient logés à 50% en bâtiment et à 50% en plein air (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2018). Concernant les porcs en post-sevrage et en engraissement en bio, la même année, ils étaient logés a plus de 90% en bâtiment (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2018).

Depuis 2007, le nombre de porcs charcutier en France a augmenté progressivement allant de 60 000 porcs à l'engraissement en 2007 à 291 000 environ en 2021(figure 1). Pour les truies reproductrices, le cheptel a également suivi une augmentation : 5000 têtes environs en 2007 contre 19 000 têtes en 2021(figure 2).

1.2. Races porcines

Les races élevées en bâtiment peuvent aussi être élevées en plein air. Les races porcines rustiques comme le Turopolje présentent néanmoins quelques avantages en plein air : les porcs sont moins sensibles aux aléas climatiques et ont un système immunitaire efficace. Les races de porcs avec une peau foncée souffriraient moins de coups de soleil. Les races rustiques ont toutefois une croissance plus lente que les races habituelles en productions intensives (FiBL, 2019).

En bio, il n'existe pas d'organisme génétique propre à la filière. Les types génétiques utilisés sont souvent semblables à ceux utilisés en conventionnel : Large-White x Landrace pour les truies et Piétrain, Piétrain x Duroc pour les verrats. En circuit long, les races conventionnelles correspondent davantage aux attentes des transformateurs (conformation et qualité des carcasses). En circuits court, les éleveurs peuvent choisir des races plus locales et rustiques comme le porc noir de gascon. Ces porcs sont plus gras et ont une durée d'engraissement plus longue que les races utilisées dans le conventionnel. Ils ont aussi une plus grande diversité de conformation (Fédération nationale d'Agriculture biologique, 2018). Il existe également le porc basque, le porc de Bayeux ou encore le porc Nustrale (Terroir-Artisan, 2020).

1.3. Chargement des porcs en plein air

La disponibilité en herbe dépend du chargement ou de l'existence de plusieurs parcs (Chambre d'agriculture Bourgogne-Franche-Comté, 2019). Des boucles nasales peuvent être utilisées lorsque la dégradation des sols devient trop importante. Néanmoins, cette pratique doit être justifiée (pluviométrie, texture du sol...) et peut être mise en place seulement en atelier plein air intégral. Les animaux doivent être anesthésiés lors de la pose de cette anneau (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2022a). En bio, la pose d'un anneau nasal est interdite sauf pour certains particulier, dans ce cas une dérogation est nécessaire (Fédération nationale d'Agriculture biologique, 2018).

En élevage bio, les truies disposent en pratique de 500 à 700m^2/truie, et des parcs sont laissés au repos une partie de l'année (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2022a). Pour les porcs à l'engraissement, le chargement ne doit pas dépasser 90 animaux produits/ ha/an pour éviter la pollution de l'eau et les écoulements de boue selon le cahier de charge bio ou la réglementation « Installations Classées pour la Protection de l'Environnement(ICPE) » (Chambre d'agriculture Tarn et Garonne, 2019). En effet, à partir de 50 animaux équivalents, tous les élevages plein air

biologiques ou conventionnels doivent respecter l'ICPE (Chambre d'agriculture e Bretagne, 2021).

Le chargement doit également prendre en compte la nature du sol. Les sols argileux par exemple sont facilement dégradés par les porcs(Chambre d'agriculture de Bretagne, 2022). En plein air, selon la densité des porcs ou la non-utilisation d'anneaux nasal, l'ingestion d'herbe peut être minime voire nulle. En Angleterre par exemple, approximativement 50% des nouveaux paddocks installés pour des truies en plein air (truies en lactation ou taries) étaient sur des chaumes de céréales (HL Edge, HLI Bornett er SA Edwards, résultats non publiés cité dans Edwards, 2003). Ensuite, bien que des parcs avec de l'herbe soient mis en place, ils peuvent être rapidement détériorés en début de pâturage par les. En conséquence, les porcs peuvent ainsi rester sur de la terre pendant la majeure partie du temps qu'ils restent dans le parc (Edwards *et al.*, 1998). Par contre, dans les élevages biologiques, le pâturage aurait le potentiel de contribuer à l'alimentation des porcs (Ferre *et al.*, 2001).

1.4. Alimentation des porcs en plein air

En élevage biologique, l'alimentation des monogastriques doit obligatoirement contenir un apport de fourrage grossier qu'il soit frais, sec ou ensilé. Cet apport peut se faire de façon directe dans la ration journalière ou indirecte via un parcours plein air. L'apport obligatoire de fourrage dans la ration peut s'accompagner d'un apport en quantité limitée d'un aliment concentré (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2022b). Dans le cas, d'un apport en fourrage *ad libitum* les besoins des porcs en protéines et en énergie ne sont pas couverts et cela peut entrainer une réduction de la vitesse de croissance et une modification des dépôts corporels et tissulaires (Prunier et Lebret, 2009).

La consommation de fourrage grossier par des truies gestantes est très dépendante des individus et de l'appétence du fourrage. Au pâturage, pour les truies, l'ingestion peut représenter 1,5kg à 2kgMS/jour contre 0,8kgMS/truie/jour pour de l'enrubannage ou de 0,8 à1,6kg MS/truie/jour pour de l'ensilage (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2022a).

Ferre *et al.*, (2001), ont effectué une étude de l'ingestion au pâturage de truies sur 2 périodes : en fin de printemps et en fin d'été. En fin de printemps, les valeurs d'ingestion de truies au pâturage sur une parcelle de ray-grass étaient comprises entre 0,9 et 1,8kg de matière organique (MO). En fin d'été, l'ingestion était comprise entre 0,2 et 1,4kgMO. Certaines truies avaient été équipés d'anneaux naseaux. L'ingestion au pâturage avait été estimée en utilisant la méthode des marqueurs utilisant les n-alcanes C_{31} et C_{32}. Pour Sehested *et al.*, (2004), l'ingestion au

pâturage était comprise entre 2 et 2,5kgMO/jour/truie. Ces truies étaient aussi équipées d'anneaux nasals et complémentés au pâturage avec des concentrés. La quantité de concentré apportée quotidienne était adaptée en fonction du stade de gestation des truies et de la disponibilité en herbe au pâturage. Dans une étude effectuée avec des porcs à l'engraissement, recevant un apport de concentré *ad libitum*, la consommation au pâturage était environ égale à 0,1kg MS/jour (Edwards, 2003).

1.5. Conduite des prairies en porcs plein air

Concernant les prairies, les mélanges de graminées/légumineuses sont bien adaptés comme du ray-grass anglais avec du pâturin des prés et du trèfle blanc. Il faut un couvert qui soit résistant au piétinement et dont la production fourragère s'étale sur toute l'année. Il faut éviter les espèces devenant dures à la montaison comme la fétuque ou le dactyle. L'utilisation de plusieurs parcs est généralement nécessaire pour effectuer des rotations et laisser le temps au sol de se reposer. En période de forte pousse, le fauchage des parcs est souvent réalisé pour contrôler la pousse de l'herbe et garder un couvert qui soit appétant pour les animaux. (Chambre d'agriculture de Bretagne, 2022a).

1.6. Performance des porcs en plein air

En plein air, les porcs, mobilisent une partie de leur énergie pour se déplacer et pour s'adapter aux variations des températures extérieures contrairement au porcs en bâtiment qui sont moins actifs et logés à une température optimale (d'Hardivilliers, 2021). D'après les références fournies par l'Ifip cité dans d'Hardivilliers, 2021, l'indice de consommations (IC) des porcs en plein air était de 3,40 contre 2,80 pour les porcs en bâtiment. De plus, en agriculture biologique, il est interdit d'apporter des acides aminés de synthèse. La ration des porcs est ainsi plus difficile à équilibrer. Pour obtenir un porc charcutier au poids standard de 110kg, la durée d'élevage est plus élevée pour un porc plein air que pour un porc en bâtiment (Chambre d'agriculture Bourgogne-Franche-Comté, 2019).

2. Ingestion et méthodes d'estimation au pâturage

2.1. L'ingestion

L'ingestion peut être définie de plusieurs manières. Pour Baumont *et al.*, (2000), l'ingestion « est le maximum de quantité d'un aliment qui peut être consommé par un animal quand il lui est fourni *ad libitum* comme seul aliment. Plusieurs facteurs vont jouer sur l'ingestion. La consommation alimentaire est régulée par des mécanismes de contrôle à court terme du comportement alimentaire visant à conserver l'homéostasie de l'organisme et à long terme par les besoins nutritionnels et les réserves corporelles (Faverdin et al. 1995, cité dans (Baumont *et al.*, 1997). L'ingestion dépend principalement de la sensation de faim et de satiété (Forbes, 2007).

L'ingestion est notamment influencée par des facteurs intrinsèques et externes à l'animal. La race, l'âge, l'état corporel représentent des exemples de facteurs intrinsèques à l'animal (Dulphy et Demarquilly, 1994). L'environnement de l'animal va également influencer le comportement alimentaire de celui-ci comme la lumière ou la température (Decruyenaere, Buldgen , *et al.*, 2009). La nature d'un aliment donné et ses caractéristiques constituent un autre facteur externe influençant sur l'ingestion de manière importante.

En effet, la quantité de fourrage consommée par un animal dépend notamment de l'ingestibilité de celui-ci. L'ingestibilité d'un fourrage est liée à ses caractéristiques (Jarrige, 1988). L'ingestibilité étant la quantité de matière sèche ingérée lorsque le fourrage est distribué à volonté à un animal considéré comme « standard ».

La sensation de « plaisir » lors de la consommation d'un aliment peut aussi être une source de motivation à l'ingestion de cet aliment. Il s'agit d'un comportement hédonique. Cela peut aller à l'encontre du contrôle physiologique de l'ingestion (Baumont *et al.*, 1997).

D'autres facteurs liés aux caractéristiques propres de l'aliment vont influencer l'ingestion comme la vitesse de transit des aliments dans le tube digestif (Decruyenaere, Buldgen , *et al.*, 2009). Les signaux post-ingestifs issus de l'aliment contribuent notamment au processus de rassasiement (Baumont *et al.*, 1997).

L'ensemble de ces facteurs et leurs interactions rendent la prédiction de l'ingestion difficile à réaliser. Lorsque la ration est distribuée à l'auge, l'ingestion ne dépend que de la composition de la ration et des caractéristiques de l'animal. Il est possible de peser en continu la mangeoire et d'identifier l'animal grâce à des puces électroniques.

2.2. Spécificités d'ingestion des porcs au pâturage

Elles sont peu documentées dans la bibliographie. Le comportement au pâturage des porcs dépend de la disponibilité en herbe, de la qualité de celle-ci (Andresen et Redbo, 1999). Sehested *et al.*, (2004) ont comparé un pâturage mixte de truies et de génisses avec le pâturage avec uniquement des génisses ou uniquement des truies. Les truies portaient des anneaux nasaux pour éviter le retournement des prairies et étaient complémentées en plus du pâturage avec des concentrées. Il a été observé que les bouchées prises par les truies étaient moins uniformes que pour les génisses. Il y avait plus de variation de hauteurs d'ingestion des feuilles ou des tiges consommées sur les parcelles pâturées seulement par les truies que sur les parcelles uniquement pâturées par les génisses. La hauteur moyenne de l'herbe (mesurée pendant le pâturage) était plus élevée sur les parcelles pâturées par les truies que pour les parcelles pâturées par les génisses, respectivement, 6,3cm pour les truies et 4,9 cm pour les génisses. Les truies avaient pâturé de façon sélective : elles préféraient les trèfles à l'herbe, ainsi que les feuilles de l'herbe au lieu des tiges (Sehested *et al.*, 2004). Dans une autre étude, les prairies pâturées par les truies présentaient une hauteur d'herbe plus élevée que l'herbe pâturée par des génisses. Il restait plus de tiges dans les prairies pâturés par les truies. Les truies semblaient également manger préférentiellement le trèfle blanc (Sehested *et al.*, 2000).

2.3. Méthodes de mesures de l'ingestion au pâturage

L'estimation de l'ingestion au pâturage est décrite comme l'un des plus importants challenge méthodologique de la recherche en sciences animales (Mayes et Dove, 2000 ; Garnick *et al.*, 2018). Généralement, les études sur la mesure de l'ingestion au pâturage se concentrent sur une espèce de ruminant et sur un type de prairie (Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009). Les méthodes de mesures d'ingestion au pâturage se distinguent en 2 catégories : les méthodes directes et les méthodes indirectes (Garnsworthy et Unal, 2004). Les méthodes directes se basent sur des pesées de l'animal en entier ou une partie de l'animal comme le rumen pour les ruminants ou le jabot pour les volailles ou encore la « pesée » du couvert végétal avant et après pâturage. Les méthodes indirectes sont les plus souvent utilisées (Delagarde *et al.*, 2019). Ces méthodes utilisent par exemple l'estimation de l'excrétion fécale et de la digestibilité. Ou encore utilisent des marqueurs comme les alcanes, ou des techniques utilisant des ratios, le comportement alimentaire de l'animal ou des modèles empiriques (Decruyenaere, Buldgen †, *et al.*, 2009 ; Delagarde *et al.*, 2019). La méthode de référence chez les ruminants est celle utilisant des marqueurs externes permettant d'estimer l'ingestion journalière individuelle.

2.3.1. HerbValo

HerbValo est un outil développé pour estimer la quantité d'herbe valorisée par les ruminants aux pâturage. Actuellement HerbValo est applicable aux vaches laitières, aux vaches allaitantes et aux chèvres laitières (Delagarde *et al.*, 2018). Le modèle est en cours de développement pour les ovins et les équins. Ce logiciel est issu d'un projet collaboratif au sein du Réseau Mixte de Technologies Prairies Demain (Delagarde *et al.*, 2018). L'agriculteur renseigne chaque utilisation de parcelle par exemple en fauche ou au pâturage. Le modèle se base ainsi sur ces enregistrements et calcule en fonction des effectifs, du temps de séjour sur la parcelle, l'ingestion moyenne du troupeau. Ce dernier élément est estimé par un modèle simplifié utilisant les unités d'encombrement de l'INRAE. Les calculs peuvent être réalisés à l'échelle d'une année, d'une parcelle, ou d'une saison (Delagarde *et al.*, 2017).

2.3.2. Excrétion fécale et digestibilité

Cette méthode se base sur l'estimation de la production fécale et de la digestibilité de l'alimentation (Garrigus, 1935). Elle repose sur la relation entre l'ingestion (I), l'indigestibilité (1-digestibilité) du régime alimentaire et la production fécale :

$$I = \frac{F}{(1 - D/100)}$$

Avec D correspondant au coefficient de digestibilité du fourrage (%), I, l'ingestion (unité de masse/jour), F, la production totale de fèces (unité de masse/jour) (Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009).

La digestibilité de l'herbe pâturée peut être estimée de plusieurs façons. Elle peut être estimée à partir de la digestibilité des bols alimentaires prélevés lors de l'ingestion sur des animaux équipés d'une fistule ou à partir de la composition chimique des fèces (teneur en azote, en silice, en groupement méthomyl...) (Chenost et Boissau, 1985).

La production fécale est déterminée en collectant la totalité des fèces. Plusieurs méthodes existent pour connaitre la quantité de fèces produite par les animaux. Au pâturage, il peut être difficile de collecter la totalité des fèces. Pour faciliter la récupération des fèces, les animaux peuvent être équipés de harnais avec des sacs collectant les fèces ou les animaux peuvent être attachés. Cependant, cela pourrait perturber le comportement des animaux au pâturage (Lippke, 2002). Cette méthode est néanmoins chronophage et très couteuse à mettre en place . Les fèces peuvent être identifiés individuellement en utilisant des particules en plastique colorées incorporées dans la ration (Edouard et Fleurance, 2007). Le nombre d'animaux étudiés semble

toutefois limiter leur utilisation. Des techniques s'appuyant sur des marqueurs indigestibles permettent d'estimer la matière fécale produite et de réduire ainsi la charge de travail liée à la collecte de fèces (Edouard et Fleurance, 2007).

2.3.3. Les marqueurs

Les principales études sur les marqueurs ont été menées sur les ruminants (Moshtaghi Nia et Wittenberg, 2002 ; Berry *et al.*, 2000 ; Morenz *et al.*, 2006). Il existe également quelques études sur les équidés (Peiretti *et al.*, 2006 ; Ferreira *et al.*, 2007).

Il existe deux types de marqueurs : les marqueurs externes et les marqueurs internes. Un marqueur externe est une molécule non naturellement présente dans l'organisme (Edouard et Fleurance, 2007). Le marqueur administré à l'animal comme l'oxyde de chrome(Cr_2O_3) est un marqueur externe (François *et al.*, 1978). Les marqueurs internes sont ceux qui sont naturellement présents dans les plantes comme la lignine (Garnsworthy et Unal, 2004).

La quantité de matière fécale produite est estimée en divisant la dose journalière de marqueur indigestible ingérée par la concentration du marqueur dans les fèces (Edouard et Fleurance, 2007).

La relation est la suivante (Beckers, 2010) :

$$Fécès = [Distribué]/[Fécès]$$

La méthode utilisant les n-alcanes comme marqueurs a été développée par Mayes *et al.*, (1986). Les n-alcanes ont été premièrement utilisés pour estimer la digestibilité d'un fourrage. Mais ces hydrocarbures sont aussi utilisés pour estimer l'ingestion (Edouard et Fleurance, 2007). Ce sont les marqueurs internes les plus utilisés pour estimer l'ingestion au pâturage. Ce serait la meilleur méthode actuelle pour estimer l'ingestion au pâturage (Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009). La méthode des marqueurs permet une estimation de l'ingestion précise avec une erreur moyenne à l'échelle individuelle de 10% (Delagarde *et al.*, 2019). Cette méthode a l'avantage d'estimer l'ingestion au pâturage de manière individuelle (Edouard et Fleurance, 2007).

Les alcanes sont présents dans la cire cuticulaire recouvrant toutes les plantes supérieures (Moshtaghi Nia et Wittenberg, 2002). Ce sont des hydrocarbures à chaine droite. La chaine de carbone peut varier entre C25 et C35. Dans ce cas, deux alcanes de chaines de carbones adjacentes (comme C_{31} et C_{32}) sont nécessaires. Le marqueur à chaine impaire va servir à estimer la digestibilité tandis que le marqueur à chaine paire sera utilisé comme marqueur de la production fécale (Edouard et Fleurance, 2007). Le marqueur à chaine impair est utilisé comme

un marqueur interne alors que l'alcane à chaine impair est utilisé comme un marqueur externe (Ligios *et al.*, 2002).

Le taux de récupération de ces marqueurs pairs et impairs dans les fèces est identique. Cela n'induit donc pas de biais sur la précision de l'estimation (Mayes et Dove, 2000). Contrairement à d'autres marqueurs qui peuvent ne pas être totalement récupérés dans les fèces ou dont la concentration peut varier en fonction du moment de la journée (Garnsworthy et Unal, 2004).

Cette méthode présente néanmoins des limites. Elle nécessite une calibration et elle est peu généralisable (Delagarde *et al.*, 2019). La concentration des marqueurs internes ou la digestibilité vont être déterminées à partir d'un échantillon de fourrage qui doit être le plus représentatif possible (Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009). Pour réaliser cet échantillon, des poignées d'herbes peuvent être prélevées en essayant d'imiter les prélèvements des animaux. La reproductibilité de la méthode avec les poignées dépend de la calibration de celle-ci par rapport aux animaux et aux observations des expérimentateurs. Cette calibration est plus facile à réaliser pour les bovins que pour les ovins et les caprins qui sont plus sélectifs au pâturage (Vries, 1995). Ensuite, selon l'espèce et l'organe des plantes, le profils en n-alcanes peut varier ce qui peut induire une source d'erreur dans l'estimation (Côrtes *et al.*, 2005 ; Decruyenaere, Buldgen †, *et al.*, 2009). Pour finir, cette méthode nécessite de lourdes manipulations des animaux et une charge de travail importante. Cela comprend la collection des échantillons de fèces, l'extraction des marqueurs en laboratoire et le dosage (González-García *et al.*, 2018). Cette méthode est également très coûteuse (Garnsworthy et Unal, 2004). De plus, il est nécessaire de demander des autorisations à l'ANSES pour remettre dans le marché de l'alimentation humaine les produits issus des animaux (viande et lait) ayants ingérés des marqueurs.

Enfin, cette méthode peut être plus difficile à mettre en œuvre pour certaines espèces animales. En effet, au pâturage, pour les porcins, les lapins, et les volailles, la distribution quotidienne de marqueurs ou encore l'échantillonnage des marqueurs peut être limité. Des études supplémentaires seraient nécessaires afin d'avoir la validation en milieu contrôlé de la récupération fécale des marqueurs et notamment de la prévision de la digestibilité (Delagarde *et al.*, 2019).

2.3.4. Etude du comportement de l'animal au pâturage

L'ingestion peut être estimée en observant 3 variables : le temps de pâture, le nombre de bouchées d'herbe par animal et la masse de ces bouchées d'herbe. Cette méthode permet de déterminer l'ingestion individuelle (Macoon *et al.*, 2003). Les deux premières variables peuvent être estimées par une observation visuelle (Rook *et al.*, 2004). Ce même auteur a estimé, chez des brebis et des génisses, la masse des bouchées d'herbes en mesurant la différence de hauteur entre la zone consommée par l'animal et la zone intacte. En reliant ces deux paramètres à la densité apparente de l'herbe pâturée, ils obtenaient ainsi la masse des bouchées prélevées par l'animal. Une habituation des animaux aux observateurs était nécessaire pour ne pas perturber le comportement alimentaire (Agreil et Meuret, 2004). Une source majeure d'incertitude de cette méthode est l'estimation de la masse des bouchées prélevées par l'animal. De plus, sur des parcours hétérogènes cette méthode est peu adaptée (Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009).

2.3.5. Spectroscopie de réflectance proche infrarouge

Une méthode utilisant la spectroscopie de réflectance proche infrarouge (SRPI) a été développée pour estimer la digestibilité d'un fourrage (Garnsworthy et Unal, 2004). Cela repose sur la création d'une base de données reliant l'absorbance de la lumière à la composition chimique ou botanique déterminée en laboratoire. Les bases de données les plus abouties permettraient dans un premier temps d'estimer *in vivo* la digestibilité. Dans un second temps, d'estimer l'ingestion à partir de différents éléments organiques. Par exemple, des fèces ou de l'extruda œsophagien ou encore à partir d'analyses de fourrages (Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009).

Cette méthode peut être couplée à la méthode des alcanes. En effet, la méthode SRPI pourrait être utilisée pour connaitre la concentration des alcanes ou d'autres marqueurs dans les fèces. De cette façon, les analyses chimiques en laboratoires seraient moins lourdes et moins coûteuse (Garnsworthy et Unal, 2004). Le principal inconvénient de l'utilisation de la SRPI est la création et le développement d'une base de données pour avoir des estimations précises et adaptées à tout type de conditions de pâturage. De plus, la précision de la SRPI dépend de celle de la méthode avec laquelle a été construite la base de données. Le coût de l'équipement analytique peut également être un frein.

2.3.6. Pesée de l'animal

Une méthode basée sur la pesée de l'animal consiste par exemple à mesurer la différence de poids avant et après pâturage. Cependant, cette méthode n'est applicable que pour de très

courtes périodes de pâturage c'est à dire aux alentours d'une heure. La source imprécision de cette méthode est la perte de poids au pâturage liée à l'urination et à la défécation des animaux (Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009).

2.3.7. Différence de biomasse avant et après pâturage

Certaines méthodes reposent essentiellement sur l'estimation la différence de biomasse avant et après le pâturage des animaux. Ces méthodes estiment l'ingestion à l'échelle d'un lots d'animaux (Delagarde *et al.*, 2019).

La méthode de Stockdale et Dellow, (1995) se base sur l'estimation de la biomasse en entrée et en sortie de pâturage à partir de droite de régression reliant la hauteur d'herbe et la biomasse. Ces droites de régressions étaient construites en réalisant des quadrats d'herbes et en mesurant la hauteur de ces quadrats à l'aide d'un herbomètre. Un herbomètre est un appareil permettant de mesurer la hauteur d'herbe. Il est composé d'un plateau dont la hauteur va s'arrêter à la hauteur de l'herbe. Une onde envoyée entre le plateau et le socle va permettre de mesurer la distance entre ces deux objets (Klootwijk *et al.*, 2019).

L'herbe prélevée sur des quadrats de 0,2m^2 était ensuite séchée à 60°C pendant 3 jours puis pesée. Les biomasses présentes en entrée et en sortie de pâturage étaient estimées à partir de la hauteur d'herbe moyenne en entrée et en sortie de parcelle et des droites de régressions (Stockdale et Dellow, 1995 ; Stockdale et King, 1983). La biomasse était exprimée en masse de matière sèche par ha.

Mesurer la biomasse présente avant et après pâturage est simple à mettre en place et donne des résultats fiables pour des périodes de pâturage courtes (1 à 2 jours). En effet, pour des périodes plus longues, la croissance de l'herbe induit une erreur d'estimation. Pour répondre à cette problématique, des zones de défend inaccessibles aux animaux peuvent être mises en place pour mesurer la croissance de l'herbe. De cette manière, il est possible de corriger la biomasse ingérée en prenant en compte la croissance de l'herbe. Cependant, les zones de défend ne recevant pas d'urine ou de fèces cela engendrerait un biais sur l'estimation de la croissance de l'herbe(Frame, 1996 cité dans Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009).

La précision de ces méthodes dépendent de l'échantillonnage et des erreurs de mesures aux différentes étapes des protocoles (Decruyenaere, Buldgen, *et al.*, 2009).

Ensuite, il semblerait qu'il ne soit pas toujours possible d'établir une relation entre la hauteur d'herbe et la biomasse présente dans la prairie. Dans une étude, la hauteur mesurée de l'herbe

Tableau 1 : Récapitulatif des méthodes de mesure de l'ingestion au pâturage

Méthode	Principe	Avantages	Inconvénients
Pesée de l'animal	Pesée avant et après pâturage		• Pas de prise en compte des pertes de poids dû à l'excrétion de décès et d'urine • Applicable que pour des courtes durée de pâturage • Chronophage
Pesée d'une partie de l'animal			• Mise à mort de l'animal
Différence de biomasse	Estimation biomasse avant et après pâturage	Pas de mesure sur l'animal	• Chronophage
Excrétion fécale et digestibilité	Estimation de l'ingestion déterminant la quantité de fèces produite et en fonction de la digestibilité		• Chronophage • Coûteuse • Besoin d'une autorisation pour la remise sur le marché de la consommation des animaux
Marqueurs	Ingestion d'une dose connue de marqueur non digestible par l'animal et analyse de la concentration dans les fèces	Méthode précise (erreur moyenne à l'échelle individuelle de 10%)	• Chronophage • Coûteuse • Besoin d'une calibration • Peu généralisable • Lourde pour les animaux
Comportement d'ingestion	Calcul de l'ingestion en fonction du temps de pâturage, du nombre de bouchées prélevées et de la masse des bouchées		• Peu adapté sur des parcelles hétérogènes • Principale imprécision : la masse prélevée à chaque bouchée • Besoin d'une habituation des animaux aux observateurs
HerbValo	Modèle calculant l'ingestion en fonction des effectifs, des temps de séjour dans la parcelle et des unités d'encombrement de l'INRAE	Pas de mesure sur l'animal	• Utilisable que sur certaines espèces de ruminants
Spectroscopie réflectance proche infrarouge	Création d'une base donnée reliant la composition chimique et l'absorbance de la lumière Estimation de l'ingestion avec les fèces, peut être couplée avec la méthode des alcanes		• Besoin d'une grande base de données adaptée à tous types de pâturage • Cout des équipements d'analyse

n'était pas corrélée à la biomasse présente dans la prairie composée de vivace en montagne (Davies *et al.*, 1989). D'autres études ont trouvé des corrélations positives entre ces deux variables avant et après pâturage sur plusieurs années (Marshall *et al.*, 1998). Murphy et al. 1995b cité dans Marshall *et al.*, 1998 a également trouvé une corrélation positive entre la hauteur de l'herbe et la biomasse sur une prairie de graminée et de trèfle blanc.

Pour finir, une étude a comparé la méthode de disparition de la biomasse, avec une méthode utilisant un marqueur et une méthode se basant sur les performances de l'animal (Macoon *et al.*, 2003). La méthode avec le marqueur estimait une ingestion plus importante comparée aux deux autres méthodes. La méthode sur la disparition de la biomasse et la méthode reposant sur les performances animales étaient corrélées. Les résultats obtenus à partir de la méthode avec le marqueur n'étaient pas corrélés aux deux autres méthodes.

Cependant, toutes les méthodes de mesure d'ingestion présentent des avantages ainsi que des inconvénients spécifiques (Burns *et al.*, 1994) (tableau 1).

2.4. Problématique

De manière générale les méthodes de mesure de l'ingestion au pâturage ne sont pas adaptées aux prairies hétérogènes ni à tout type de pâturage. Certaines ne sont pas applicables à des durées de pâturages supérieur à 2 jours. Ensuite, les méthodes comme la méthode des marqueurs ou la méthode mobilisant la spectroscopie de réflectance infrarouge et nécessitent d'importantes interventions sur les animaux. De plus, ces méthodes ont été initialement développées pour les ruminants. Elles ne sont pas forcément adaptées à tous types d'espèces animales d'un point de vue pratique. Or le pâturage des monogastriques comme les porcs reste marginal dans les élevages. A ma connaissance, peu d'études ont été réalisées sur les méthodes d'évaluation de l'ingestion des porcs au pâturage.

La méthode se basant sur l'estimation de la biomasse disponible avant et après pâturage a l'avantage de ne nécessiter aucune mesure sur les animaux. C'est une méthode peu couteuse D'un point de vue pratique, cette méthode est relativement plus simple à adapter à différentes espèces animales que ce soit chez les ruminants ou les monogastriques car elle n'a pas besoin de calibration préalable qui requiert d'important investissement en compétences ou de travaux en laboratoire tels que la méthode des marqueurs ou la méthode de spectroscopie proche infrarouge. Néanmoins, la précision de cette méthode d'évaluation est encore à déterminer notamment au niveau des monogastriques. En particulier des porcs, qui ont la particularité de fouiller et retourner la terre.

C’est dans ce contexte que ce stage testant la méthode sur la différence de biomasse avant et après pâturage s’inspirant de l’étude de Stockdale et Dellow, (1995) a été mis en place. L’objectif est de répondre à la question suivante :

Quelle est la faisabilité, la précision et les limites de la méthode d’estimation de l’ingestion au pâturage se basant sur la différence de biomasse avant et après pâturage en conditions de pâturage tournant d’une troupe de porcs charcutiers ?

Au vu de la bibliographie rassemblée sur le sujet, il est possible de supposer certaines limites :

Hypothèses :

La limite principale de la méthode est que les porcs retournent les prairies ce qui peut induire un biais sur les valeurs d’estimations de l’ingestion lors de l’estimation de biomasse en sortie de pâturage.

Le pâturage hétérogène et sélectif des porcs préférant les feuilles que les tiges pourrait aussi amener des biais aux mesures effectuées à l’herbomètre.

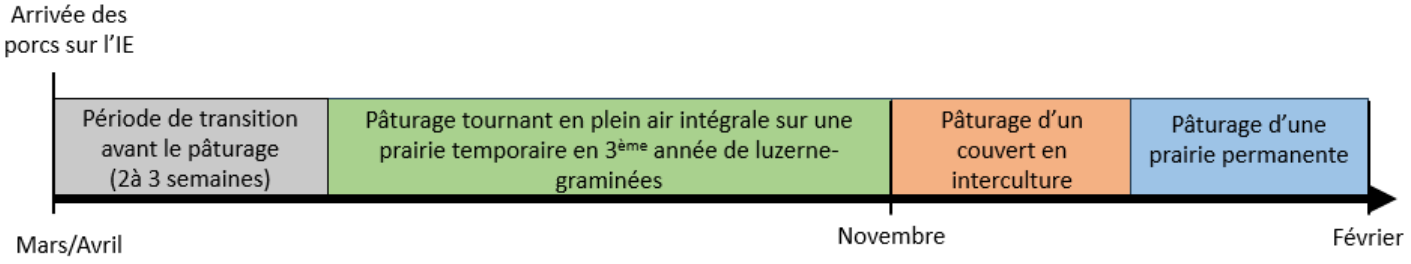

Figure 3 : Déroulement du pâturage de l'atelier d'engraissement des porcs dans le temps

3. Matériels et méthodes

2.1. Installation expérimentale de l'unité de recherche ASTER

L'INRAE a créé et a mis en place l'unité de recherche ASTER en 1961 au sein d'une exploitation en polyculture-élevage. L'unité a été divisée en une unité expérimentale et une unité de recherche distincte. En 2006, les deux unités ont fusionné pour devenir une unité de recherche dotée d'une installation expérimentale (IE). A partir de 2004, la ferme est passé intégralement en agriculture biologique et a mis en place des expérimentations-systèmes.

Depuis 2016, une expérimentation système, comprenant un système polyculture et polyélevages autonome a été mis en place. Dans ce système, les 240ha de l'IE se composent de 105ha de terres arables et de 135ha de prairies permanentes. Des prairies temporaires de graminées/luzerne valorisées par les ruminants de l'expérimentation système ont été implantés sur 35ha de ces terres arables. L'herbe est l'unique source d'alimentation de ces ruminants que ce soit au pâturage ou sous forme de fourrage conservé, du foin. Sur les 70ha de terres arables restants, des cultures annuelles à destination de l'alimentation humaine ont été implantées. Il s'agit de céréales comme le blé ou l'avoine, de légumineuses comme le pois ou les lentilles et des oléagineux comme des tournesols ou de la cameline. Ces cultures sont de manière générale cultivées en mélange de variétés ou d'espèces. Ces mélanges sont ensuite triés sur la ferme. L'atelier porcs a été intégré au projet système de l'unité ASTER afin de valoriser ces issues de tris des cultures en complément du pâturage.

Le nombre de porc acheté dépend ainsi de la quantité d'issues de tris de l'IE disponible de l'année précédant leur installation. Les porcs arrivent généralement en mars-avril. Ils sont mis au pâturage tournant sur une prairie temporaire en troisième ou quatrième année de luzerne-graminée. Après le pâturage des porcs, la prairie était soit détruite pour préparer le semis de la culture suivante soit conservée pour être pâturée l'année suivante par les porcs.

Suite à la pâture de luzerne-graminée, les porcs pâturent un couvert d'interculture composé de trèfle, de radis et de phacélie. Le pâturage du couvert n'est pas toujours réalisé. Il faut qu'il soit assez développé. En décembre, les porcs sont placés sur une prairie permanente près des bâtiments de la ferme expérimentale (figure 3). Ainsi, le couvert de l'interculture pourra être détruit. Les porcs ne sont pas équipés d'anneaux nasals. L'objectif étant de détruire la prairie temporaire avant de la mettre en culture.

Figure 4 : Porcs placés en bâtiment paillé pendant la période de transition avant le pâturage

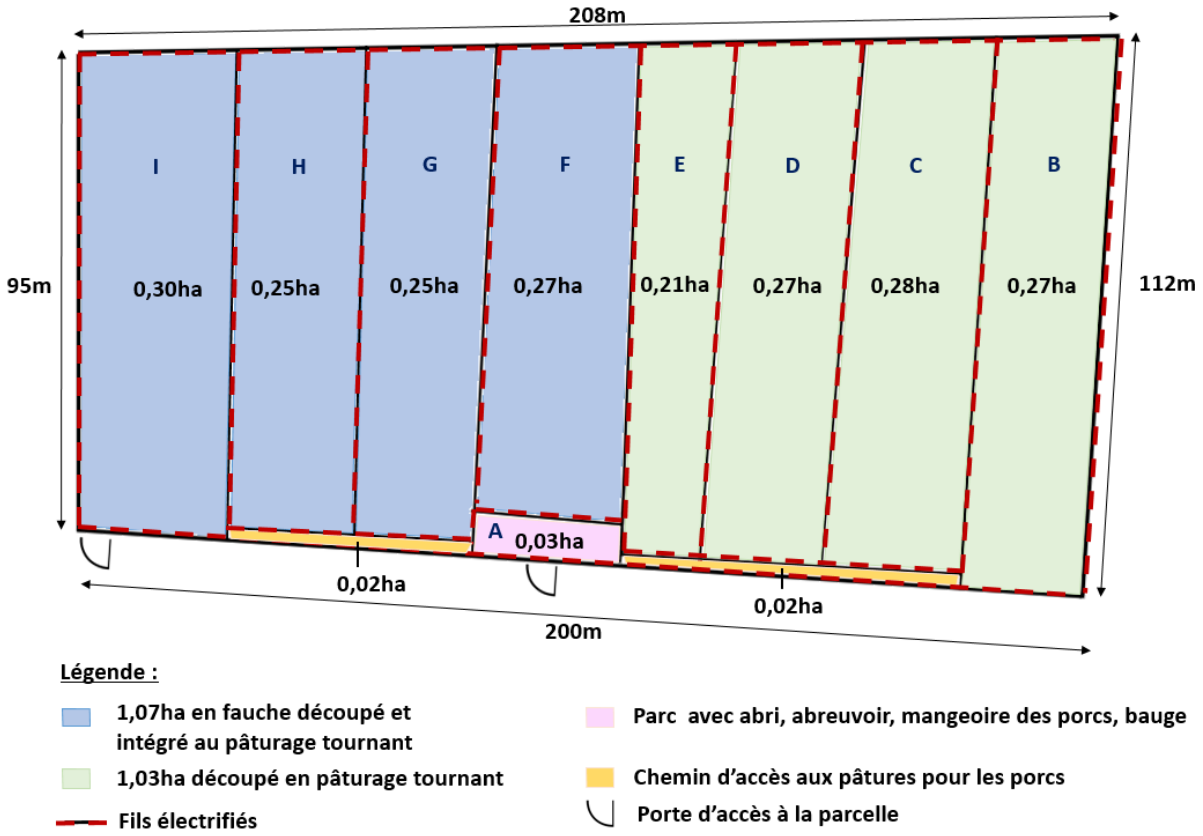

Figure 5 : Schéma de la parcelle des porcs avec la partie en fauche découpée en sous parcelles et intégrée au pâturage tournan

Lorsque les porcs atteignent 130-140kg (poids vif), ils sont abattus à Rambervilliers situé à environ 40km de l'IE puis vendus à une boucherie artisanale à Vittel dans la région mirecurtienne. Les porcs ayant des poids hétérogènes à leurs arrivés, la durée d'engraissement peut être très variable selon les porcs. Les départs à la boucherie s'étalent généralement de l'automne à l'hiver de l'année de l'arrivée des porcs sur l'IE.

3.1. Animaux

La troupe de porc testée était constituée de 30 porcs charcutiers mâles ou femelles. Les porcs étaient de race croisée Piétrain et Duroc. Ils provenaient d'un élevage de porcs bio en bâtiment situé en Moselle. Leurs queues n'ont pas été coupées et leurs dents n'ont pas été limées. Les mâles ont été castrés. Ils étaient en fin février, début mars. Ils étaient arrivés dans l'IE de Mirecourt le 4 avril 2023 en post-sevrage. Les porcs ont été pesés à leur arrivée sur l'IE. Ils avaient en moyenne un poids de 14kg (écart-type de 2,5kg). Il y avait une importante hétérogénéité des poids des porcs à leurs arrivée au sein de l'IE, le plus petit pesant 9kg et le plus gros 19kg.

Ils ont d'abord été installés dans un ancien silo paillé pendant environ 2 semaines pour effectuer une période de transition avant le pâturage (figure 4). La durée de la période de transition dépendait de l'âge des animaux, des conditions pédoclimatiques et du démarrage de la pousse de luzerne.

3.2. Santé

Il n'y a pas eu de vaccins ou de traitements vermifuges. Une administration de fer a été effectuée. Cette pratique est obligatoire. Un prélèvement de sang au niveau de la queue a été réalisé une fois pour vérifier la présence de maladie. L'état des fèces des porcs a pu être observé au démarrage du pâturage tourant. En effet, des fèces bien formés, non liquide sont des signes d'une bonne santé du tractus gastro-intestinale.

3.3. Le parcellaire

Les porcs ont pâturé une parcelle en 3ème année de luzerne-graminée de 2,16ha. La parcelle a été scindée en 2. Une moitié, d'un hectare, a été découpée en 4 sous-parcelles de 0,26ha en moyenne pour mettre en place le pâturage tournant (figure 5). La seconde moitié de la parcelle a été gardée pour être fauchée et contrôler la pousse d'herbe. Une fois fauchée, elle a également été décomposée en plusieurs sous-parcelles d'environ 0,26ha pour accueillir les porcs et laisser l'autre partie de la parcelle repousser.

Figure 6 : Parc de 290m2 où étaient installés les porcs

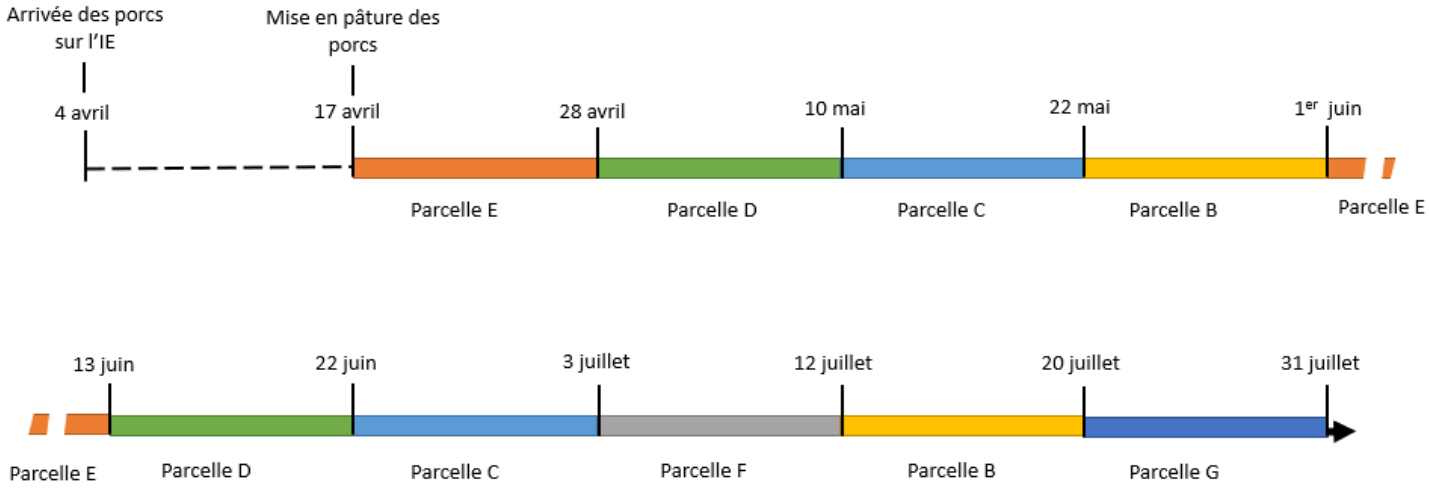

Figure 7 : Dates de changement de sous-parcelle des porcs

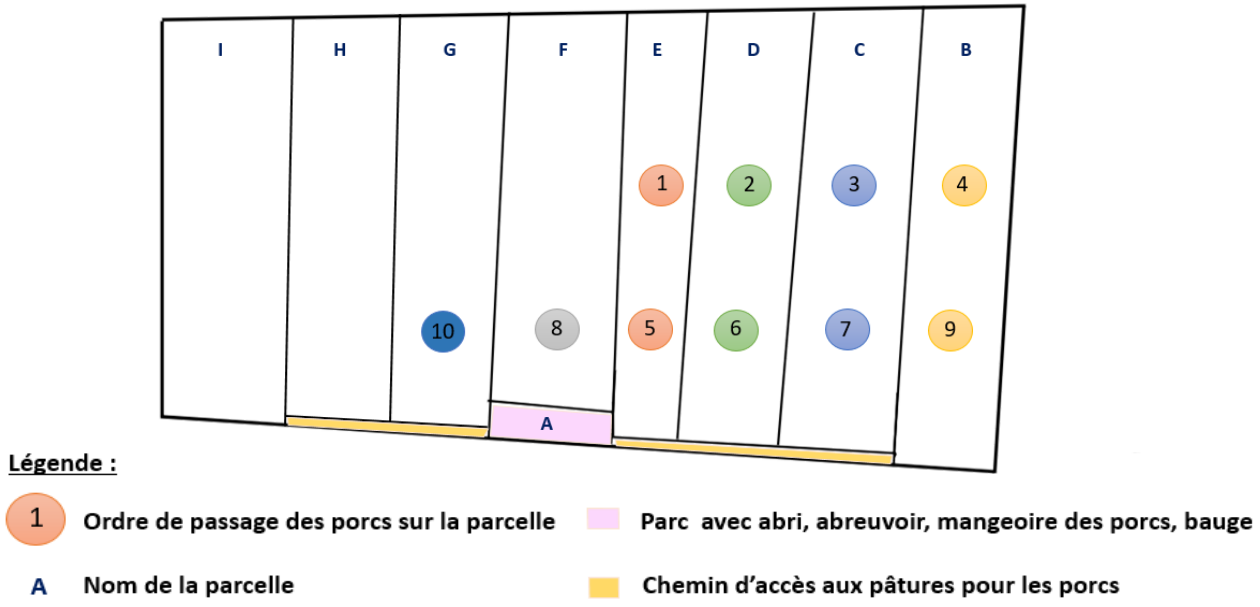

Figure 8 : Ordre de passage des porcs sur les parcelles en pâture

Un parc de 290m^2 a été installé au milieu de la parcelle. Ce parc contient un abri dont le sol est recouvert de paille, un abreuvoir, une mangeoire et une bauge (figure 6). Une porte a été installée sur ce parc pour faciliter l'accès à la parcelle. De ce parc, les animaux empruntent un petit chemin pour aller sur la parcelle en pâture. Les différents parcs étaient délimités par des fils électriques. La délimitation extérieure de la parcelle était entourée de barbelé et d'un filet électrique de type filet à volaille.

Pour ne pas fausser les mesures de croissance de l'herbe pour la mesure d'ingestion des porcs, les porcs devaient passer entre 8 à 10 jours sur une même parcelle.

L'ingestion au pâturage tournant étudiée dans ce rapport a concerné la période du 17 avril au 31 juillet bien que le pâturage a continué au-delà du 31 juillet (figure 7). Un premier cycle de pâturage a été réalisé sur les parcelles E puis D, C et B (figure 8). A la sortie des animaux, les refus de ces parcelles ont été broyés. Un deuxième broyage a été fait après le 2ème cycle de pâturage sur les parcelles E, D et C. La parcelle B en deuxième cycle de pâturage n'a pas été broyée, il y avait peu de végétation à la sortie des animaux au premier cycle de pâturage. Ils ont effectué un deuxième cycle de pâturage sur les parcelles E, D et C. Ensuite, la repousse de la parcelle B n'étant pas suffisante, les porcs sont allés sur la parcelle F avant de revenir sur la B. Enfin, les porcs ont été mis sur la parcelle G.

3.4. Alimentation des animaux

Les porcs ont été nourris une fois par jour. Les issues de tris composés de céréales (blé et avoine) et de protéagineux (féverole) ont constitué la base de leur ration. Les proportions et les quantités de tri de céréales et de protéagineux ont varié selon la croissance des porcs et de la disponibilité en herbe. Des pommes de terre non commercialisables ou des denrées rapidement périssables comme du colostrum ou du lait riche en cellule produit sur l'exploitation ont pu être distribués.

Figure 9 : Photo de l'herbomètre

3.5. Méthode de mesure de l'ingestion de l'herbe et de la composition botanique des parcelles

3.5.1. Principe de la méthode de la mesure d'ingestion

L'estimation de l'ingestion des porcs en pâturage a été effectuée en réalisant la différence entre la biomasse à l'entrée de pâturage et la biomasse à la sortie des animaux de la parcelle. Premièrement, des mesures de la hauteur moyenne de l'herbe ont été réalisées à l'herbomètre la semaine précédant la mise en pâture des porcs sur la parcelle (figure 9). Ces mesures ont servi à mesurer la vitesse de croissance de l'herbe en cm/jour sur la parcelle. Idéalement, 4 mesures d'hauteurs moyennes de parcelles sont nécessaires pour effectuer les droites de régressions de croissance de l'herbe en fonction du temps. Deux mesures successives sont faites sur 2 jours. Les deux autres mesures sont faites 4 à 5 jours après pour estimer la croissance « croiss » de l'herbe en cm/jour. Cependant des mesures d'hauteurs moyennes ont été réalisées tous les jours afin d'être sûr d'avoir les données car les dates d'entrées et de sorties peuvent être flexibles. Le nombre de mesures réalisées à l'herbomètre était variable selon les parcelles. Le nombre moyen de mesures à l'herbomètre par parcelle était 75. Toutes les mesures de hauteurs d'herbes étaient réalisées avec le même herbomètre.

La période de pâturage d'une parcelle était de 8 à 10jours dans l'objectif de ne pas biaiser l'estimation de la vitesse de croissance de l'herbe. La pousse de l'herbe pendant le pâturage est ainsi comprise dans le calcul de la biomasse disponible en entrée. Il s'agit de la biomasse disponible corrigée.

Deuxièmement, la biomasse présente sur la parcelle à l'entrée des animaux a été estimée à partir de la hauteur moyenne de l'herbe de la parcelle avant l'entrée des animaux sur la parcelle (HE) et d'une droite de régression hauteur/biomasse établie à l'entrée des animaux dans la parcelle. En sortie, la même procédure a été réalisée : une mesure de la hauteur moyenne de l'herbe à la sortie des animaux de la parcelle (HS) et une droite de régression hauteur/biomasse établie en sortie de parcelle.

Afin d'établir les régression hauteur/biomasse entrée et sortie des animaux, 10 quadrats de 50x50cm soit 0,25m2 ont été prélevés le jour d'entrée des animaux dans la parcelle et 10 quadrats de la même surface en sortie. Ces quadrats ont été volontairement prélevés sur des zones de hauteurs variables :

- 3 quadrats sur la zone d'hauteur d'herbe la plus haute de la parcelle
- 3 quadrats sur la zone d'hauteur d'herbe la plus basse de la parcelle

Figure 10 : Photo de la mini-tondeuse utilisée lors des prélèvements des quadrats

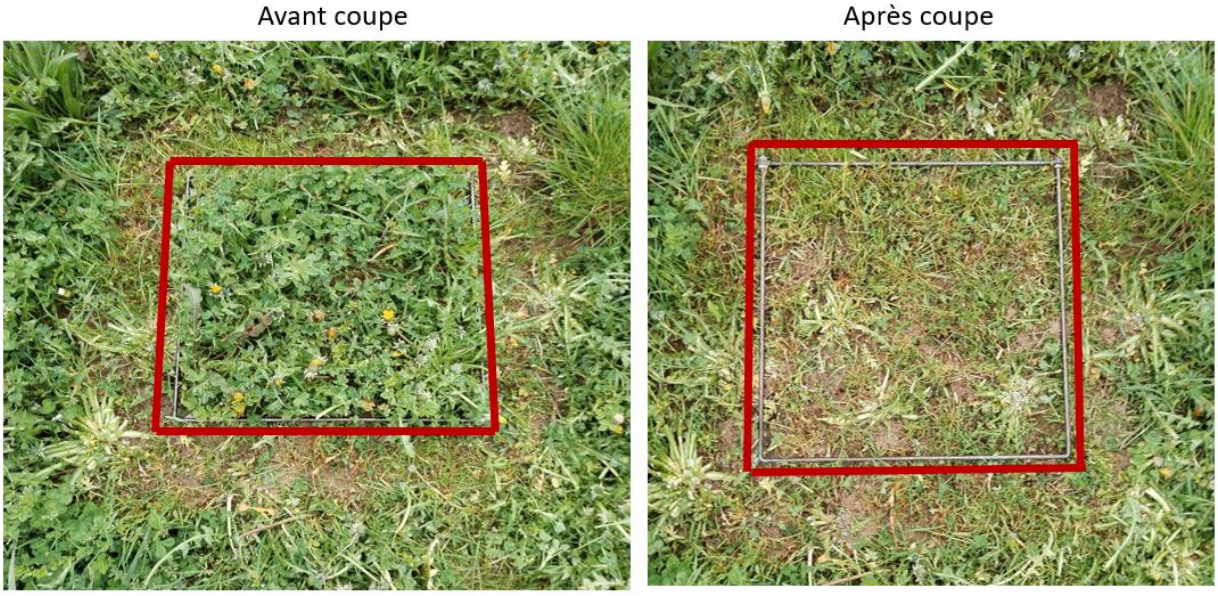

Figure 11 : Photos de quadrats prises avant et après le prélèvement d'herbe

- 2 quadrats sur une zone d'hauteur d'herbe moyenne haute
- 2 quadrats sur une zone d'hauteur d'herbe moyenne basse

Les zones étaient identifiées à vue d'œil. Une fois l'emplacement du quadrat choisi, une mesure à l'herbomètre était réalisée. L'herbe dans le quadrat était ensuite coupé à l'aide d'une mini-tondeuse (STIHL HSA 25) (figure 10). Les quadrats étaient placés à l'étuve à 60°C pendant 2 à 3 jours x puis pesées. Les quadrats n'ont pas été lavés.

Des photos des quadrats avant et après coupe ont été prises afin de constater la hauteur d'herbe après coupe et également pour expliquer les courbes de régressions obtenues (figure 11).

Pour finir les quadrats prélevés à l'entrée des animaux sur une parcelle ont été rassemblés, broyés puis conservés en flacons. Il en a été de même pour les quadrats prélevés en sortie de parcelle. Ces flacons seront analysés en laboratoire afin de connaître la composition en matière sèche, en matière minérale, et en azote totale. La composition de ces flacons ne sera pas étudiée dans ce rapport.

3.6. Calculs de l'ingestion de l'herbe

3.6.1. Calcul de la croissance de l'herbe et prise en compte dans le calcul de la biomasse

La croissance, « croiss », était calculée sur Excel avec la fonction suivante :

$$Pente(y_connus, x_connus)$$

Avec y_connus correspondant au mesures d'hauteurs d'herbes moyennes (cm) de la parcelle et x_connus les dates auxquelles les mesures ont été effectuées.

Avec ces mesures, il était possible de déterminer la hauteur d'herbe corrigée « Hecc ».

La hauteur d'herbe qui était mesurée en entrée de parcelle mesurée a été corrigé avec la croissance de l'herbe. Il s'agit de la hauteur d'herbe moyenne à l'entrée corrigée de la croissance (Hecc) :

$$Hecc = HE + (Date\ E - Date\ HE) x\ croiss) + ((Date\ S - Date\ E - 1)\ x \text{ croiss/2})$$

Avec :

- Hecc : hauteur d'herbe moyenne à l'entrée corrigée de la croissance
- HE : hauteur d'herbe moyenne à l'entrée des animaux sur la parcelle mesurée à l'herbomètre
- Date E : date d'entrée des porcs sur la parcelle

- Date HE : date de mesure de la hauteur d'herbe moyenne à l'entrée
- Date S : date de sortie des porcs de la parcelle
- Croiss : croissance estimée de l'herbe (cm/jour)
- Croiss/2 : croissance de l'herbe estimée en même temps que le pâturage de celle-ci

3.6.2. Estimation de la biomasse d'entrée, de sortie et calcul de l'ingestion

La masse de matière sèche des quadrats à la sortie de l'étuve avait été convertie en kgMS/ha pour obtenir la biomasse estimée de la parcelle dans la même unité :

$$Biomasse\ quadrat\ (kgMS/ha) = \frac{MS * 10^{-3}(kg)}{0{,}25 * 10^{-4} ha}$$

Avec :

- MS : matière sèche du quadrat prélevé (g)
- 0,25 : surface du quadrat (m^2)

Ensuite, la biomasse en entrée a été calculée en utilisant la hauteur Hecc et l'équation de la droite de régression établie en entrée de pâturage des animaux.

L'ingestion par hectare a été calculée en réalisant la différence entre la biomasse en entrée et en sortie. Ainsi, la relation suivante a été établie :

$$Hi_ha = Becc - BS$$

Avec :

- Hi_ha : quantité d'herbe ingérée par hectare (kgMS/ha)
- Becc : biomasse disponible en entrée de pâturage corrigée de la croissance de l'herbe(kgMS/ha)
- BS : biomasse en sortie de pâturage (kgMS/ha)

Pour obtenir l'ingestion moyenne par animal la relation utilisée était :

$$HI_anim = \frac{(Hi_ha * surface\ de\ la\ parcelle)}{Temps\ de\ séjour\ sur\ la\ parcelle * Nombre\ d'animaux}$$

Avec :

- HI_anim : quantité d'herbe ingérée par animal et par jour (en kgMS/animal/jour)
- Hi_ha : quantité d'herbe ingérée par hectare (kgMS/ha)

- Surface de la parcelle (ha)
- Temps de séjour sur la parcelle en nombre de jours (j)

3.7. Estimation de la composition botanique de l'herbe offerte dans les parcelles

Deux méthodes ont été utilisées pour estimer la composition botanique de la parcelle en termes de proportion de graminée, de légumineuses et le reste étant classé en « autres ».

La première méthode consistait à donner une note de 0 à 6 aux quadrats prélevés en entrée et en sortie de parcelle. La somme des notes pour chaque quadrat doit être égale à 6. Les demi-points n'étaient pas acceptés. Par exemple, il était possible d'avoir 3 pour les graminées, 2 pour les légumineuses et 1 pour les autres. La somme des notes des quadrats donnait une proportion de graminée, légumineuse et d'autres dans la parcelle.

La deuxième méthode consistait à prendre 30 à 40 poignées en suivant un W sur la parcelle, le jour d'entrée des animaux sur la parcelle. Les poignées étaient rassemblées puis triées selon légumineuses, graminées et autres. Les différentes catégories étaient placées à l'étuve à 60°C pendant 2 à 3jours puis elles étaient pesées pour estimer la proportion en matière sèche de légumineuses, de graminées et autres en entrée des porcs sur la parcelle.

3.8. Analyse des données

3.8.1. Précision des mesures d'hauteurs moyennes de l'herbe

La précision des mesures d'hauteurs d'herbe moyenne a été analysée en étudiant l'erreur standard des moyennes (SEM) des hauteurs d'herbe. Elle était calculée à partir des écart-types intra-jour des mesures à l'herbomètre et du nombre de mesures. La relation est la suivante :

$$SEM = \frac{etr}{\sqrt{\mathrm{n}}}$$

Avec :

- etr : écart-type intra-jour des mesures d'hauteurs

- n : nombre des mesures d'hauteurs réalisées sur la parcelle

3.8.2. Précision des droites de régressions

La qualité des estimations des biomasses a été évaluée avec les écarts-type résiduels (R.S.D) des droites de régressions. Ils ont été calculés sur Excel dans l'onglet données, à l'aide de l'outil « utilitaire d'analyse ».

Si la valeur de R.S.D est proche de 200kgMS/ha, cela est considéré comme une droite de régression de qualité et donc à une estimation de la biomasse précise. Si le R.S.D est proche de 400kgMS/ha, la précision de l'estimation de la biomasse était moyenne. Lorsque le R.S.D est proche ou supérieur à 600kgMS/ha, la précision était faible. La vraie valeur de biomasse estimée se situe dans un intervalle de confiance à 95% délimité par la valeur de biomasse estimée à laquelle on soustrait ou on ajoute deux fois l'écart-type résiduel (Delagarde, 2023).

Tableau 2 : Valeurs de croissance de l'herbe estimées en cm/jour à partir des mesures quotidiennes de hauteurs d'herbe avant le pâturage

Parcelle	Cycle	Période de mesure	Croissance estimée de l'herbe (cm/jour)
E	1	07 avril au 14 avril	0,16
D	1	20 avril au 28 avril	0,40
C	1	27 avril au 10 mai	0,93
B	1	11 mai au 22 mai	0,55
E	2	23 mai au 01 juin	0,38
D	2	02 juin au 13 juin	0,11
C	2	14 juin au 22 juin	0,11
F	11	23 juin au 1 juillet	0,05
B	2	4 juillet au 12 juillet	-0,22
G	11	10 juillet au 20 juillet	-0,01

Cycle 1 : 1er cycle de pâturage sans fauche ni broyat le précédant
Cycle 2 : 2ème cycle de pâturage après un broyage
Cycle 11: 1er cycle de pâturage après une fauche préalable

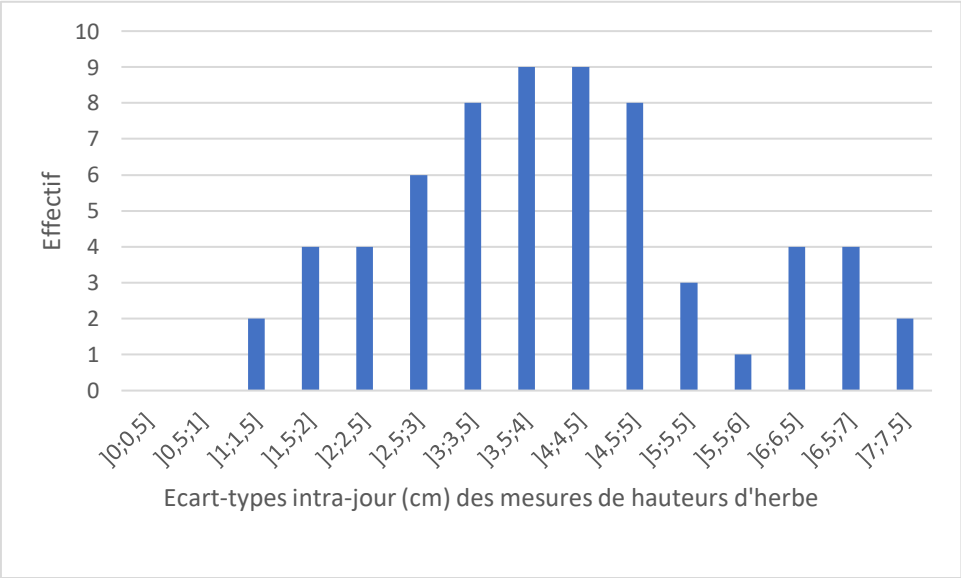

Figure 12 : Effectifs des écarts-types intra-jour des mesures de hauteurs d'herbe

4. Résultats

4.1. Estimation de la croissance de l'herbe

La pousse de l'herbe estimée était croissante du 7 avril au 10 mai (tableau 2). Durant cette période, la pluie était fréquente et la température clémente pour une bonne pousse de l'herbe. Le maximum de croissance relevé s'élevait à 0,93cm/jour sur la période de fin avril à début mai. La croissance de l'herbe à 0,55cm pour la parcelle B en premier cycle de pâturage a été sous-estimé. L'herbe atteignait une hauteur qui était supérieures à certains endroits à la capacité de mesure de l'herbomètre(37,3cm).

A partir du 11 mai, la pousse de l'herbe a ralenti progressivement jusqu'à atteindre des valeurs négatives en début juillet. Ces valeurs négatives ont un impact sur les valeurs d'ingestion notamment au niveau de la hauteur moyenne corrigée de l'herbe en entrée (Hecc) des animaux sur la parcelle.

4.2. Précision des hauteurs d'herbes mesurées

La précision des mesures de hauteurs d'herbe à l'herbomètre a été évaluée en fonction des écart-types intra-jour. Plus l'écart-type intra-jour est élevé plus le couvert de la parcelle était hétérogène. La majorité des écart-types intra-jours étaient compris entre 3cm et 5,5cm (figure 12). L'écart-type intra-jour moyen de l'ensemble des mesures de hauteurs (comprenant les mesures pour déterminer la pousse de l'herbe et les mesures d'entrée et de sortie de pâturage) était de 4,3 cm.

L'erreur standard de la moyenne (SEM) de l'ensemble des mesures d'hauteurs moyennes à l'herbomètre était égale à 0,5cm. Cela représente plutôt une bonne précision des mesures réalisées à l'herbomètre. Si on applique cette erreur à la pente moyenne des droites de régressions entrée et sortie comprises (111,6kgMS/ha), en considérant la surface moyenne pâturée de 0,26ha, et un temps de pâturage sur une parcelle égale à 11jours, cela revient à une erreur sur l'ingestion de 0,04kgMS/porc/jour.

4.3. Evaluation de la précision des droites de régression via l'écart-type résiduel

Les écart-types résiduels (R.S.D) des droites de régressions allaient de 280kgMS/ha à 1500,6kgMS/ha en entrée. En sortie, les écart-types résiduels étaient compris entre 375 et 1260kgMS/ha. L'écart-type résiduel moyen était de 597,9kgMS/ha pour les droites de

Tableau 3 : Equations et écart-type résiduel moyen des droites de régressions

Parcelle	Cycle	Avant pâturage	R.S.D (kgMS/ha)	Après pâturage	R.S.D (kgMS/ha)
E	1	Y = 149,7x + 585	357,8	Y = 129,7x + 678,5	607,8
D	1	Y= 128x +599	280,8	Y= 171,6x + 282,8	652,8
C	1	Y= 149,5x +175	1 077,5	Y= 139,7x + 1 130,5	1 068,7
B	1	Y= 155,5x + 946,6	1 500,6	Y= 74,02x + 3 471	1 260
E	2	Y = 141,4x + 183	399,1	Y = 70,1x + 1 720	630,3
D	2	Y = 80,5x +1 129,2	551,2	Y = 72,3x + 1 170,5	439,3
C	2	Y = 98,5x +160,7	286,2	Y= -0,74x + 2 161,4	514,8
F	11	Y = 103,6x + 199	305,0	Y= 90,6x + 477,6	409,3
B	2	Y = 72,7x + 948,6	874,5	Y = 89,1x + 999,1	375,1
G	11	Y =143,6x – 310	345,9	Y= 173,1x - 41,9	605,8
Moyenne			597,9		656,4
Min			280,8		375,1
Max			1 500,6		1 260

R.S.D : écart-type résiduel moyen, x : hauteur d'herbe moyenne(cm), y : biomasse estimée (kgMS/porc/jour)

Tableau 4: Estimation de l'ingestion d'herbe par la troupe de 30 porcs charcutiers

Parcelle	Cycle	Surface (ha)	Croiss (cm/j)	HE (cm)	HEc (cm)	HS (cm)	Becc (kgMS/ha)	BS (kgMS/ha)	Hi_ha (kgMS/ha)	HI_anim (kgMS/porc/j)
E	1	0,21	0,2	7,2	8	6,7	1 800	1 548	255	0,1
D	1	0,27	0,4	11,8	14,0	9,3	2 390	1 878	512	0,4
C	1	0,28	0,9	24,8	29,9	16	4 646	3 366	1 280	1,0
B	1	0,27	0,6	32,8	35,3	16,7	6 430	4 706	1 725	1,6
E	2	0,21	0,4	15,9	18,0	7	2 727	2 211	516	0,3
D	2	0,27	0,1	12,6	13,0	6,9	2 179	1 670	509	0,5
C	2	0,28	0,1	9,7	10,3	5,5	1 171	2 157	-987	-0,8
F	11	0,27	0,01	10,1	10,3	4,6	1 267	894	373	0,4
B	2	0,27	-0,2	8	7,3	6,9	1 476	2 614	-137	-0,2
G	11	0,25	-0,01	10,2	10,2	5	1 149	824	325	0,2
Moyenne		0,26	0,25	14,3	15,6	8,5	2 524	2 087	437	0,4
Min		0,21	-0,21	7,2	7,3	5	1 149	4 706	-987	-0,8
Max		0,28	0,9	32,8	35,3	16,7	6 430	824	1 725	1,6

Cycle : 1 **:** 1er cycle de pâturage, 2 : 2ème cycle de pâturage après un broyage des refus du 1er pâturage, 11 : 1er cycle de pâturage après fauche
Croiss : croissance estimée de l'herbe
HE : hauteur d'herbe à l'entrée des animaux
HEc : hauteur d'herbe à l'entrée des animaux corrigée avec la croissance de l'herbe
HS : hauteur d'herbe à la sortie des animaux
Becc : biomasse estimée en entrée des animaux déterminée avec HEc
BS : biomasse estimée en sortie des animaux
Hi_ha : ingestion estimée en kgMS/ha
Hi_anim : ingestion estimée en kgMS/porc/jour

régressions avant pâturage contre 656,4kgMS/ha pour les droites de régressions après pâturage (tableau 3). La précision globale des droites de régression était plutôt faible. La précision des droites de régressions établies avant le pâturage semblait légèrement meilleure que celles établies après le pâturage.

En prenant en compte le R.S.D moyen (droites de régressions d'entrée et de sortie), égale à 627kgMS/ha, combiné à une surface moyenne des parcelles de 0,26ha, l'erreur d'estimation de l'ingestion de l'herbe liée à la qualité des régressions revenait à 0,5kgMS/jour/porc. Sachant que les valeurs d'ingestion estimées étaient comprises entre -0,8kgMS/porc/jour et 1,6 kgMS/porc/jour cela représentait une erreur relativement importante.

4.4. Estimation de l'ingestion

Les hauteurs d'herbe en entrée de parcelles étaient comprises entre 7,2cm et 35,3cm (tableau 4). Les valeurs d'hauteurs d'herbes les plus élevées ont été mesurées sur les parcelles C et B au premier cycle de pâturage lorsque l'herbe atteignait un pic de croissance. Pour ces deux, parcelles la hauteur moyenne mesurée en entrée était sous-estimée. A certains endroits, l'herbe étant plus haute que la capacité de mesure maximale de l'herbomètre égale à 37,3cm.

Au total, 10 valeurs d'ingestions au pâturage tournant ont été estimées (tableau 4). Pour les premières parcelles pâturés, E, D, C, B, l'ingestion des porcs au pâturage estimée était croissante. L'ingestion allait de 0,1kgMS/porc/jour à 1,6 kgMS/porc/jour.

Au 2ème cycle de pâturage sur ces mêmes parcelles, après un broyage des refus, les valeurs d'ingestions étaient plus faibles voir négatives comme c'est le cas pour les parcelles C et B. Pourtant, il y avait bien eu consommation par les porcs.

Graphiquement, au premier cycle de pâturage les droites de régressions de sortie et d'entrée d'une même parcelle étaient assez similaires (figure 13). C'est le cas également au deuxième cycle de pâturage pour les parcelles D et B. En revanche, au deuxième cycle de pâturage, pour les parcelles E et C, les droites de régressions en entrée étaient différentes des droites de régressions en sortie des animaux des parcelles. En effet, pour des faibles hauteurs d'herbes, la biomasse estimée était plus importante avec les droites de régression de sortie qu'avec les droites de régressions en entrée. Pour les parcelle F et G, les droites de régressions en entrée et en sortie étaient aussi similaires.

(1) : 1er cycle de pâturage sans fauche ni broyat le précédant
(2) : 2ème cycle de pâturage après un broyage (11) : 1er cycle de pâturage après fauche

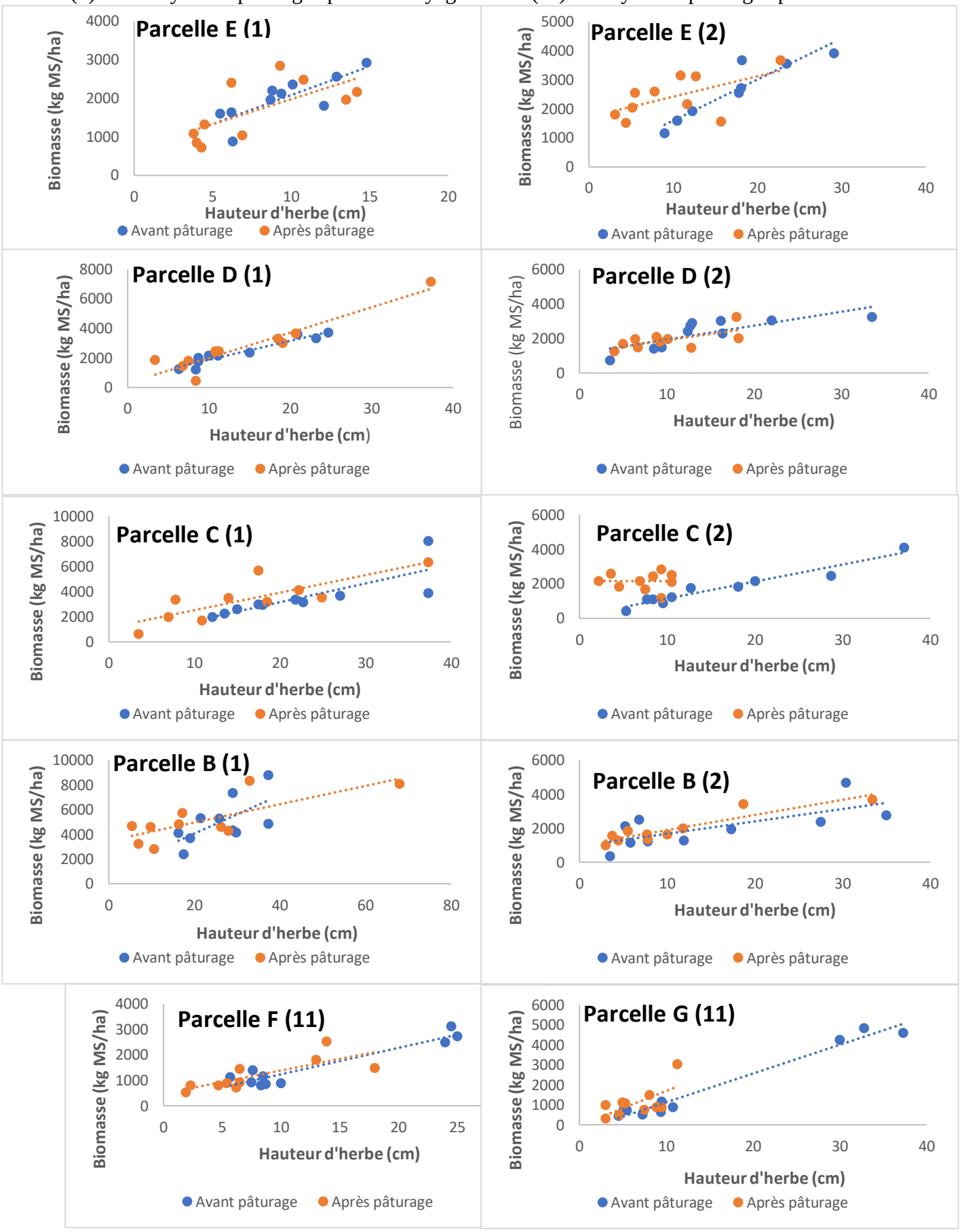

Figure 13 : Droites de régressions hauteur/biomasse avant et après pâturage

4.5. Estimation de la composition botanique de l'herbe offerte

Sur le premier cycle de pâturage, sur les parcelles E, D, C, B, d'après la méthode des poignées, les graminées étaient majoritaires dans les parcelles. Elles représentaient environ 50% de la végétation présente (figure 14). Les légumineuses (luzerne et trèfle) étaient légèrement en plus faible proportion que la végétation classée en « autres ». Sur le deuxième cycle de pâturage des parcelles E, D, C, la proportion de légumineuses a augmenté et est devenue équivalente à la proportion des graminées. Sur la parcelle B, en 2ème cycle de pâturage, les « autres » étaient minoritaires. Sur les 2 parcelles fauchées préalablement, F et G, les légumineuses étaient dominantes et représentaient plus de 70% de la végétation.

Selon la méthode de note sur 6 de la composition des quadrats, sur le premier cycle de pâturage, les légumineuses étaient légèrement majoritaires ou équivalentes aux graminées. La proportion de graminées était supérieure à celle des « autres ». Sur le 2ème cycle de pâturage et pour les parcelles fauchées au premier cycle de pâturage, les légumineuses étaient dominantes. Les graminées et les « autres » étaient généralement minoritaires en proportion.

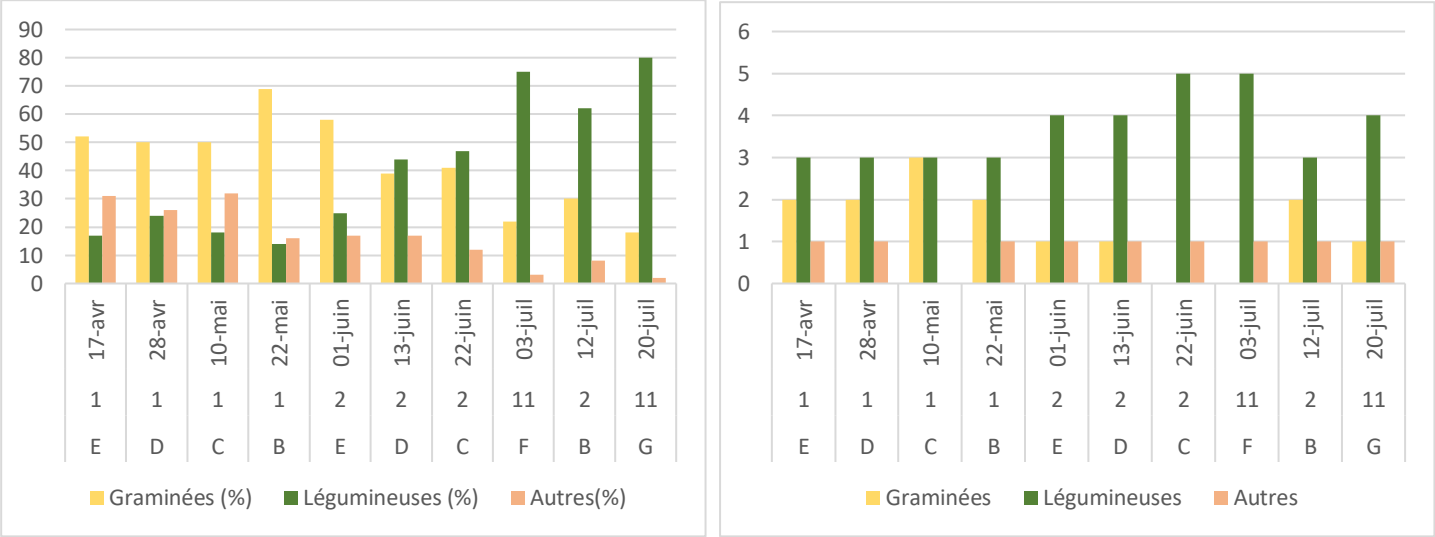

Figure 14 : Estimation de la composition en graminées, légumineuses et autres d'après la méthode des poignées (graphique à gauche) et avec la méthode de note sur 6 graphique à droite

Tableau 5 : Durée de réalisation de chaque étape du protocole

Etape du protocole	**Nombre de personnes faisant l'étape**	**Durée (en h)**
Mesures herbomètres (croissance de l'herbe)	1	1h30
Mesures herbomètre entrée et sortie	1	20min
Préparation étiquettes et fiche de prélèvement	1	30 min
Prélèvements quadrats entrée et sortie	2	2h
Prélèvement des poignées	2	15 min
Tri des poignées	2	2h
Pesée des quadrats et des poignées	1	1h
Saisie données et calculs	1	2h
Total	/	**9h35**

5. Discussion

L'objectif de cette étude était d'étudier la faisabilité, la précision et les limites de la méthode basée sur la différence de biomasse avant et après pâturage pour estimer l'ingestion de porcs charcutiers au pâturage.

La précision de la méthode a été étudiée sur plusieurs étapes du protocole : au niveau des mesures de hauteurs d'herbe et au niveau des droites de régressions. De plus, une étude comparative a été réalisée avec les résultats des autres stages testant la même méthode sur d'autres espèces différentes. Pour finir, une dernière étude comparative a été faite avec la méthode de mesure d'ingestion qui se basait sur la mise en place de zones mises en défend, habituellement utilisée par l'unité ASTER.

5.1.1. Faisabilité de la méthode

Tout d'abord, la méthode a nécessité peu de matériel et il était peu couteux. La mise en œuvre de cette méthode était assez simple. D'un point de vue organisationnel, il était difficile de prévoir à l'avance les 4 jours de mesures à l'herbomètre avant le pâturage des animaux pour déterminer la croissance. Le choix avait donc été fait de réaliser des mesures quotidiennes afin d'être sûr d'avoir les données nécessaires et d'avoir plus de marge de manœuvre dans les dates de changements de parcelles. En fonction, de la disponibilité des personnes pouvant effectuer les prélèvements de quadrats et la pesée des animaux, la pousse de l'herbe, la date de changement de parcelle des animaux pouvait être flexible. Les animaux ne pouvant pas rester plus de 10jours sur une même parcelle pour ne pas biaisée l'estimation de la croissance de l'herbe. Cela nécessitait donc de faire des changements de parcelles une semaine sur deux.

Les différentes mesures nécessaires pour évaluer la consommation des animaux sur une parcelle s'étalaient sur une semaine avant le pâturage et 3 jours après la sortie de ceux-ci des parcelles. Le prélèvement des 20 quadrats (10 en entrée et 10 en sortie), des poignées et des mesures d'hauteurs d'herbes prenaient généralement ¾ d'une matinée. A deux personnes, il fallait environ 2h pour prélever les 20 quadrats.

Au total, il fallait environ 10h de travail pour estimer la consommation de la troupe de porcs sur une parcelle. Ces 10h étaient étalées sur environ 2 semaines. Sachant que certaines étapes étaient réalisées à 2. De plus, il n'y a pas eu de lavage des quadrats pour enlever la présence éventuelle de terre. Si le lavage avait été mis en place, cela aurait rajouté au moins une heure de travail (tableau 5).

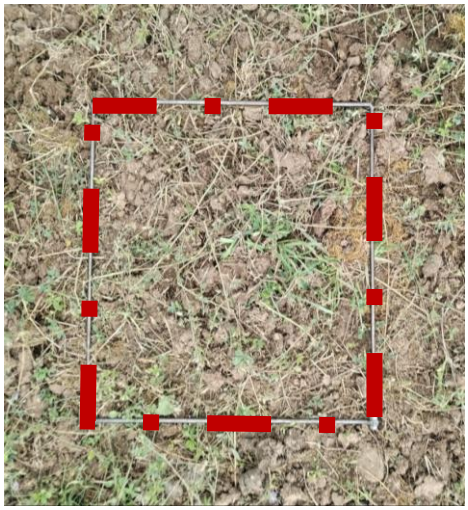

Figure 15 : Exemple de quadrat de terre

Figure 16 : Photo prise en sortie de pâturage de la parcelle F

Figure 17 : Photo d'un porc mangeant une touffe de graminée

Les conditions météorologiques (pluie, gèle) était une autre source d'erreur lors des mesures à l'herbomètre que ce soit lors des mesure de hauteurs de quadrats ou lors des mesures moyennes de hauteurs d'herbes dans les parcelles. Avec la pluie, l'herbe peut avoir tendance à verser. L'herbe plus haute que la marge de mesure de l'herbomètre constituait une autre limite dans la faisabilité de cette méthode. L'estimation de la croissance de l'herbe était alors biaisée.

De plus, les conditions climatiques humides ont tendance à favoriser le comportement de retournement de la terre par les porcs. Les porcs sur certaines parcelles laissaient la terre nue à certains endroits ou alors retournait une partie de la parcelle. Il fallait éviter avec l'herbomètre de mesurer la différence de hauteur sur les dénivelés de terre. Lorsque la terre était retournée avec de la biomasse enfouie, il était difficile de couper cette biomasse avec les mini-tondeuse. Certains quadrats visuellement présentaient plus de 50% de terre (figure 15). De plus, les refus sont généralement très piétinés. Par conséquent, il était parfois difficile d'obtenir des quadrats avec une hauteur d'herbe relativement haute en sortie de pâturage.

D'ailleurs, en sortie de pâturage, la hauteur d l'herbe dans les parcelles étaient très hétérogènes. En général, il restait des touffes de graminées ou des touffes de tiges de luzernes cassées (figure 16). Les porcs pâturaient davantage les légumineuses que les graminées. Les parties les plus tendres et moins lignifiées des graminées étaient malgré tout un peu consommées (figure 17). Ainsi, il était généralement plus difficile de définir les différentes zones d'hauteurs d'herbes et de choisir où réaliser les quadrats en sortie. Ce pâturage sélectif était une source d'imprécision notamment aux niveau de l'herbomètre.

Le stage sur les bovins allaitants réalisé à l'unité expérimentale de l'Herbipôle du Centre Clermont Auvergne Rhône Alpes a eu des remarques similaires sur la méthode du point de vue pratique (Chaperon, 2022). Il mentionne comme ici le fait de devoir planifier en avance les mesures à l'herbomètre avant le pâturage sachant qu'en générale les dates d'entrée des animaux dans les parcelles peut être très flexible. Les mesures à l'herbomètres étaient fortement influencées par les conditions climatiques. Ensuite, pour une personne, 15h étaient nécessaires pour mettre en place la méthode pour réaliser l'estimation de l'ingestion pour une parcelle. Un lavage des quadrats avait été mis en place. Cependant, il ne mettait pas en place la méthode des poignées pour déterminer la composition de l'herbe. Seule la note sur 6 des quadrats avait été effectué.

Tableau 6 : Tableau de comparaison des erreurs standards moyennes(SEM) des mesures à l'herbomètre avec les résultats du stage réalisé à l'unité PEGASE (Nagle, 2022) sur les vaches laitières

	Ecart type moyen (cm)	Erreur Standard Moyenne (SEM) (cm)	Nombre de mesures à l'herbomètre
Porc	4	0,5	75
Bovin laitier pâturage tournant	2	0,30	60
Bovin laitier pâturage rationné	2	0,10	240 à 320

5.2. Comparaison aux autres stages évaluant la même méthode sur d'autres espèces

Trois rapports ont été rédigés à la suite des stages effectués dans les unités suivantes de l'INRAE : PEGASE (vaches laitières) (Nagle, 2022), Herbipôle (génisses et ovins viande) (Chaperon, 2022), GenPhyse (lapins) (Plagnet, 2022). Le stage dans l''unité PEGASE a eu lieu dans l'IE de cette unité basée à Méjusseaume (35). Le stage à l'Herbipôle a eu lieu à Laqueille (63) et le stage des lapins à Auzeville-Tolosane (31). Ces stages étudiant la même méthode d'estimation de l'ingestion avec de légères variations à certaines étapes du protocole. Dans l'unité PEGASE, la méthode a été testée sur du pâturage tournant et sur du pâturage rationné. Ou encore, le stage sur les lapins a testé la méthode de pâturage sur 2 couvert différents : sous verger et sous friche.

5.2.1. Estimation de la croissance de l'herbe

Les croissances estimées ont diminué à partir du mois de juin jusqu'à mi-juillet. Durant cette période la pluviométrie était faible. Deux valeurs de croissances négatives (-0,21 et -0,01cm/jour) ont été observées. Aucune valeur de croissances négatives n'a été constatées dans les 3 autres stages présentés ci-dessus. Ces valeurs ont été mesurées à une période marquée par plusieurs semaines de sécheresse. La croissance de l'herbe pouvant être quasiment nulle à cette période, ces croissances négatives pourraient être dues à des passages à des endroits légèrement différents lors du parcours de la parcelle en W où l'herbe était peut-être plus basse. Cette variation ne peut être expliquée par une différence de manipulateur car une seule personne a réalisé les mesures de croissance d'herbe.

5.2.2. Précision des mesures d'hauteurs d'herbes pour estimer la croissance de l'herbe

Les mesures d'hauteurs d'herbe dans le stage réalisé au sein de l'unité PEGASE ont été faites quotidiennement dans le cas du pâturage rationné et sur 4 jours pour le pâturage tournant. L'erreur standard moyenne observée pour les porcs était plus élevée (0,5cm) contre 0,3 cm au pâturage tournant et 0,1 cm au pâturage rationnée pour les vaches laitières. L'écart type moyen des mesures à l'herbomètre était plus important dans le cadre du stage sur les porcs que le stage sur les bovins lait que ce soit pour le pâturage tournant ou rationné (tableau 6). Le nombre de mesures réalisées à l'herbomètre étaient beaucoup plus important pour les bovins lait en pâturage tournant que les mesures réalisées sur les sous-parcelles des porcs. Il reste néanmoins compliqué de comparer ces valeurs étant donné que la surface pâturée et la composition botanique des parcelles n'était pas identique.

Tableau 7: Comparaison des écart-types résiduels moyens (R.S.D) des droites de régressions observées dans les stages en bovin laitier (Nagle, 2022), bovin allaitant (Chaperon, 2022) et lapin (Plagnet, 2022)

	R.S.D moyen régression à l'entrée de pâturage (kgMS/ha)	R.S.D moyen régression à la sortie de pâturage (kgMS/ha)	Nb de régressions entrée et sortie
Porcs	597,9	656,4	10
Lapins sous verger	724,3	*	5
Lapins sous friche	244,9	*	5
Bovins allaitants	627,2	457,4	7
Ovins allaitants	905,9	797,7	5
Bovins laitiers pâturage tournant	755,5	825,9	3
Bovins laitiers pâturage rationné	837,2	978,1	5

5.2.3. Qualité des régressions hauteurs/biomasse

Ensuite, la qualité des estimations des biomasses en utilisant la valeur de R.S.D moyen a été comparé afin d'observer d'éventuels différences notables entre les différentes espèces. Suite au surpâturage des lapins, les droites de régressions ont été établies seulement en entrée de pâturage et non en sortie de pâturage.

Les valeurs de R.S.D moyen en entrée de pâturage les plus faibles ont été calculées pour les porcs et les lapins sous friche. Pour les régressions en sortie de pâturage, les plus faibles valeurs de R.S.D observées concernait les porcs et les bovins allaitants (tableau 7). D'après cette indicateur, la méthode n'a pas l'air plus précise pour les bovins que pour les porcs.

5.2.4. Estimation de l'ingestion

Pour la première parcelle pâturée par les porcs, la parcelle E, il a fallu quelques 2-3 jours aux porcs pour leurs apprendre à quitter leur parc et à aller sur la parcelle à pâturer. De plus, les conditions humides avaient favorisé la dégradation du couvert et le retournement d'une partie de la parcelle. La terre a également été un peu retournée dans la zone d'entrée des porcs sur la parcelle D au premier cycle de pâturage.

Les valeurs d'ingestions les moins précises ont été estimées sur parcelles B et D au premier cycle de pâturage. L'écart-type résiduel moyen des droites de régressions en entrée et en sortie étaient supérieur à 1 000 kgMS/ha. Sur ces parcelles, l'herbomètre était souvent à saturation.

Sur le deuxième cycle de pâturage des parcelles E, D, C, B, le temps était plutôt sec, les porcs avaient pu à certains endroits gratter la terre sans la retourner. Les porcs consommaient en préférence les légumineuses. Les graminées piétinées avaient séché sur le sol. Il restait malgré tout quelques touffes de graminées. Cette biomasse séchée au sol pourrait expliquer pourquoi sur les parcelles E et C pour une faible hauteur d'herbe, la biomasse estimée était plus importante avec la droite de régression de sortie qu'avec la droite de régression établie en entrée de pâturage. En particulier pour la parcelle C dont l'ingestion calculée était négative. La droite de régression sur cette parcelle était quasiment parallèle à l'axe des abscisses.

Pour les parcelles G et B, en deuxième cycle de pâturage, les valeurs de croissance de l'herbe étaient négatives, respectivement -0,21cm et -0,01cm. Sur la parcelle B, Cela a entrainé une hauteur d'herbe corrigée en entrée (7,3cm) était plus faible que la hauteur d'entrée mesurée à l'origine avec l'herbomètre(8cm).

Par rapport aux valeurs d'ingestions estimées dans les autres stages, une valeur d'ingestion négative avait été calculée dans le stage sur les bovins allaitants de -2,45kgMS/EVV/j (Chaperon, 2022). La valeur d'ingestion est estimée en Equivalent Veau Vache (EVV) car le troupeau de bovin allaitant était constitué des vaches allaitantes ainsi que de leurs veaux. Le stage évaluant l'ingestion des vaches laitières(VL) dans le cas du pâturage tournant avait également constaté une ingestion de -1,8kgMS/VL/j (Nagle, 2022). Dans les deux cas, pour une même hauteur d'herbe, la biomasse estimée était plus élevée en sortie qu'avec la régression établie en entrée de pâturage. Or la hauteur d'herbe moyenne était plus faible en sortie qu'en entrée et il était visuellement possible de voir qu'il y avait eu une consommation de l'herbe. Il a été supposé que la droite de régression de sortie avait été effectuée avec des quadrats réalisés essentiellement sur des zones de refus piétinées. Cela expliquerait ainsi une biomasse importante à une faible hauteur d'herbe.

D'après l'étude de Ferre *et al.*, (2001) sur des truies gestantes, l'ingestion d'herbe était très variable selon les individus et selon la saison. Selon l'étude Mowat *et al.*, (2001), l'ingestion de porcs charcutiers avec un poids compris entre 50 et 60kg, nourris avec des concentrés *ad libitum*, la consommation d'herbe était en moyenne 0,10kg de matière organique (0,5kg/jour en poids frais d'herbe). Les valeurs de consommations allaient de 0,07kg/jour de matière organique jusqu'à 0,16kg de matière organique/jour. L'ingestion avait été estimée avec la méthode des n-alcanes. Les porcs pâturaient une prairie de ray-grass et de trèfle blanc. Dans une étude réalisé par Riart, (2002), au pâturage tournant sur de la luzerne, de la fétuque et de *Cebadilla Criolla*, la consommation avait été estimée en réalisant la différence entre la biomasse disponible et la biomasse suite au pâturage. L'ingestion moyenne était de 0,15kgMS/jour au printemps contre 0,04kgMS/jour en été (avec un poids vif compris entre 30 et 70kg). Ces porcs avaient cependant un accès *ad libitum* à un concentré avec une teneur en protéine sous optimale.

Une étude a été réalisée en Italie sur l'engraissement de porc au pâturage sur 6 mois et avec un apport en concentré censé assurer 50% des besoins en énergie des porcs. Les porcs avaient pâturé sur de la luzerne de fin d'aout à novembre. L'ingestion d'herbe avait été estimé en calculant la différence entre l'herbe disponible à l'entrée de pâturage et en sortie de pâturage. L'ingestion moyenne de luzerne était de 0,5kgMS/jour/porc (Fortina *et al.*, 2011).

Ces valeurs ne sont pas si éloignées des valeurs d'ingestions mesurées dans le cadre de ce stage. Néanmoins, à ma connaissance, peu de données sont disponibles sur l'ingestion d'herbe par les porcs. Pour les porcs en charcutiers, il semble encore plus difficile de trouver des articles que

Tableau 8: Comparaison de l'ingestion moyenne des troupes de porcs élevés sur l'IE de l'unité ASTER depuis 2017 à partir de Puech et al., *(2022)*

	2017	**2018**	**2019 A**	**2019 B**	**2020**	**2021**	**2023**
Nombre de porcs	29	30	24	11	15	24	30
Ingestion moyenne (kgMS/porc/j)	2,2	1,6	4,5	1,6	1,5	2,4	0,6

pour les truies gestantes. De plus, pour certains articles, l'ingestion est uniquement exprimée en kilogramme de matière organique (Ferre *et al.*, 2001 ; Sehested *et al.*, 2004). Ensuite, la méthode d'estimation de l'ingestion au pâturage ainsi que la composition botanique des pâtures différait selon les articles. L'apport en concentré en complément du pâturage pouvait également être distribué de façon *ad libitum* ou de façon rationnée. Or, le système expérimental dans lequel s'insère l'atelier engraissement des porcs de l'unité ASTER est assez particulier avec la valorisation de produits non commercialisables en alimentation humaine. Cela rend ce système difficilement comparable.

5.3. Comparaison à une méthode d'estimation de l'ingestion de mise en défend

Pour finir, il semble intéressant de comparer la méthode testée avec méthode de mise en défend usuelle de l'unité ASTER (Puech *et al.*, 2022). La méthode de mise en défend consistait à mettre en place des zones d'herbes protégées par des cages qui permettaient d'évaluer la biomasse d'herbe qui était disponible au cours du pâturage. La biomasse de sortie était à partir de prélèvement de quadrats et séchage de l'herbe prélevée ensuite pour avoir la masse de matière sèche.

Sur les troupes de porcs des années précédentes élevés sur l'unité ASTER, l'ingestion moyenne des porcs étaient plus élevée (égale ou supérieur à 1,5kgMS/porc/jour) que l'ingestion estimée à l'aide de la méthode étudiée dans ce rapport de 0,6 kgMS/porc/jour (si on retire les 2 valeurs d'ingestion négatives) (tableau 8). Néanmoins, en analysant ces chiffres, il faut prendre en compte que, pour une question de temps, la collecte et l'analyse des données d'ingestion dans le cadre de ce stage ne sont pas complètes et ne vont pas jusqu'au moment où les porcs partent à l'abattage. La troupe de porc de l'année 2019 avait été élevée en 2 bandes (A et B), les porcs avaient des poids très hétérogènes (tableau 8).

Ensuite, la méthode de mise en défend permettait d'estimer l'ingestion pour des durées de pâturage supérieures à 10j contrairement à la méthode testée dans le cadre de ce stage. Les durées de pâturage pouvaient aller jusqu'à 40j avec la méthode de mise en défend.

Le pâturage sélectif des porcs, laissant principalement des touffes de graminées, le pâturage des feuilles et non des tiges de luzerne rigidifiées ont également été observé aux cours des années précédentes de production des porcs. Le retournement de la terre et l'enfouissage de la biomasse est également une source d'imprécision dans cette méthode.

5.4. Limites et perspectives

5.4.1. Limites de l'étude

Premièrement, le retournement de la terre en condition humide biaisait estimations d'ingestion lors des mesures à l'herbomètre mais aussi lors du prélèvement de la biomasse les quadrats. Les conditions météorologiques influençaient également la précision des hauteurs d'herbe mesurée à l'herbomètre.

Pour éviter que l'herbomètre arrive à saturation, un fauchage ou un broyage de l'herbe aurait éventuellement pu être réalisé sur les parcelles avant le pâturage afin d'éviter que l'herbe monte trop haut et qu'elle surpasse la hauteur de mesure de l'herbomètre.

De plus, le piétinement important de l'herbe lors du pâturage des porcs pouvait entrainer des erreurs d'estimations. Le piétinement provoquant une biomasse importante à une faible hauteur du sol surtout au niveau des refus. Il aurait peut-être fallu faire plus de quadrats dans les zones en terre malgré la très faible biomasse qui y était présente.

Ensuite, il n'y a pas eu de lavage des quadrats que ce soit pour les prélèvements en entrée ou en sortie de pâturage. En entrée de pâturage l'herbe est relativement propre. En sortie de pâturage, un peu de terre pouvait être présente dans les quadrats récoltés faussant légèrement les pesées de matière sèche des quadrats à la sortie de l'étuve.

Le nombre faible de quadrat (10) prélevés pourrait aussi apporter des incertitudes dans l'établissement des droites de régressions.

L'ingestion pourrait être également très variable selon les porcs notamment parce que les poids des porcs à leur arrivée sur la ferme expérimentale étaient très hétérogènes. De plus, il y avait de la compétition à l'auge lors de la distribution de la ration quotidienne. Le GMQ des porcs étaient en conséquence très variable selon les individus. Certains pouvant avoir des GMQ autour de 600g/jour alors que d'autres pouvait avoir un GMQ aux alentours de 300g. Or la méthode se basant sur la différence de biomasse avant et après pâturage ne permet d'estimer l'ingestion seulement à l'échelle d'un lot d'animaux.

Ensuite, la ration constituée d'issues de tris des cultures étaient adaptée en fonction de la croissance des porcs et en essayant de favoriser l'ingestion d'herbe. La quantité apportée pouvait impacter la consommation d'herbe des porcs. Néanmoins, il peut être difficile d'adapter la ration pour favoriser le pâturage tout en assurant la croissance des porcs pour que les premiers porcs soient prêts à partir dés 6mois de pâturage.

Enfin, la végétation selon les sous-parcelles était également hétérogène en termes de composition botanique, ou de stade de végétation ce qui a également pu impacter l'ingestion des porcs. Les tiges des luzernes en fleur par exemple étaient plus rigides par exemple que les tiges de la luzerne jeunes, au stade végétatif.

5.4.2. Perspectives

Tout d'abord, une première approche serait de refaire l'étude en lavant les quadrats. Cela retirait l'incertitude liée à la présence de terre dans les prélèvements de quadrats. Il faudra toutefois prendre en compte le temps nécessaire pour le faire.

Il serait aussi envisageable de poser des anneaux nasals aux porcs afin de limiter les dégradations des couverts et le retournement de la terre. Cependant, cela va à l'encontre des objectifs de l'expérimentation de l'unité ASTER. Les porcs devant participer à la destruction de la prairie avant de la remettre en culture. On peut aussi s'interroger sur l'impact de ces anneaux sur le comportement des porcs. De plus, en élevage biologique il est nécessaire de demander une dérogation afin d'avoir le droit de poser ces anneaux.

Il serait pertinent de refaire cette étude avec des porcs ayants des poids homogènes à leur arrivée sur l'IE. Néanmoins, cela va aussi à l'encontre de la conduite de l'atelier des porcs de l'expérimentation système. La durée d'engraissement variable des porcs permettant à la boucherie artisanale de ne pas être surchargée.

Une autre piste à approfondir serait d'étudier la reproductibilité de la méthode notamment par rapport aux droites de régressions.

Pour finir, il serait intéressant de reproduire cette étude en réalisant en même temps une autre méthode d'estimation de l'ingestion comme la méthode de mise en défend ou la méthode des alcanes afin de comparer les résultats entre les différentes méthodes.

Conclusion

L'objectif de ce stage était d'étudier la faisabilité, la précision et les limites de la méthode d'estimation de l'ingestion au pâturage se basant sur la différence de biomasse avant et après pâturage lorsqu'elle est appliquée à une troupe de porcs charcutiers au pâturage tournant.

D'un point de vue pratique, la méthode était simple à mettre en œuvre. Néanmoins, les principales limites de cette méthode ont été rencontrées en sortie de pâturage. Le retournement de la terre en conditions humides pouvait amener des incertitudes sur les mesures à l'herbomètre et la biomasse enfouie pouvait être difficilement prélevée à la mini-tondeuse. De plus, le piétinement de l'herbe et le pâturage hétérogène des porcs ont pu entrainer des biais au niveau des mesures d'hauteurs d'herbe à l'herbomètre.

Ensuite, la précision globale des droites de régressions était moyenne voir faible. Cependant, elle restait comparable à la précision des droites de régressions obtenues sur d'autres espèces animales sur qui la même méthode avait été testée.

L'ingestion mesurée des porcs était comprise en -0,8kgMS/porc/jour à 1,6kgMS/porc/jour. Les valeurs d'ingestions n'étaient pas si différentes de celles de la bibliographie. Cependant, il existe peu de référence sur la consommation d'herbe des porcs charcutiers au pâturage.

La méthode parait applicable à l'espèce porcine d'un point de vue faisabilité, mais la précision paraît moyenne et dépendante des conditions météorologiques.

Bibliographie

Agreil C. et **Meuret M.** 2004. An improved method for quantifying intake rate and ingestive behaviour of ruminants in diverse and variable habitats using direct observation. *Small Ruminant Research*, 54 (1), p. 99-113. DOI : 10.1016/j.smallrumres.2003.10.013

Andresen N. et **Redbo I.** 1999. Foraging behaviour of growing pigs on grassland in relation to stocking rate and feed crude protein level. *Applied Animal Behaviour Science*, 62 (2), p. 183-197. DOI : 10.1016/S0168-1591(98)00221-4

Baumont R., **Dulphy J.P.**, et **Demarquilly C.** 1997. Maximiser l'ingestion de fourrages conservés. Dans : *Rencontres Recherches Ruminants*. Paris, France, p. 57-64. https://www.journees3r.fr/spip.php?article2081

Baumont R., **Prache S.**, **Meuret M.**, et **Morand-Fehr P.** 2000. How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: a review. *Livestock Production Science*, 64 (1), p. 15-28. DOI : 10.1016/S0301-6226(00)00172-X

Beckers Y. 2010. Mesure de l'ingestion des fourrages chez le ruminant. Dans : *Conférence en production animale*. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/121863/1/Mesure%20de%20l'ingestion%20chez%20le%20ruminant.pdf
(Consulté le 2 septembre 2023)

Berry N.R., **Scheeder M.R.L.**, **Sutter F.**, **Kröber T.F.**, et **Kreuzer M.** 2000. The accuracy of intake estimation based on the use of alkane controlled-release capsules and faeces grab sampling in cows. *Annales de Zootechnie*, 49 (1), p. 1-3. DOI : 10.1051/animres:2000104

Burns J.C., **Pond K.R.**, et **Fisher D.S.** 1994. Measurement of Forage Intake. Dans : *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. Edition: G.C. Fahey, p. 494-532. DOI : 10.2134/1994.foragequality.c12

Chambre d'agriculture Bourgogne-Franche-Comté. 2019. *Porc plein air*. https://bourgognefranchecomte.chambres-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Bourgogne-Franche-Comte/CDA89/Diversification/Animaux/371-porc-plein-air-2019_1_.pdf
(Consulté le 13 avril 2023)

Chambre d'agriculture de Bretagne. 2022a. *La gestion des parcours extérieurs*. https://produire-porc-bio.chambre-agriculture.fr/elever-en-plein-air/la-gestion-des-parcours/ (Consulté le 3 mai 2023).

Chambre d'agriculture de Bretagne. 2022b. *Le cahier des charges et la réglementation en élevage de porcs bio*. https://produire-porc-bio.chambre-agriculture.fr/decouvrir-le-porc-ab/la-reglementation-en-porcs-bio/ (Consulté le 28 août 2023).

Chambre d'agriculture de Bretagne. 2017. *Le porc biologique Réglementation Européenne : Principaux points*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiTjeWZ466BAxVBVqQEHdRlDx4QFnoECBYQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.chambres-agriculture-bretagne.fr%2Fsynagri%2Fag-le-porc-biologique---principaux-points-de-la-reglementation-europeenne&usg=AOvVaw1DgUkSHZhWPi1s3JQNsaGl&opi=89978449 (Consulté le 29 août 2023)

Chambre d'agriculture de Bretagne C. 2018. *Les systèmes et modèles d'élevage en porc bio*. https://produire-porc-bio.chambre-agriculture.fr/decouvrir-le-porc-ab/systemes-modeles-delevage/ (Consulté le 13 avril 2023).

Chambre d'agriculture de Bretagne. 2021. *Les points réglementaires du porc bio en plein-air*. https://produire-porc-bio.chambre-agriculture.fr/elever-en-plein-air/les-points-reglementaires/ (Consulté le 3 mai 2023).

Chambre d'agriculture Tarn et Garonne. 2019. *Installation en élevage de porcs plein air*. https://occitanie.chambre-agriculture.fr/fileadmin/user_upload/National/FAL_commun/publications/Occitanie/Productions_techniques/porc_plein_air_ca82_2019.pdf (Consulté le 2 mai 2023).

Chaperon R. 2022. *Estimer l'ingestion d'herbe de troupeaux de vaches et brebis en pâturage tournant : validation d'une méthode basée sur des coupes d'herbes*, INRAE.

Chenost M. et **Boissau J.M.** 1985. Estimation de la digestibilité de l'herbe ingérée au pâturage à partir de l'azote fécal et de quelques autres paramètres fécaux. *Annales de Zootechnie*, 34 (2), p. 205-228. DOI : 10.1051/animres:19850206

Côrtes C., **Damasceno J.C.**, **Bechet G.**, et **Prache S.** 2005. Species composition of ryegrass (Lolium perenne)and tall fescue (Festuca arundinacea) mixtures using various combinations of n-alkanes. *Grass and Forage Science*, 60(3), p. 254.

Davies D.A., **Fothergill M.**, et **Jones D.** 1989. Frequency of stocking rate adjustments required on contrasting upland perennial ryegrass pastures continuously grazed to a sward height criterion from May to July. *Grass and Forage Science*, 44 (2), p. 213-221. DOI : 10.1111/j.1365-2494.1989.tb01929.x

Decruyenaere V., **Buldgen A.**, et **Stilmant D.** 2009. Factors affecting intake by grazing ruminants and related quantification methods: a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, 13 (4), p. 559-573.

Delagarde R. 2023. *Communication avec Rémy Delagarde, co-encadreur du stage sur l'ingestion des porcs et responsable du projet sur l'étude de la méthode se basant sur la différence de biomasse avant et après pâturage*.

Delagarde R., **Bonneau M.**, **Boval M.**, **Chapuis H.**, **Fleurance G.**, **Germain K.**, **Gidenne T.**, **Ginane C.**, **García E.G.**, et **Labussière E.** 2019. Méthodes d'estimation de l'ingestion individuelle d'animaux élevés en groupe. Dans : *Défis scientifiques Phase*. Rennes, France : https://hal.inrae.fr/hal-02735680

Delagarde R., **Caillat H.**, et **Fortin J.** 2017. HerbValo: a paddock-level method for estimating the amount of pasture grazed annually by livestock. *Fourrages*, (229), p. 55-61.

Delagarde R., **Robic Y.**, **Laurent-Colette S.**, et **Delaby L.** 2018. Sustainable meat and milk production from grasslands. Dans : *General meeting of the European Grassland Federation. Grassland Science in Europe*. Cork, Irlande : https://hal.inrae.fr/hal-01827951v1

Dulphy J.P. et **Demarquilly C.** 1994. The regulation and prediction of feed intake in ruminants in relation to feed characteristics. *Livestock Production Science*, 39 (1), p. 1-12. DOI : 10.1016/0301-6226(94)90147-3

Edouard N. et **Fleurance G.** 2007. Ingestion et choix alimentaires du cheval au pâturage. Dans : *Proceedings of the '33eme Journée de la Recherche Equine*. Paris, France : p. 231-243.

Edwards S.A. 2003. Intake of nutrients from pasture by pigs. *Proceedings of the Nutrition Society*, 62 (2), p. 257-265. DOI : 10.1079/PNS2002199

Edwards S.A., **Jamieson W.**, **Riddoch I.**, et **Watson C.A.** 1998. Effect of nose ringing and dietary modification in outdoor pig production on temporal changes in soil nitrogen status. *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 1998, p. 42-42. DOI : 10.1017/S175275620059694X

Fédération nationale d'Agriculture biologique. 2018. *Elever des porcs en bio*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwi4m_3qoISBAxV3U6QEHZPRAd8QFnoECBAQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.produire-bio.fr%2Fwp-content%2Fuploads%2F2018%2F09%2FFNAB_2018_porcs_bio_WEB_page_a_page.pdf&usg=AOvVaw3ln-gR5vonJZHLWQBbeBpu&opi=89978449 (Consulté le 7 août 2023).

Ferre M.G.R., **Edwards S.A.**, **Mayes R.W.**, **Riddoch I.**, et **Hovell F.D.D.** 2001. The effect of season and level of concentrate on the voluntary intake and digestibility of herbage by outdoor sows. *Animal Science*, 72 (3), p. 501-510. DOI : 10.1017/S1357729800052024

Ferreira L.M.M., **Garcia U.**, **Rodrigues M.A.M.**, **Celaya R.**, **Dias-da-Silva A.**, et **Osoro K.** 2007. Estimation of feed intake and apparent digestibility of equines and cattle grazing on heathland vegetation communities using the n-alkane markers. *Livestock Science*, 110 (1), p. 46-56. DOI : 10.1016/j.livsci.2006.09.026

FiBL. 2019. *Élevage de porcs en plein air. Un bien-être animal assuré par des infrastructures adaptées et une gestion maîtrisée*. https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjhwuTpo62BAxVrVKQEHd6OB2MQFnoECBEQAw&url=https%3A%2F%2Forgprints.org%2F38218%2F10%2F38218_Tool_Ok-Net-Ecofeed_free-range-pigs_FR.pdf&usg=AOvVaw0Gk137-cUmnShedZLqwrep&opi=89978449 (Consulté le 28 août 2023).

Forbes J.M. 2007. *Voluntary Food Intake and Diet Selection in Farm Animals*. CABI, 461 p. ISBN 978-1-84593-279-4

Fortina R., **Brugiapaglia A.**, **Tassone S.**, **Malfatto V.M.**, et **Cavallero A.** 2011. Pasture-based swine management: behaviour and performances of growing-finishing pigs. *Lucrari stiintifice zootehnie si biotehnologii*, 44(1), p. 37-40.

François E., **THILL N.**, **Thewis A.**, **COLINET A.**, **PICHON J.**, et **PICHON M.** 1978. Méthode rapide de dosage de l'oxyde de chrome dans les aliments, les fèces et les contenus

digestifs par titrage après oxydation nitro-perchlorique. *Ann. Zootech,* 27 (3), p. 355-361. DOI : 10.1051/animres:19780306

Garnick S., **Barboza P.S.**, et **Walker J.W.** 2018. Assessment of Animal-Based Methods Used for Estimating and Monitoring Rangeland Herbivore Diet Composition. *Rangeland Ecology & Management*, 71 (4), p. 449-457. DOI : 10.1016/j.rama.2018.03.003

Garnsworthy P. et **Unal Y.** 2004. Estimation of dry-matter intake and digestibility in group-fed dairy cows using near infrared reflectance spectroscopy. *Animal Science*, 79, p. 327-334. DOI : 10.1017/S1357729800090184

Garrigus W.P. 1935. The Forage Consumption of Grazing Steers. *Journal of Animal Science*, 1935 (1), p. 66-69. DOI : 10.2527/jas1935.1935166x

González-García E., **Golini P. deOliveira**, **Hassoun P.**, **Bocquier F.**, **Hazard D.**, **González L.A.**, **Ingham A.B.**, **Bishop-Hurley G.J.**, et **Greenwood P.L.** 2018. An assessment of Walk-over-Weighing to estimate short-term individual forage intake in sheep. *Animal*, 12 (6), p. 1174-1181. DOI : 10.1017/S1751731117002609

d'Hardivilliers R. 2021. *Très peu de cochons sont élevés en plein air*. https://decodagri.fr/pourquoi-peu-de-cochons-sont-eleves-en-plein-air/ (Consulté le 27 juillet 2023).

Jarrige R. 198. *Alimentation des bovins, ovins et caprins*. INRA Editions, 471 p. hal-02854912.

Klootwijk C.W., **Holshof G.**, **van den Pol-van Dasselaar A.**, **van Helvoort K.L.M.**, **Engel B.**, **de Boer I.J.M.**, et **van Middelaar C.E.** 2019. The effect of intensive grazing systems on the rising plate meter calibration for perennial ryegrass pastures. *Journal of Dairy Science*, 102 (11), p. 10439-10450. DOI : 10.3168/jds.2018-16118

Ligios S., **Sitzia M.**, **Fois N.**, **Decandia M.**, **Molle G.**, **Roggero P.P.**, et **Casu S.** 2002. Effet de la disponibilité en herbe et de la structure du couvert herbacé sur l'ingestion et la production de brebis au pâturage. *Options Méditérranéennes*, 42, p. 73-84.

Lippke H. 2002. Estimation of Forage Intake by Ruminants on Pasture. *Crop Science*, 42 (3), p. 869-872. DOI : 10.2135/cropsci2002.8690

Lucantoni, D., **Mottet A.**, **Bicksler A.**, **De Rosa F.**, **Scherf B.**, **Scopel É.**, **López-Ridaura S.**, **Gemill-Herren B.**, **Bezner Kerr R.**, **Sourisseau J.-M.**, **Petersen P.**, **Chotte J.-L.**, **Loconto A.**, et **Tittonell P.** 2021. Évaluation des transitions vers des systèmes agricoles et alimentaires

durables : un outil pour l'évaluation des performances agroécologiques (TAPE). *Agronomie, environnement & sociétés*, 11 (1). DOI : 10.54800/epa550

Macoon B., **Sollenberger L.**, **Moore J.**, **Staples C.**, **Fike J.**, et **Portier K.** 2003. Comparison of three techniques for estimating the forage intake of lactating dairy cows on pasture. *Journal of animal science*, 81, p. 2357-66. DOI : 10.2527/2003.8192357x

Magne M.-A., **Nozières-Petit M.-O.**, **Cournut S.**, **Ollion É.**, **Puillet L.**, **Renaudeau D.**, et **Fortun-Lamothe L.** 2019. Gérer la diversité animale dans les systèmes d'élevage : laquelle, comment et pour quels bénéfices ? *INRAE Productions Animales*, 32 (2), p. 263-280. DOI : 10.20870/productions-animales.2019.32.2.2496

Marshall S.A., **Campbell C.P.**, et **Buchanan-Smith J.G.** 1998. Herbage biomass and intake of beef cows with calves grazing a grass-legume pasture in southern Ontario. *Canadian Journal of Animal Science*, 78 (2), p. 211-218. DOI : 10.4141/A97-003

Martinez Avilés M., **de la Torre A.**, **Prodanov-Radulovic J.**, et **Bellini S.** 2019. *Characterising outdoor pig production in Europe*. https://www.thepigsite.com/articles/characterising-outdoor-pig-production-in-europe (Consulté le 4 août 2023).

Mayes R.W. et **Dove H.** 2000. Measurement of dietary nutrient intake in free-ranging mammalian herbivores. *Nutrition Research Reviews*, 13 (1), p. 107-138. DOI : 10.1079/095442200108729025

Mayes R.W., **Lamb C.S.**, et **Colgrove P.M.** 1986. The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *The Journal of Agricultural Science*, 107 (1), p. 161-170. DOI : 10.1017/S0021859600066910

Morenz M.J.F., **Silva J.F.C. da**, **Aroeira L.J.M.**, **Deresz F.**, **Vásquez H.M.**, **Paciullo D.S.C.**, **Lopes F.C.F.**, **Elyas A.C.W.**, et **Detmann E.** 2006. Óxido de cromo e n-alcanos na estimativa do consumo de forragem de vacas em lactação em condições de pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35, p. 1535-1542. DOI : 10.1590/S1516-35982006000500036

Moshtaghi Nia S.A. et **Wittenberg M.** 2002. Evaluation of n-alkanes as markers for estimation of dry matter intake and digestibility in steers consuming all-forage or forage-concentrate diets. *Canadian Journal of Animal Science*, 82 (3), p. 419-425. DOI : 10.4141/A01-052

Mowat D., **Watson C.A.**, **Mayes R.W.**, **Kelly H.**, **Browning H.**, et **Edwards S.A.** 2001. Herbage intake of growing pigs in an outdoor organic production system. *Proceedings of the British Society of Animal Science*, 2001, p. 169-169. DOI : 10.1017/S1752756200005512

Nagle I. 2022. *Estimation de l'ingestion d'herbe des vaches laitières au pâturage par mesure de biomasse avant et après pâturage*, INRAE.

Peiretti P.G., **Meineri G.**, **Miraglia N.**, **Mucciarelli M.**, et **Bergero D.** 2006. Intake and apparent digestibility of hay or hay plus concentrate diets determined in horses by the total collection of feces and n-alkanes as internal markers. *Livestock Science*, 100 (2), p. 189-194. DOI : 10.1016/j.livprodsci.2005.08.016

Plagnet A.-S. 2022. *Estimation de la biomasse herbagère consommée par des lapins logés en parcours extérieurs déplaçables*, INRAE.

Prunier A. et **Lebret B.** 2009. La production biologique de porcs : caractéristiques des élevages, impacts sur la santé, le bien-être et la qualité des produits. *Productions Animales*, 22, p. 179-188. DOI : 10.20870/productions-animales.2009.22.3.3344

Puech T., **Py V.**, et **Durpoix A.** 2022. Elever des porcs pour valoriser des fourrages et des productions non commercialisables en alimentation humaine dans un système agricole diversifié et autonome : performances zootechniques et points critiques. *Fourrages*, 248, p. 35.

Remonguin X. 2019. *Le bien-être et la protection des porcs*. https://agriculture.gouv.fr/le-bien-etre-et-la-protection-des-porcs (Consulté le 17 mai 2023).

Riart G.R. 2002. *Some aspects of outdoor pig production in Argentina*. Aberden, Ecosse : University of Aberdeen. https://abdn.alma.exlibrisgroup.com/discovery/delivery/44ABE_INST:44ABE_VU1/12152742600005941

Rook A.J., **Harvey A.**, **Parsons A.J.**, **Orr R.J.**, et **Rutter S.M.** 2004. Bite dimensions and grazing movements by sheep and cattle grazing homogeneous perennial ryegrass swards. *Applied Animal Behaviour Science*, 88 (3), p. 227-242. DOI : 10.1016/j.applanim.2004.03.006

Sehested J., **Søegaard K.**, **Danielsen V.**, et **Friis Kristensen V.** 2000. Mixed grazing with sows and heifers : effects on animal performance and pasture. *Ecological Animal Husbandry in the Nordic Countries*, 2, p. 35-40.

Sehested J., **Søegaard K.**, **Danielsen V.**, **Roepstorff A.**, et **Monrad J.** 2004. Grazing with heifers and sows alone or mixed: herbage quality, sward structure and animal weight gain. *Livestock Production Science*, 88 (3), p. 223-238. DOI : 10.1016/j.livprodsci.2003.11.008

Smith W.B., **Galyean M.L.**, **Kallenbach R.L.**, **Greenwood P.L.**, et **Scholljegerdes E.J.** 2021. Understanding intake on pastures: how, why, and a way forward. *Journal of Animal Science*, 99 (6), p. skab062. DOI : 10.1093/jas/skab062

Stockdale C.R. et **Dellow D.W.** 1995. The productivity of lactating dairy cows grazing white clover and supplemented with maize silage. *Australian Journal of Agricultural Research*, 46 (6), p. 1205-1217. DOI : 10.1071/ar9951205

Stockdale C.R. et **King K.R.** 1983. A comparison of two techniques used to estimate the herbage intake of lactating dairy cows in a grazing experiment. *The Journal of Agricultural Science*, 100 (1), p. 227-230. DOI : 10.1017/S0021859600032640

Stolba A. et **Wood-Gush D.G.M.** 1989. The behaviour of pigs in a semi-natural environment. *Animal Science*, 48 (2), p. 419-425. DOI : 10.1017/S0003356100040411

Terroir-Artisan. 2020. *Les races rustiques et anciennes de porcs - terroir-artisan.fr*. https://terroir-artisan.fr/blog/2020/10/10/les-races-rustiques-anciennes-de-porcs/ (Consulté le 30 août 2023).

Vries M.F.W. 1995. Estimating forage intake and quality in grazing cattle: A reconsideration of the hand-plucking method. *48*, DOI : 10.2307/4002491