26è

RENCONTRES RECHERCHES RUMINANTS

Les 7 et 8 décembre 2022

Session

Nouveaux aliments et nouveaux fourrages

INRAE

INSTITUT DE L'ELEVAGE idele

ELIANCE

Des éleveurs. Une ambition.

La fédération des entreprises de service et conseil en élevage

En R&D, Eliance c'est :

30 ingénieurs, techniciens et chercheurs

+ 2M d'€ de budget annuel

+ 50 publications scientifiques par an

De nombreux outils et partenariats : station de phénotypage de Nouzilly, UMT (Unité Mixte Technologique) eBis, LPA (Laboratoire Partenarial Associé) épigénétique, APIS-GENE, CIRBEEF...

L'expertise de notre réseau :

- Génétique
- Reproduction
- Nutrition
- Santé
- Bien-être animal
- Impacts environnementaux
- Qualité des produits
- Nouvelles technologies
- Efficience

RÉUSSIR
Nourrir votre performance

OPTIMISEZ LA GESTION QUOTIDIENNE
de votre **EXPLOITATION** grâce aux **REVUES RÉUSSIR**

11 N° PAR AN

11 N° PAR AN

Simplifiez-vous la vie
en vous abonnant directement sur :
boutique.reussir.fr

6 N° PAR AN

10 N° PAR AN

WWW.REUSSIR.FR
LE 1ER SITE PORTAIL D'INFORMATIONS AGRICOLES ET ALIMENTAIRES

POUR PLUS D'INFORMATIONS : RÉUSSIR Abonnement
1, rue Léopold Sédar Senghor - CS 20022 - 14902 CAEN CEDEX 9
Tél. 02 31 35 87 28 - service.abonnement@reussir.fr

AVEC LES TITRES DU GROUPE **RÉUSSIR**,
PORTEZ UN REGARD NEUF SUR VOTRE MÉTIER

afrique agriculture SUR LE WEB

Toute l'actualité agricole de l'Afrique en ligne sur :

www.afrique-agriculture.org

Et pour nos abonnés, bénéficiez en plus :

- De votre magazine accessible en ligne
- Des contenus exclusifs réservés aux abonnés
- Des articles en illimité sur tous vos écrans

LE SITE DE RÉFÉRENCE DES DÉCIDEURS DE L'AGRICULTURE

UNE INFORMATION QUOTIDIENNE ADAPTÉE À VOTRE MÉTIER

Distribution • Environnement • Décryptages

DÉCOUVREZ L'INTÉGRALITÉ DU SITE ET TOUS SES AVANTAGES,
Newsletters thématiques, Podcasts, Mags en ligne exclusifs, Fiches RH & Management, l'accès à plus de + de 25 000 articles.

DÉCOUVREZ-LE MAINTENANT
WWW.REFERENCE-AGRO.FR

RÉFÉRENCE agro

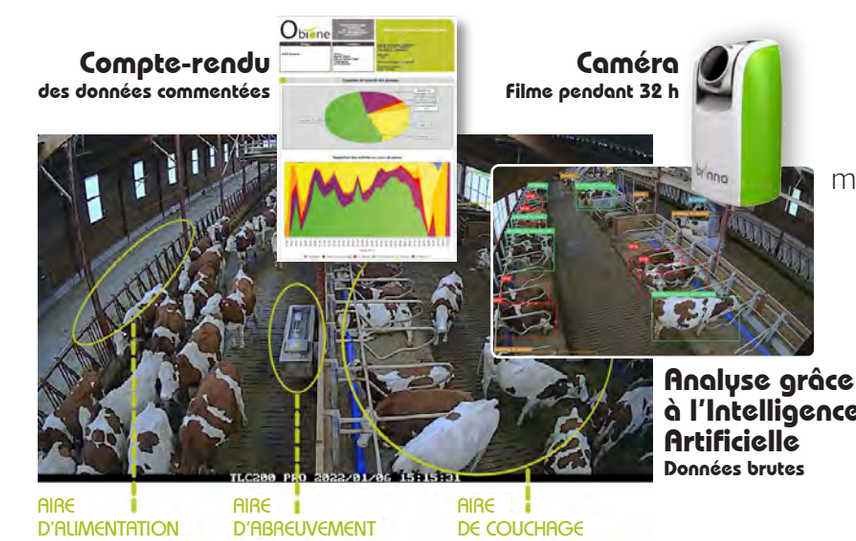
www.reference-agro.fr

Que font vos vaches quand vous n'êtes pas là ?

Pour savoir ce qu'il se passe vraiment dans l'élevage il faut le regarder en continu et analyser ce qui est observé. Nous vous proposons une solution pratique, automatisée et très riche en informations :

L'analyse par Intelligence Artificielle
et Application Spécifique du confort et de l'emploi du temps du troupeau.

Voir ce que vous ne voyez pas, compter ce que nous ne pouvons habituellement pas compter, mettre en évidence les leviers de productivité, s'assurer du confort des animaux, contrôler leur environnement, juste en installant 2 caméras (fournies) dans votre bâtiment.



C'est couchées que les vaches font le lait, mais il leur faut un accès à l'auge et à l'abreuvoir sans entrave, toute la journée.

➲Alors observons et analysons !

Calcul des index de couchage, de confort, d'abreuvement...

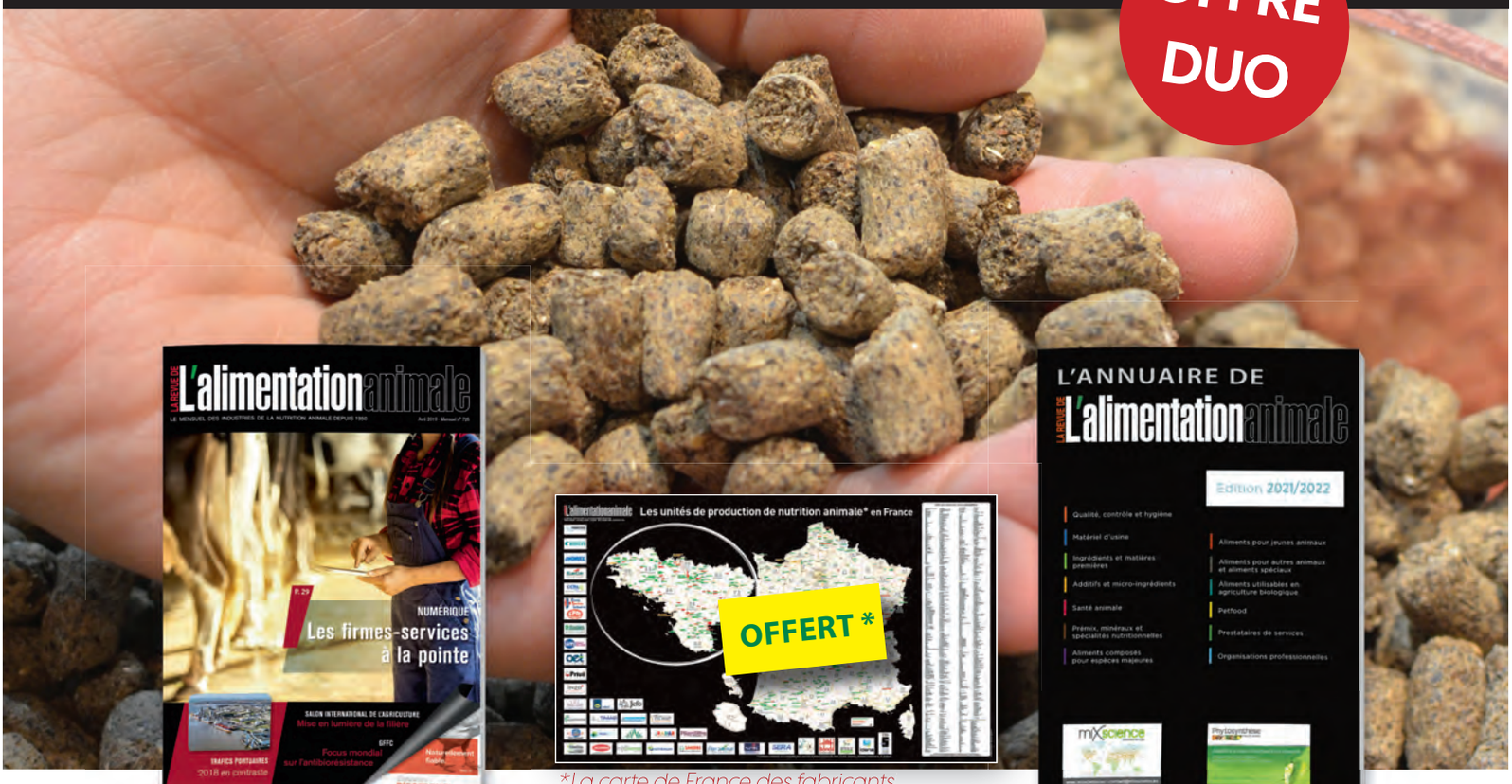
dilepix & Obione ont mis en commun leur expertise pour une solution d'analyse inédite et totalement personnalisée

www.dilepix.com **www.obione.fr**

LA REVUE DE L'alimentation animale

LE MENSUEL DES INDUSTRIES DE LA NUTRITION ANIMALE DEPUIS 1950

OFFRE DUO



*La carte de France des fabricants d'aliments (+ de 250 usines d'aliments) - valeur 20€

ABONNEMENT 1 AN
10 NUMÉROS

+

ANNUAIRE 2021/2022
DES FOURNISSEURS DE
L'ALIMENTATION ANIMALE

BON DE COMMANDE

Oui, je m'abonne

❍ 1 an
10 numéros +
Annuaire des fournisseurs de l'alimentation animale 2021/2022
259 €TTC

❍ 2 ans
20 numéros +
Annuaire des fournisseurs de l'alimentation animale 2021/2022
341 €TTC

Société .....
Nom .....
Prénom .....
Adresse .....
..... Code postal .....
Ville ..... Pays .....
Tél. ..... Facebook .....
E-mail (obligatoire) .....

MON RÈGLEMENT

❍ Chèque bancaire ou postal à l'ordre des Éditions Fitamant

❍ Carte bancaire N° |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_| |_|_|_|_|
Date de validité |_|_| |_|_| Cryptogramme |_|_|_| *(3 derniers chiffres au dos de votre carte)*

❍ Par virement
Banque : crédit agricole – Éditions Fitamant
IBAN : FR76 3004 7140 7000 0201 7410 106
BIC : AGRIFRPP829

❍ Je souhaite recevoir une facture acquittée

Date et signature (obligatoire)

Conformément à la loi «Informatique et Libertés» du 6 janvier 1978, vous disposez d'un droit d'accès et de rectification aux données vous concernant.

Éditions Fitamant - 2 rue Félix Le Dantec - CS 62020 - 29018 Quimper cedex
Tél. 00 33 (0)2 98 98 01 40 - abo@fitamant.fr - www.revue-alimentation-animale.fr

APAAA2021/2022

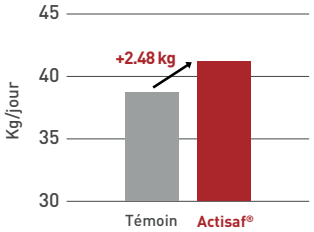
Les solutions Phileo pour une production laitière durable

Population
Augmentation de la production laitière

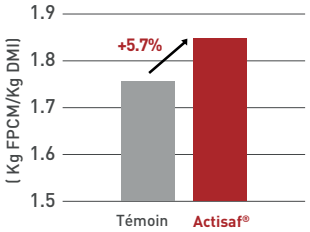
Profit
Amélioration de l'efficacité alimentaire

ActiSaf Sc 47

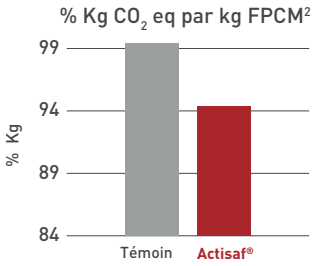
Lait corrigé ECM[1]



Efficacité alimentaire[2]



Planète
Réduction des émissions CO_2



La supplémentation en Actisaf® dans la ration des vaches laitières en lactation confrontées à des rations riches en énergie permet une augmentation de l'abondance relative des bactéries fibrolytiques et utilisatrices de lactate en réduisant le potentiel redox[3].

Au cours d'une méta-analyse incluant plus de 20 essais[1], il a été observé qu'une supplémentation de 5 g/v/j d'Actisaf® augmente la production laitière (1,74 kg/v/j) et le lait corrigé selon l'énergie (1,72 kg/v/j).

Phileo by Lesaffre

1 –Legendre, H. and Salah, N et al - Meta-analysis study of the effects of live yeast supplementation on milk production and energy corrected milk of lactating dairy cows – In submission

2 -Effect of Actisaf® supplementation on dairy cows carbon footprint, report of 3 trials in Europe - Blonk consultants 2022 -Please note this claim is based on an LCA that is not ISO 14040/14044 critically reviewed

3 -Marden et al., 2008. How does live yeast differ from sodium bicarbonate to stabilize ruminal pH. J Dairy Sci.:91: 3528-3535

DIGESCAN

Scannez ce code et découvrez notre nouveau service

- Outil de diagnostique de l'efficacité alimentaire en élevage, facile d'utilisation.
- Le service Digescan se compose d'un outil de tamisage de bouses et d'une application téléphonique d'enregistrement des données pour un suivi optimisé.

ABONNEZ-VOUS
ET RECEVEZ LES DERNIÈRES INFOS
"GRANDS TROUPEAUX / ÉLEVAGES CAPRINS"

JE M'ABONNE À :

GRANDS TROUPEAUX MAGAZINE et **HORS SÉRIE NUTRITION** (9+1 numéros/an) + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 90 €** TTC (75 € HT) ☐ **2 ANS : 156 €** TTC (130 € HT)

ÉLEVAGES CAPRINS MAGAZINE et **HORS SÉRIE NUTRITION** (4+1 numéros/an) + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 75 €** TTC (62,50 € HT) ☐ **2 ANS : 135 €** TTC (112,50 € HT)

GRANDS TROUPEAUX & **ÉLEVAGES CAPRINS** et **HORS SÉRIE NUTRITION** + **NEWSLETTERS**
☐ **1 AN : 150 €** TTC (125 € HT) ☐ **2 ANS : 276 €** TTC (230 € HT)

Nom : .....

Prénom : .....

Société : .....

Activité : .....

Adresse : .....

.....

Code postal : ..... Ville : .....

Tél : .....

Mail* : .....@.....

** adresse mail indispensable si vous désirez recevoir nos newsletter*

☐ Je paie par chèque à l'ordre de COMEDPRO ☐ Je souhaite recevoir une facture

BULLETIN D'ABONNEMENT À RETOURNER, ACCOMPAGNÉ DE VOTRE RÈGLEMENT À :

COMEDPRO – 35 avenue de la Grande Champagne – 72300 Parcé-sur-Sarthe – 06 40 36 29 93

www.grands-troupeaux-mag.fr / www.elevagescaprins.fr

Nouveaux aliments et nouveaux fourrages

Valoriser une diversité de biomasses pour répondre aux enjeux techniques, environnementaux et sociétaux des élevages de ruminants

BAUMONT R. (1), DECRUYENAERE V. (2), MAXIN G. (1), ROUILLE B. (3), HEUZE V. (4), TRAN G. (4)
(1) INRAE, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France
(2) CRA-W, B-5030 Gembloux, Belgique
(3) Institut de l'Élevage, 35652 Le Rheu, France
(4) Association Française de Zootechnie, AgroParisTech, CS 20040, 91123 Palaiseau Cedex, France

RESUME - À travers l'importance des surfaces valorisées (plus de la moitié de la surface agricole française) et l'importation d'une partie des matières premières riches en protéines, l'alimentation des ruminants est au cœur des enjeux techniques, économiques, environnementaux et sociétaux des élevages. Le changement climatique affecte déjà les calendriers fourragers et les ressources alimentaires disponibles. Face à ces enjeux, de nombreux leviers existent soit pour adapter les ressources existantes soit pour développer de nouvelles ressources. Ils reposent notamment sur l'adaptation des prairies (introduction d'espèces résilientes au changement climatique) et de leur gestion, l'utilisation des mélanges céréales-protéagineux, des dérobées estivales, des plantes à photosynthèse en C4 et le développement de l'agroforesterie. La diversification des systèmes de cultures rendue nécessaire par la réduction des engrais et pesticides de synthèse devrait fournir de nouvelles ressources à l'élevage (légumineuses fourragères et à graines, intercultures). De nouveaux procédés technologiques, comme le bio-raffinage offrent des perspectives comme une meilleure valorisation des coproduits des industries agroalimentaires. L'utilisation des insectes comme source protéique n'est pas encore autorisée en élevage de ruminants dans l'UE. Celle des algues pose la question des volumes nécessaires pour alimenter des ruminants, mais elles offrent des perspectives en tant qu'additifs alimentaires pour réduire les émissions de méthane entérique. Caractériser ces nouvelles ressources alimentaires pose de nombreuses questions de recherche et de développement. Cela nécessite de collecter un nombre suffisant de nouvelles données par les méthodes de référence d'évaluation des aliments *in vivo* pour conforter les bases de données, construire les tables de valeur alimentaire et développer les outils de prévision.

Valorising a diversity of biomasses to meet the technical, environmental and societal challenges of ruminant farming

BAUMONT R. (1), DECRUYENAERE V. (2), MAXIN G. (1), ROUILLE B. (3), HEUZE V. (4), TRAN G. (4)
(1) INRAE, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

SUMMARY - Through the importance of the surface area used (more than half of the French agricultural area) and the import of part of the protein-rich feedstuffs, ruminant feed is at the heart of the technical, economic, environmental and societal challenges facing livestock farming. Climate change is already affecting forage calendars and available feed resources. Faced with these challenges, many levers exist either to adapt existing resources or to develop new ones. They are based on the adaptation of grasslands (introduction of species resilient to climate change) and their management, the use of cereal-legume intercrops, summer catch crops, C4 photosynthetic plants and the development of agroforestry. The diversification of cropping systems made necessary by the reduction of synthetic fertilisers and pesticides should provide new resources for livestock farming (forage and seed legumes, intercropping). New technological processes, such as the bio-refining of fodder, offer prospects, as does better use of the co-products of the agri-food industry. The use of insects as a source of protein is not yet authorized for ruminant farming in the EU. The use of algae raises the question of the volumes needed to feed ruminants, but they offer prospects as feed additives to reduce enteric methane emissions. Characterising these new feed resources raises many research and development questions. This requires a sufficient amount of new data obtained from *in vivo* reference feed evaluation methods to be able to strengthen the databases used for feed value tables and prediction tools.

INTRODUCTION

En France, les ruminants valorisent la moitié de la SAU via les cultures fourragères et les prairies (Agreste 2020) qui fournissent environ 70 Mt de Matière Sèche (MS) et 9 Mt de protéines (Dronne, 2018 ; Sailley et al., 2021). Ils consomment plus de 13 Mt d'aliments concentrés sous forme de graines ou de coproduits, dont 1,7 Mt de soja essentiellement importé (Tableau 1). Ces aliments fournissent 4,4 Mt de protéines (Sailley et al., 2021). Hors soja, les aliments concentrés utilisés par les ruminants représentent environ 15% des céréales et oléoprotéagineux produits en France et 6% de la SAU. Le choix et l'utilisation des ressources alimentaires sont fortement questionnés par les multiples enjeux auxquels les élevages de ruminants font face : adaptation au changement climatique, recherche d'autonomie alimentaire et protéique, réduction de l'empreinte environnementale et de la compétition entre l'alimentation animale, l'alimentation humaine et les biocarburants dite « feed/food/fuel », maintien de la compétitivité face au renchérissement de coûts de l'énergie et des matières premières, impact de l'alimentation sur la qualité des produits, la santé et le bien-être des animaux, etc. Cette synthèse se propose 1) d'analyser les questions posées par ces différents enjeux à l'alimentation des ruminants, 2) de faire le point sur les biomasses alternatives et nouvelles valorisables par les ruminants et 3) de faire le point sur les besoins de R&D et de transfert en matière de caractérisation et d'évaluation des aliments jusqu'ici peu utilisés. Le texte s'appuie principalement sur des études réalisées en France métropolitaine et en Europe.

1. LES QUESTIONS POSEES A L'ALIMENTATION DES RUMINANTS

La fonction première de l'alimentation des ruminants est de satisfaire les besoins nutritionnels des animaux selon les objectifs de production tout en minimisant son coût qui demeure le principal coût de production. Mais elle doit aujourd'hui satisfaire dans un contexte de changement climatique un jeu de contraintes multiples combinant à l'échelle de l'animal la valeur nutritive et les effets sur la santé, le bien-être animal et la qualité des produits, et à l'échelle du système d'élevage la performance économique et les effets sur l'environnement.

	Tous animaux d'élevage	Tous ruminants	Bovins laitiers et mixtes	Bovins viande	Caprins	Ovins laitiers	Ovins viande
Total Fourrages	**71 785**	**68 169**	**33 275**	**30 411**	**695**	**997**	**2 791**
Ensilage de maïs	14 901	14 684	11 963	2 643	28	23	27
Herbe conservée	23 388	21 185	9 068	10 518	537	412	650
Herbe pâturée	31 726	30 545	11 389	16 468	116	533	2 039
Autres fourrages	1 845	1 729	847	777	9	25	71
Total concentrés	**34 037**	**13 672**	**8 446**	**4 019**	**404**	**282**	**521**
Grains	**19 637**	**6 062**	**3 067**	**2 213**	**251**	**178**	**353**
Céréales	18 903	5 742	2 845	2 115	251	178	353
Dont blé tendre	*7 780*	*2 190*	*1 176*	*897*	*30*	*31*	*56*
Dont maïs grain	*6 786*	*1 582*	*704*	*675*	*57*	*53*	*93*
Dont orge	*1 917*	*842*	*289*	*245*	*102*	*58*	*148*
Oléoprotéagineux	735	325	224	99	0	1	1
Coproduits	**13 693**	**7 283**	**5 142**	**1 724**	**156**	**103**	**158**
Céréaliers	3 000	1 999	1 470	440	44	11	34
Tourteaux	7 823	3 480	2 603	773	15	33	56
Dont tourteau de soja	*3 824*	*1 686*	*1 367*	*290*	*1*	*20*	*8*
Huiles végétales	112	0	0	0	0	0	0
Luzerne déshydratée	576	440	219	125	44	41	11
Pulpes de betteraves	900	*791*	488	233	27	5	38
Autres coproduits	1 286	582	365	153	26	16	22
Aliments minéraux et vitaminés	708	328	236	81	0	1	10

Tableau 1. Estimations des consommations de fourrages (en 1 000 t MS) et de matières premières concentrées (en 1 000 t MS85) par l'ensemble des animaux d'élevage et les différentes filières de ruminants en France en 2015 (Sailley et al. 2021).

1.1. CHANGEMENT CLIMATIQUE ET AUTONOMIE ALIMENTAIRE

L''autonomie alimentaire des ateliers de ruminants est élevée, supérieure à 85% pour les bovins et ovins viande, de l'ordre de 80% pour les bovins et ovins lait, mais seulement de 54% pour les caprins (Seegers et al., 2020). Ces chiffres sont à rapprocher de la part des fourrages dans l'alimentation des ruminants (plus de 80% d'après les chiffres cités plus haut) et du fait que la grande majorité des exploitations d'élevage sont autonomes en fourrage, l'élevage français étant dans son ensemble autonome à 100% en fourrage.

Le changement climatique se traduit par des épisodes de sécheresse plus sévères et plus fréquents qui remettent en cause l'autonomie alimentaire des élevages. Certaines cultures fourragères (maïs en particulier) nécessitent plus fréquemment l'irrigation ce qui ne sera pas forcément possible. Les modifications de la pousse de l'herbe (maturation plus précoce des plantes, déficits de croissance lors de périodes de sécheresse) complexifient la gestion des compromis entre qualité et quantité des fourrages exploités tant par les récoltes que par le pâturage. Ainsi par exemple, une étude sur 30 ans montre une dégradation significative de la valeur alimentaire des foins de prairie permanente récoltés au domaine INRAE de Marcenat, l'avancée des dates de récolte (1 semaine en 30 ans) ne compensant pas l'avancée du cumul des températures et du stade de maturité de la prairie (3 semaines en 30 ans) en raison de la nécessité de récolter des stocks suffisants et de disposer de fenêtres climatiques pour récolter le foin (Deroche et al., 2020).

1.2. EMPREINTE ENVIRONNEMENTALE ET CIRCULARITE

L'alimentation constitue un levier important pour réduire l'empreinte environnementale des élevages. L'analyse de cycle de vie permet d'évaluer l'empreinte environnementale globale d'un aliment et la méthode ECOALIM (Wilfart et al., 2018) permet de formuler des aliments concentrés minimisant leur empreinte environnementale. Toutefois cette méthode n'intègre pas la compétition « feed-food » et ne prend pas en compte des aspects spécifiques des prairies comme leur contribution au stockage du C et à la biodiversité. Une meilleure intégration de l'élevage avec les productions végétales constitue une partie de la solution grâce à un meilleur bouclage des cycles du carbone et de l'azote et la relocalisation des aliments utilisés en élevage (Peyraud et al., 2019).

a. Utilisation des surfaces, compétition « feed-food-fuel »

Les ruminants utilisent de larges surfaces agricoles, mais une grande partie de celles-ci (pairies permanentes, parcours, zones humides et pentues) ne sont pas ou difficilement exploitables pour la production végétale ou d'énergie. Selon les rations, seulement 5 à 25% des aliments et des protéines consommés par les ruminants (les céréales sous forme de grains principalement) pourraient être directement utilisés en alimentation humaine (Laisse et al., 2018). Plusieurs études ont montré que les ruminants peuvent être producteurs nets de protéines pour l'alimentation humaine. Ils produisent plus de protéines consommables par l'être humain qu'ils n'en ont consommées. Les systèmes les plus efficients sont les systèmes laitiers herbagers et les ovins sur parcours (Wilkinson, 2011 ; Ertl et al., 2015 ; Laisse et al., 2018 ; Hennessy et al., 2021). La compétition « feed-food » peut être fortement réduite par la maximisation de l'utilisation des herbages et de coproduits. Dans un contexte de renchérissement du prix de l'énergie et des céréales, la réduction de la compétition « feed-food » devient aussi un enjeu économique.

b. Autonomie protéique et surfaces « importées »

L'élevage de ruminants mobilise des surfaces en dehors du territoire national pour assurer l'approvisionnement en protéines. En tenant compte des fourrages, l'autonomie protéique de l'élevage français atteint 84%, mais elle n'est que de 59% pour l'ensemble des aliments concentrés et de 43% pour les aliments riches en matières protéiques (MAT > 150 g/kg) (Sailley et al., 2021). A l'échelle des ateliers de ruminants et pour l'ensemble de l'alimentation, l'autonomie protéique est supérieure à 80% pour les bovins et les ovins viande, comprise entre 65 et 70% pour les bovins et ovins lait et inférieure à 50% pour les caprins (Seegers et al., 2020).

Réduire la dépendance des élevages aux importations de soja est une priorité. La crise ukrainienne de 2022 a également mis

en évidence notre dépendance à l'importation de tourteau de tournesol HiPro qui est riche en matières azotées (MAT = 350 g/kg). Pour cela l'utilisation de légumineuses fourragères (dans les prairies, sous forme de méteils…) et à graines doit être développée (cf. CAP Protéines et autres programmes, Pavie et al., 2022). L'utilisation de sources alternatives de protéines (algues, microalgues, insectes) doit être considérée même si les volumes nécessaires pour alimenter des ruminants en limitent aujourd'hui le potentiel.

c. Gaz à effet de serre, stockage de C et énergie

Le système d'alimentation des ruminants joue un rôle important sur les émissions de gaz à effet de serre (GES), et de méthane en particulier, ainsi que sur le bilan C des élevages. Les ruminants sont au cœur d'un paradoxe qui fait que l'utilisation des prairies, avec des conduites plutôt « extensives », est souhaitable vis-à-vis des nombreux services qu'elles rendent (Stockage de C, biodiversité, paysage…), mais qu'une alimentation basée sur l'herbe est en défaveur de la réduction des émissions de méthane par les ruminants (Poux et Aubert, 2022).

L'utilisation des légumineuses en réduisant les besoins en fertilisation azotée, permet de réduire les consommations d'énergie et les GES (Lüscher et al., 2014 ; Baumont et al., 2016). Les leviers alimentaires pour réduire les émissions de méthane entérique peuvent aussi reposer sur l'utilisation des légumineuses, en particulier celles qui contiennent des tanins condensés (sainfoin, lotier). Enfin l'utilisation de ressources fourragères « pérennes » (prairies permanentes, arbres fourragers), contribuera positivement au stockage de C (Klumpp et Fornara, 2018). En complément de ces leviers, l'utilisation d'additifs alimentaires permettant de réduire les émissions de méthane est à considérer (inhibiteur d'enzymes impliquées dans la méthanogènèse comme le 3NOP maintenant autorisé en Europe et présentant un potentiel de réduction des émissions de méthane de 20%, algues rouges, huiles essentielles) (Hegarty et al., 2021).

d. Biodiversité et paysage

Les systèmes de ruminants herbagers, en particulier lorsqu'ils utilisent des prairies diversifiées comme des prairies permanentes peu productives (parcours, estives, …) peuvent contribuer positivement à la biodiversité et à l'entretien de des paysages. Dans des zones agricoles exploitées de façon plus intensive, utiliser une diversité de biomasses pour alimenter les ruminants contribuera aussi à améliorer l'impact des élevages sur la biodiversité à travers l'introduction de prairies (en particulier si elles sont diversifiées) et de légumineuses (plantes à fleurs) dans les rotations culturales.

1.3. SANTE ET BIEN-ETRE DES ANIMAUX

L'alimentation peut contribuer positivement ou négativement à la santé et au bien-être des animaux. Il est bien établi que la fibrosité de la ration (appréciée par la teneur en parois végétales et liée à une part suffisante de fourrages dans la ration) est nécessaire à la santé digestive (réduit le risque d'acidose) et à l'expression d'un comportement alimentaire « normal » (rumination) (Sauvant et al., 2018). L'accès au pâturage permet aux animaux de mieux exprimer leur comportement « naturel » et son rôle dans leur bien-être est un sujet actuellement à l'étude (Pietikäinen et al., 2022). Cela répond également à une demande sociétale.

1.4. QUALITE INTRINSEQUE ET EXTRINSEQUE DES PRODUITS

Les liens entre l'alimentation et les qualités « intrinsèques » des produits (lait, viande) sont bien établis, en particulier en ce qui concerne la composition en acides gras des produits et certaines qualité sensorielles (couleur, flaveur, goût) (Martin et al., 2009 ; Lebret et al., 2015 ; Prache et al., 2022).

Le système d'alimentation contribue aussi aux qualités « extrinsèques » des produits à travers l'image que s'en fait le consommateur, notamment à travers les demandes d'alimentation utilisant des ressources locales et des possibilités de tracer l'alimentation et d'authentifier le mode de production des animaux (Prache et al., 2022).

2. MIEUX UTILISER LES RESSOURCES EXISTANTES ET RECHERCHER DES BIOMASSES ALTERNATIVES ET NOUVELLES VALORISABLES PAR LES RUMINANTS

2.1. LES RESSOURCES FOURRAGERES

Différents leviers sont à mobiliser pour concevoir des systèmes fourrager plus résilients au réchauffement climatique et aux aléas qui en découlent : la diversité intra et interspécifique dans les écosystèmes prairiaux, les espèces végétales et les variétés mieux adaptées (sorgho, légumineuses des régions méditerranéennes), les cultures dérodées, et les intercultures, les mélanges fourragers, l'agroforesterie, le pâturage d'automne et d'hiver, etc.

En grandes cultures, la réduction des engrais de synthèse et de l'usage des produits phytosanitaires passe par une diversification des rotations rendue nécessaire pour valoriser l'N fixé par les légumineuses, pour perturber les cycles biologiques des espèces invasives et des pathogènes, et aussi rendre plus efficace les approches de biocontrôle. Nombre des cultures de diversification ne sont pas utilisables en alimentation humaine. C'est notamment le cas des légumineuses fourragères (luzerne ou trèfle violet), de la prairie, des intercultures et des cultures dérobées qui en outre offrent l'avantage d'assurer une couverture du sol permanente et de piéger les nitrates.

Un certain nombre de leviers sont donc communs aux objectifs de sécurisation des systèmes fourragers et de réduction de l'impact environnemental des systèmes de cultures. Ils ouvrent des perspectives de nouvelles biomasses valorisables par les ruminants. Cela pose des questions d'organisation des filières (coopération entre cultivateurs et éleveurs, stockage et transport des ressources…) et de nombreuses questions techniques sur le potentiel quantitatif et qualitatif de ces biomasses.

a. Adapter les prairies et leur gestion au changement climatique

Un des premiers leviers pour sécuriser les systèmes fourragers face au réchauffement climatique est le recours à des espèces et des variétés plus adaptées dans les prairies. Il s'agit par exemple d'intégrer dans les prairies temporaires des espèces plus résistantes à la sécheresse comme la fétuque élevée, le dactyle, la luzerne ou des légumineuses annuelles méditerranéennes. Il est également possible de jouer sur la complémentarité des espèces afin d'assurer une production plus continue sur la saison. Dans une revue récente, Lüscher et al. (2022) montrent qu'il existe une variabilité intraspécifique des plantes fourragères à la sécheresse encore peu exploitée et que la variabilité interspécifique permet de stabiliser la production face aux stress climatiques de deux façons : 1) des communautés de plantes diverses ont plus de chance de contenir des plantes résistantes à la sécheresse, et 2) les interactions positives entre plantes permettent à des communautés diverses de compenser les réductions de production dues à une sécheresse modérée. Toutefois il existe un compromis entre adaptation à la sécheresse et qualité du fourrage, les individus ou espèces les plus adaptées aux conditions difficiles étant généralement de rendement et de valeur alimentaire plus faible, du fait d'une stratégie de conservation des ressources, en particulier de l'eau.

La gestion des prairies doit s'adapter aux effets du changement climatique, en exploitant l'herbe plus tôt en fin

d'hiver et plus tard à l'automne, sous réserve que la portance des sols le permette. Les principes d'alignement des besoins des animaux avec la pousse de l'herbe (Baumont et al., 2014 ; Delaby et Horan, 2021) restent valables, mais s'en trouvent compliqués par la variabilité accrue de la pousse de l'herbe et par les périodes estivales de manque d'herbe. Dans la synthèse des projets CLIMALAIT et CLIMAVIANDE, Moreau et al., (2020) montrent les possibilités de mobiliser différents leviers dans les stratégies d'adaptation : date de mise à l'herbe, répartition entre fauches précoces et tardives, pâturage tôt en saison (déprimage) pour décaler le pic de production sur une partie des surfaces, etc.

b. Produire du fourrage d'appoint : intercultures, dérobées et méteils

Les cultures dérobées fourragères cultivées seules ou en mélange (trèfle incarnat, vesce, phacélie, sarrasin, colza fourrager…) sont une solution pour produire du fourrage supplémentaire en intersaison qui peut être récolté et conservé ou pâturé. Leur exploitation peut avoir lieu à la fin de l'été ou à l'automne mais également au printemps, ou bien à la fois en été-automne et au printemps et la valeur nutritive en vert de ces espèces est généralement intéressante (Maxin et al., 2020).

Les méteils ou mélanges de céréales à paille et de légumineuses sont également une solution pour constituer des stocks car les périodes d'implantation, de récolte et les modes de valorisation (pâturage, ensilage ou enrubannage) sont multiples (Legendre et al., 2019). Il existe ainsi une grande diversité de méteils, liée aux caractéristiques et aux proportions des espèces du mélange, à la densité de semis, au mode et stade de récolte. La valeur alimentaire des méteils varie principalement avec la proportion de légumineuses et le stade de récolte : plus un méteil est récolté précocement ou contient de légumineuses, meilleure sera sa valeur nutritive (Maxin et al., 2016 et 2017). Legendre et al. (2019) reportent des valeurs énergétiques comprises entre 0,73 et 0,89 UFL et des valeurs teneurs en MAT entre 93 et 211 g/kg MS pour 406 échantillons d'ensilage de méteils analysés. La valeur protéique des ensilages de méteils est souvent diminuée due à des valeurs élevées d'azote soluble et ammoniac (Maxin et al., 2017), suggérant un intérêt à utiliser des conservateurs d'ensilage (bactéries lactiques ou acides organiques) pour limiter la dégradation des protéines.

Comme pour les méteils, la conservation par voie humide des fourrages d'intercultures est parfois difficile à cause de leur faible teneur en matière sèche (généralement fourrages d'arrière-saison) et en sucres et de leur pouvoir tampon élevé lié à la forte teneur en protéines des légumineuses et/ou protéagineux souvent présents dans ces mélanges. Selon les essais réalisés à INRAE et chez ARVALIS en France (Herremans et al., 2018), et chez PROTECT'EAU en Wallonie [1], les quantités de biomasses récoltées en vert, peuvent atteindre 2,5 t MS/ha après plus de 70 jours d'implantation pour des valeurs nutritives intéressantes en vert. Selon une étude menée en Suisse (Wyss et Mosimann, 2016), les teneurs en matière sèche à la récolte étaient basses (< 25 %) quels que soient les mélanges considérés. Les teneurs en MAT des mélanges en vert dépendaient de la présence de légumineuses et étaient comprises entre 110 g/kg MS et 220 g/kg MS pour une valeur énergétique moyenne de 0,79 UFL/kg MS. Dans de bonnes conditions de récolte et de conservation, la valeur nutritive, et surtout protéique, reste en moyenne correcte après ensilage, l'emploi d'un conservateur d'ensilage à base de nitrite de sodium et d'hexamine s'avérant bénéfique (sans conservateur, perte moyenne de 11% d'UFL, et de 30% de PDI ; avec conservateur, perte de 3% pour les UFL et de 26% pour les PDI). L'étude de Herremans et al. (2018) menée dans 52 fermes wallonnes montre que la diversité des mélanges rencontrés en ferme est grande (plus de 40 associations différentes d'espèces observées), les associations les plus représentées étant le ray-grass - trèfle (11% des fourrages) et l'avoine-pois (8%). L'analyse de 91 ensilages montre que les teneurs en matières sèches étaient assez élevées (38,2 +/- 15,4 %) et les valeurs nutritives comparables à celles décrites par Wyss et Mosimann (2016). En ce qui concerne la conservation des protéines, la proportion moyenne d'ammoniac de ces ensilages était toutefois élevée (> 10% de l'azote total).

Le pâturage des intercultures, notamment via des partenariats agriculteurs-éleveurs (projet H2020 DIVERIMPACT) est une autre façon de valoriser ce type de fourrage. Le partenariat est gagnant-gagnant, les intercultures fournissent des fourrages de bonne qualité aux animaux, les animaux désherbent et fertilisent les sols par leurs déjections. Ce pâturage d'intercultures est surtout réalisé en automne et en hiver, par des ovins. En raison de sa taille et de son poids, le mouton ne risque pas dégrader la structure du sol malgré des conditions peu portantes des sols à cette période (Régibeau, 2019). Les intercultures pâturables par des ovins sont diverses : repousses de colza en fin d'été, couverts gélifs (tournesol, nyger, trèfle, féverole, phacélie) jusqu'en novembre, couverts d'automne implanté après céréales gélifs ou non d'octobre à janvier, couverts non gélifs avant semis de printemps (RWDR 2020[2]). Pour ce qui est des rendements disponibles, plusieurs suivis réalisés en Wallonie ont permis d'observer des rendements généralement compris entre 2 et 3 t MS/ha. Ces rendements sont cependant largement dépendants des conditions climatiques estivales (implantation et croissance des mélanges), des mélanges et du précédent cultural. Par exemple, en 2020, des couverts semés en Wallonie après du blé ont produit à peine 1 t MS/ha en raison de la sécheresse au moment du semis (Herremans et al., 2021) Ce sont généralement des brebis en lutte ou des brebis gestantes qui pâturent ce type de fourrages. En France, des essais menés au Centre Interrégional d'Information et de Recherche en Production Ovine (87) ont montré qu'il était possible d'engraisser des agneaux en pâturant des intercultures. Selon Sagot (2017), de l'ordre de 20 agneaux peuvent être engraissés par ha d'intercultures si la biomasse disponible atteint 2 t MS/ha. Pour pâturer des intercultures, le pâturage doit être tournant dynamique ou cellulaire. Il nécessite la pose de clôtures mobiles électrifiées placées pour une durée déterminée. La vitesse de rotation dépend non seulement de la biomasse disponible mais aussi du nombre d'animaux présents. Bien choisir le chargement instantané est primordial. Si la charge instantanée est trop élevée, le travail de changement des animaux de parcelles à pâturer devient très contraignant.

Un autre levier est l'utilisation en dérobées estivales de graminées à photosynthèse en C4 (moha, millet perlé, teff grass, sorgho multicoupe) associées ou non avec une ou des légumineuses (par exemple, le trèfle d'Alexandrie). Les plantes en C4 sont originaires des zones intertropicales et caractérisées par un type de photosynthèse où les premières molécules synthétisées comportent 4 atomes de carbone, contrairement aux plantes tempérées qui synthétisent des molécules à 3 atomes de carbone. Les graminées en C4 sont plus résistantes aux conditions de chaleur et d'aridité. Ces espèces sont généralement semées après des céréales à paille ou un méteil et sont pâturées par les animaux pendant la période estivale. La qualité nutritionnelle de ces espèces

[1] https://protecteau.be/resources/shared/publications/articles/CIPAN%20fourrager.pdf

[2] https://www.reseau-pwdr.be/sites/default/files/ovin_web.pdf

cultivées sous nos conditions est encore peu connue (Heuzé et al., 2015a et b, 2020). Cependant, des essais en cours à la ferme expérimentale des Bordes et à INRAE Val de Loire de Nouzilly sur les dérobées estivales observent que le sorgho multicoupe et le teff grass seraient les espèces les plus intéressantes en termes de potentiel de production et de valeur alimentaire (Hernandez et al., 2021). Les teneurs en MAT des deux espèces étaient comprises entre 115 et 180 g/kg MS et les UFL entre 0,74 et 0,90. Ces deux espèces ont été bien consommées au pâturage par des génisses et des ovins.

c. Intégrer l'agroforesterie dans les systèmes d'élevage

Pour améliorer le niveau d'autonomie alimentaire, l'utilisation des ressources ligneuses peut apporter une contribution intéressante. Selon Emile et al., (2017), la fonction fourragère des ligneux est très marginale dans les exploitations d'élevage. Pourtant, les espèces ligneuses (arbres, arbustes et lianes) valorisables par le bétail sont nombreuses et leur valeur nutritive intéressante malgré une variabilité importante au sein de ces ressources. Ainsi Vandermeulen et al. (2016) situent la teneur moyenne en protéines des fourrages ligneux à 178 g/kg MS au printemps et 133 g/kg MS en fin d'été, pour des valeurs de digestibilité supérieure à 85 % au printemps, cette digestibilité diminuant tout au long de la saison de pâturage. Les mêmes résultats ont été observés dans des projets ARBELE (Moreau et al. 2020) et PARASOL (Novak et al. 2020) qui ont montré que des espèces comme le mûrier blanc, le sureau ou le prunelier présentent de très bonnes valeurs nutritives pour les ruminants. Les fourrages ligneux sont également intéressants de par leur teneur en macro et micro nutriments qui peuvent bien complémenter les rations des vaches laitières. Le projet AGFORWARD (www.agforward.eu) a ainsi montré que les saules et les aulnes sont plus riches que l'herbe de ce point de vue (teneur en sélénium particulièrement). Les espèces comme la vigne, le chêne vert, le robinier sont également riches en tanins condensés, ce qui rend les protéines de ces végétaux moins dégradables dans le rumen (Vandermeulen et al., 2016 Emile et al., 2017 ; Novak et al., 2020 ;). Les fourrages ligneux, de par leur composition chimique particulière doivent donc être considérés comme des compléments à part entière des rations des ruminants. Selon Liagre et al. (2020), il existe une diversité d'aménagements ligneux à vocation fourragère : arbres hautes tiges dont la taille (émondage) est distribuée aux animaux, tables fourragères ponctuellement exploitées soit par pâturage, soit par coupe mise à disposition des animaux, arbres têtards (trognes) pâturables, haies fourragères diverses, pouvant dans le cas du plessage (haies composées d'un entrelacement de rejets des souches, de branches arbustes) qui, une fois développé, peuvent constituer de véritable clôture vivante, infranchissable par le bétail. Les ligneux permettent de suppléer au manque de fourrage en cas de sécheresse tout en préservant les stocks constitués pour la période hivernale. Des études menées en Nouvelle Zélande, ont montré le potentiel fourrager de taillis à très courte rotation de saule. Selon cette expérimentation, le taillis de saule réparti sur une surface de 4 ha permettait un pâturage complémentaire de 70 à 110 jours par an pour un troupeau de 100 brebis, avec 5 périodes de pâturage contrôlé entre le printemps et l'été (The New Zealand Poplar & Willow Research Trust, 2013). Des questions de recherches restent cependant ouvertes sur la gestion de ces ligneux et leur résilience à un pâturage soutenu, sur les densités à implanter pour un bon équilibre des ligneux et de la prairie, et sur la protection des ligneux contre les ruminants lors de l'implantation.

Pour résumer cette partie sur les ressources fourragères, la figure 1 positionne par rapport à la valeur alimentaire des fourrages « classiques » bien renseignée dans les tables INRA2018, celle de certaines ressources fourragères nouvelles ou alternatives. Les dérobées estivales en vert présentent une valeur alimentaire dans la gamme des meilleures ressources pâturées. Les méteils ensilés riches en légumineuses et les ensilages de sorgho grain présentent une densité énergétique intéressante.

2.2. LES MATIERES PREMIERES CONCENTREES

a. Aliments issus de nouveaux procédés technologiques

La recherche d'autonomie protéique des filières animales conduit aussi à développer de nouveaux procédés technologiques qui vont améliorer la valorisation des ressources végétales existantes et créer de nouvelles biomasses : par exemple, la valorisation des graines comme la féverole et le pois peut être améliorée par de nouvelles méthodes d'extrusion, de toastage qui est maintenant envisageable à la ferme (cf. par exemple le projet PROTECOW) et de décorticage (Nozière et al., 2022). La concentration et la biodisponibilité des protéines des tourteaux de colza et tournesol pourraient être accrues par de nouveaux procédés comme le blutage. Le « bioraffinage » des fourrages est une technique qui se développe, en particulier dans les pays du nord de l'Europe (Jorgensen et al., 2022). Le fractionnement des légumineuses fourragères ou de prairies permet d'extraire environ 40% des protéines du fourrages dans un concentré contenant environ 50% de protéines pouvant être utilisé en substitution du soja pour alimenter des porcs ou des volailles (Jorgensen et al. 2022). Le résidu fibreux contenant 150-180 g/kg de protéines peut être valorisé par des ruminants, ou pour la production d'énergie ou encore pour l'extraction d'autres molécules d'intérêts.

Dans un contexte d'élevage tropical, citons les travaux conduits sur les ressources duales, dont la valorisation intégrale concilie les besoins de l'Homme et de l'animal (graines et fanes de légumineuses, tubercules et feuilles de manioc ou de patate douce…) et sur l'enrichissement protéique par culture de microorganismes sur des substrats riches en glucides (tubercules de manioc, canne à sucre…) (Archimède et al., 2018). Le développement de ces nouvelles technologies pose de nombreuses questions, en premier lieu celles de l'organisation des filières et de l'efficience énergétique des procédés.

b. Les coproduits issus des industries agro-alimentaires

Des gisements de coproduits sont aujourd'hui bien connus et valorisés en élevage. En France, une enquête nationale réalisée en 2017 a permis d'identifier un gisement actuellement valorisé de 12,1 millions de tonnes de matière sèche (MS) de coproduits générés par les industries agroalimentaires. Ceux-ci sont valorisés à 76% en alimentation animale (animaux de rente et de compagnie) (RESEDA, 2017). Les autres usages sont, par ordre d'importance, l'industrie alimentaire de seconde transformation, l'agronomie et l'énergie D'autres études ont été menées pour apporter des chiffres plus précis à pour différentes régions et ainsi mieux cerner les enjeux à l'échelle des territoires. Ainsi, 125 000 tonnes MS de coproduits ont été répertoriées en Normandie (RESEDA, 2019) et 1,9 millions de tonnes MS en région Grand-Est dans le projet COPRAME (Idele, 2021a). Ces gisements sont déjà bien valorisés notamment en alimentation animale et représentent 61% des utilisations en Normandie et 98% en Grand-Est respectivement. Mais de nouveaux gisements et de nouveaux usages pour les gisements déjà valorisés peuvent être identifiés. En particulier, en Europe, environ 50% des fruits et légumes sont perdus au cours de la chaine de production et de consommation (Halmemies-Beauchet-Filleau et al., 2018). La valorisation de biomasses pour la production de biomatériaux pourrait aussi conduire à de nouveaux coproduits valorisables en élevage. Outre la question de l'organisation des filières, les questions concernent donc la connaissance fine, la conservation et l'utilisation dans la ration des animaux de ces coproduits.

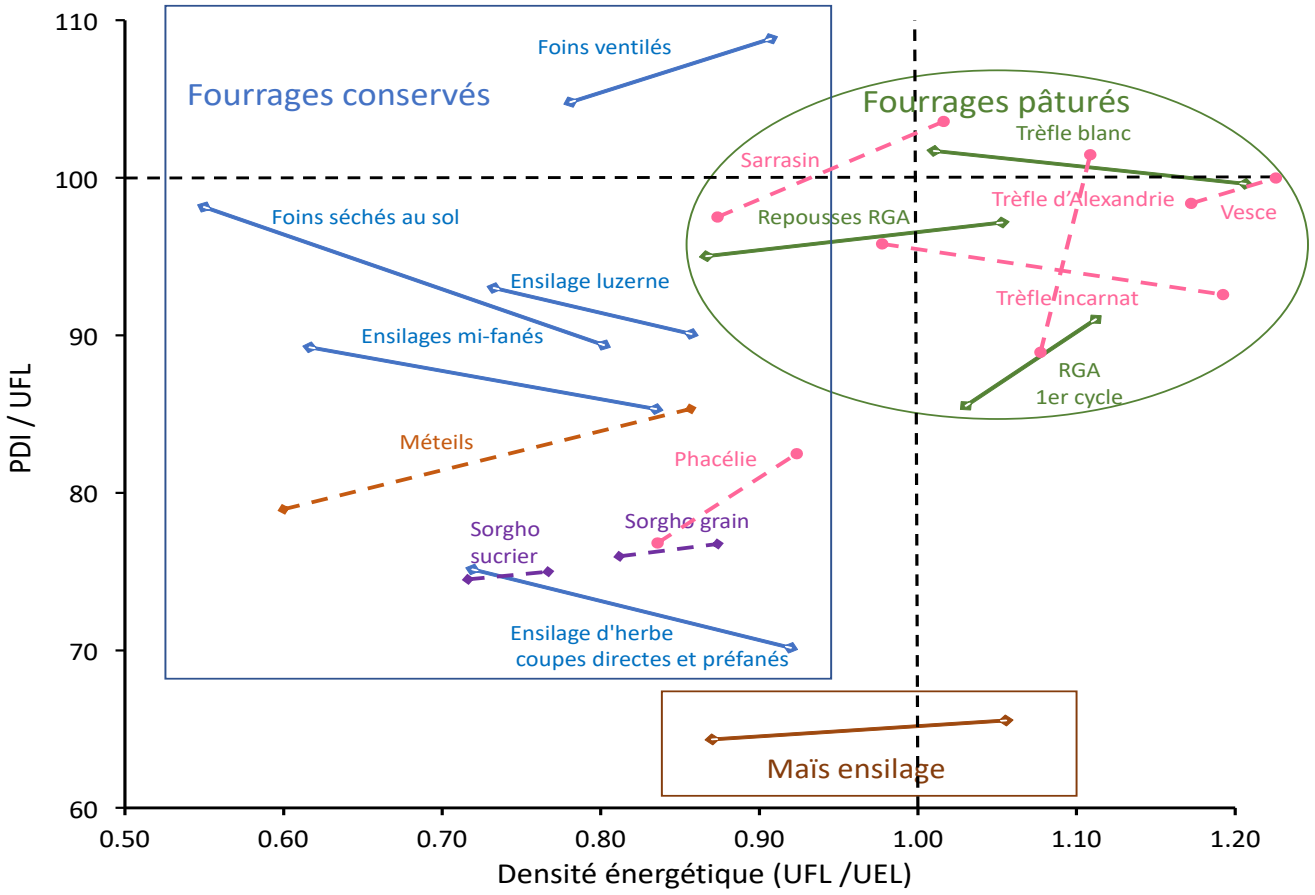


Figure 1. Relations entre la densité énergétique des fourrages et leur concentration en protéines digestibles par unité fourragère. *Les traits pleins correspondent aux fourrages des tables INRA (INRA, 2018) et représentent la plage de variation renseignée selon le stade d'exploitation du fourrage. Les traits pointillés représentent des catégories de fourrages non renseignées dans les tables INRA : en rose, des espèces fourragères utilisées en dérobées estivales (Maxin et al., 2020) ; en violet des valeurs pour les ensilages de sorgho estimées à partir des données de Brunschwig et al., (2008) et de Chauveau et Uijttewaal (2020) ; en marron les données sur les méteils estimées à partir de Legendre et al., (2019).*

Pour un même coproduit, des variations saisonnières peuvent être constatées en fonction des conditions de culture, de récolte et de stockage et/ou du process industriel. Afin de garantir la qualité de ces coproduits, des techniques de conservation appropriées doivent être mises en œuvre en élevage et des précautions d'emploi dans les rations. Ainsi, un stockage en cuve peut être proposé pour des coproduits liquides comme des lactosérums. Pour des pulpes de betteraves surpressées, la réalisation d'un ensilage permet de garantir une bonne conservation en vue d'une utilisation dans la ration de bovins. Dans le but de valoriser ces coproduits, il est possible d'aller encore plus loin dans le niveau de connaissance des coproduits en analysant la teneur en composés secondaires (phénols, tannins, etc.) ainsi que de la digestibilité de différentes fractions d'intérêt. La question de la connaissance de la digestibilité et de la valeur protéique des biomasses lignocellulosiques reste posée notamment pour une valorisation par les ruminants (fourrages pauvres, paille). Certains coproduits, tout comme les fourrages tropicaux (Archimède et al., 2018), pourraient bénéficier des innovations et des traitements enzymatiques développés dans le cadre de la chimie verte pour améliorer leur valeur nutritionnelle pour une valorisation en alimentation animale. Au-delà de ces opportunités techniques, il convient donc de rappeler que la valorisation des coproduits par les animaux d'élevage doit être sans risque sanitaire pour ceux-ci, notamment vis-à-vis des bactéries, des mycotoxines et des contaminants physiques et chimiques (Chapoutot et al., 2018). Ces risques peuvent être gérés du champ à l'élevage en passant par l'usine, à travers des démarches d'analyse de risque des bonnes pratiques et des contrôles qualité. Enfin, un critère primordial reste l'intérêt économique des filières pour valoriser des coproduits en alimentation animale. La formulation multicritère des aliments pour animaux (nutrition, environnement, etc.), couplée à une optimisation économique, doit permettre d'assurer un choix pertinent pour valoriser au mieux les coproduits en alimentation animale en fonction du type d'animal, de la ration proposée et des objectifs de performances (Chapoutot et al., 2018).

2.3. LES INVERTEBRES ET LES ALGUES : DE NOUVELLES SOURCES DE PROTEINES ?

a. Les insectes

Au cours des cinq dernières années, les insectes ont été identifiés comme des aliments alternatifs pour les animaux d'élevage (van Huis, 2020). La teneur en protéines des insectes est généralement supérieure ou égale à celle du tourteau de soja et ils sont riches en acides aminés essentiels comparés aux protéines végétales (Hawkey et al., 2021). Ils sont également riches en lipides et leur composition en acides gras dépend des classes d'insectes (Hawkey et al., 2021). Ils peuvent donc être utilisés comme source de protéines ou d'énergie dans les rations. Par ailleurs, la production d'insectes à partir de déchets alimentaires, de coproduits et de résidus issus de l'industrie agro-alimentaires se développe (Spranghers et al., 2017 ; Meneguz et al., 2018). Ce nouveau système de production constitue un modèle circulaire et durable pour produire des aliments pour l'alimentation animale et participe à réduire la compétition avec l'alimentation humaine. L'utilisation des insectes dans l'alimentation avicole et porcine est autorisée dans l'UE depuis 2021. Même si leur utilisation chez les ruminants reste interdite, l'intérêt nutritionnel de leur utilisation chez les ruminants s'accroit.

Comparé au tourteau de soja, plusieurs auteurs ont observé une diminution de la digestibilité *in vitro* de la matière organique et de la production de méthane avec les tourteaux d'insectes (Jayanegara et al., 2017a,b ; Renna et al., 2022). Ces réductions s'expliqueraient par la composition des insectes. Ils sont riches protéines et en lipides, pauvres en glucides ce qui limite les fermentations ruminales. Ils contiennent également de la chitine, composé partiellement indigestible. La dégradation ruminale des protéines serait également plus faible que celle du tourteau de soja (Toral et al., 2022 ; Renna et al., 2022), ce qui est intéressant pour augmenter la quantité de PDIA, d'autant que des digestibilités intestinales *in vitro* élevées ont été mesurées (Toral et al., 2022). Deux études ont validé *in vivo* l'intérêt de remplacer le tourteau de soja par des tourteaux d'insectes (Astuti et al., 2019 ; Fukuda et al., 2022).

b. Les algues et microalgues

Le potentiel d'utilisation des algues et microalgues en tant que matière première pour l'alimentation animale paraît modeste du fait de leur faible teneur en matière sèche qui nécessiterait de l'énergie pour concentrer les nutriments. En revanche, les algues peuvent fournir des composés d'intérêt utilisables comme additifs pour l'alimentation animale. Les algues présentent un potentiel en tant que supplément lipidique pour accroitre la teneur en lipides d'intérêt nutritionnel (AG poly-insaturés à chaine longue type EPA/DHA) dans les produits animaux. Certaines algues marines peuvent présenter un intérêt pour réduire les émissions de méthane entérique grâce à une forte teneur en bromoforme qui agit sur la méthanogénèse. C'est notamment le cas pour les algues rouges comme *Asparagopsis armata* et *Asparagopsis taxiformis* (Vijn, et al., 2020). Les réductions pourraient être très importantes et atteindre -80% chez les bovins sans modifier les performances zootechniques (Honan et al., 2020). En France, le projet METH'ALGUES visant à évaluer des ressources algales locales sur cette question a débuté en 2021 (Idele, 2021b). Des tests *in vitro* puis *in vivo* permettront de conclure sur l'intérêt d'algues disponibles sur les côtes françaises autres que des algues rouges. De nouvelles technologies pourraient rendre les microalgues compétitives en tant que ressources alimentaires à l'avenir. Des systèmes de production de microalgues couplés à l'alimentation en eau des animaux sont à l'étude. La production de biocarburants dérivés de microalgues pourrait générer des résidus délipidés d'intérêt pour l'alimentation animale (Halmenies-Beauchet-Filleau et al., 2018).

Pour résumer cette partie sur les matières premières concentrées, les insectes et les algues, la figure 2 illustre la diversité des matières premières et coproduits végétaux pouvant être utilisée en alimentation des ruminants et de leurs teneurs en protéines et en parois végétales. Quelques données concernant les algues, les microalgues et les farines d'insectes sont positionnées sur ce graphique.

3. EVALUER LES NOUVELLES RESSOURCES, AGREGER ET TRANSFERER LES CONNAISSANCES

L'utilisation de nouvelles biomasses dans l'alimentation des ruminants suppose d'en connaître les caractéristiques nutritionnelles afin de bien les valoriser dans les rations.

3.1. EVALUER LES ALIMENTS

a. Nouveaux besoins de caractérisation fine des aliments

Les multiples finalités (productivité, efficience, résilience, santé des animaux et des consommateurs de produits animaux, environnement) auxquelles l'alimentation des ruminants doit répondre rend nécessaire de caractériser plus finement les aliments. Cela recouvre notamment la caractérisation des polysaccharides complexes des parois végétales et leurs rôles nutritionnels et fonctionnels (santé du tube digestif), les acides aminés indispensables pour la nutrition des animaux à fort potentiel, les acides gras (Glasser et al., 2013) les micronutriments (oligoéléments, vitamines – Graulet, 2022), les composés secondaires dont certains peuvent avoir des effets alicaments comme par exemple les tanins condensés de certaines légumineuses (Aufrère et al., 2012), mais aussi des composés antinutritionnels pouvant affecter les performances des animaux, leur santé, les rejets ou la qualité des produits .

b. Evaluation de la valeur alimentaire par les méthodes de référence

Les méthodes de référence pour évaluer les aliments des ruminants reposent sur la mesure *in vivo* de leur digestibilité dans l'ensemble du tube digestif (Demarquilly et al., 1995), de leur dégradation *in situ* dans le rumen (principalement pour les fractions azotées et amylacées) et de leur ingestibilité pour les fourrages (Baumont et al., 2018a). Même si le nombre de données de référence accumulées au cours du temps et disponibles dans la littérature est conséquent, l'utilisation de nouvelles ressources dans les rations nécessite l'acquisition d'un nombre suffisant de nouvelles données de référence pour les caractériser. Ces dernières permettront de vérifier la validité des modèles de prévision de la valeur alimentaire pour ces nouvelles ressources. On pourra alors soit étendre leur domaine de validité, soit créer des modèles de prévision spécifiques. C'est en particulier le cas pour les coproduits dont la composition peut varier fortement (cf. 2.2.b).Il est donc important de maintenir des dispositifs de référence pour l'évaluation *in vivo* de nouvelles ressources alimentaires utilisées pour l'alimentation des ruminants. L'évolution des thématiques scientifiques, la rationalisation des outils expérimentaux et la prise en compte en expérimentation animale du principe des 3R (Remplacer, Réduire, Raffiner) ont conduit à réduire fortement en France comme à l'étranger le nombre de sites permettant de réaliser ces méthodes de références. Ainsi, à INRAE, le nombre d'ateliers permettant la mesure de la digestibilité et de l'ingestibilité des fourrages par la méthode de référence est passé de 7 dans les années 1990 à 3 dans les années 2020. En complément, pour certains critères de caractérisation des aliments, le développement des techniques de précision en élevage expérimental voire commercial, par exemple les mesures automatisées des quantités ingérées, ouvrent des perspectives pour le « phénotypage à haut débit » des ressources alimentaires conjointement à celui des animaux.

c. Méthodes alternatives et de prévision

Pour prévoir la valeur des aliments sur le terrain, pour faire du criblage d'un grand nombre de matières premières ou pour réduire l'utilisation d'animaux expérimentaux, des méthodes basées sur des approches *in vitro* et/ou des relations statistiques entre la composition des aliments et leur utilisation par les animaux ont été développées (Givens et al., 2000). Certaines techniques existent depuis longtemps comme les méthodes *in vitro* (Tilley et Terry, 1963) et les méthodes enzymatiques (Aufrère et al., 2007), et font toujours l'objet de développements pour augmenter leur précision et leur domaine d'application (Le Morvan et al., 2016). Pour répondre à la demande sociétale, l'arrêt programmé en France pour 2025 de l'utilisation des vaches munies d'une canule du rumen nécessite de mettre au point une méthode de référence alternative basée sur une approche *in vitro* pour la mesure de la dégradation des aliments dans le rumen. Dans ce but, INRAE conduit actuellement le programme ALTERFI avec le soutien des principales entreprises du secteur de l'alimentation des ruminants.

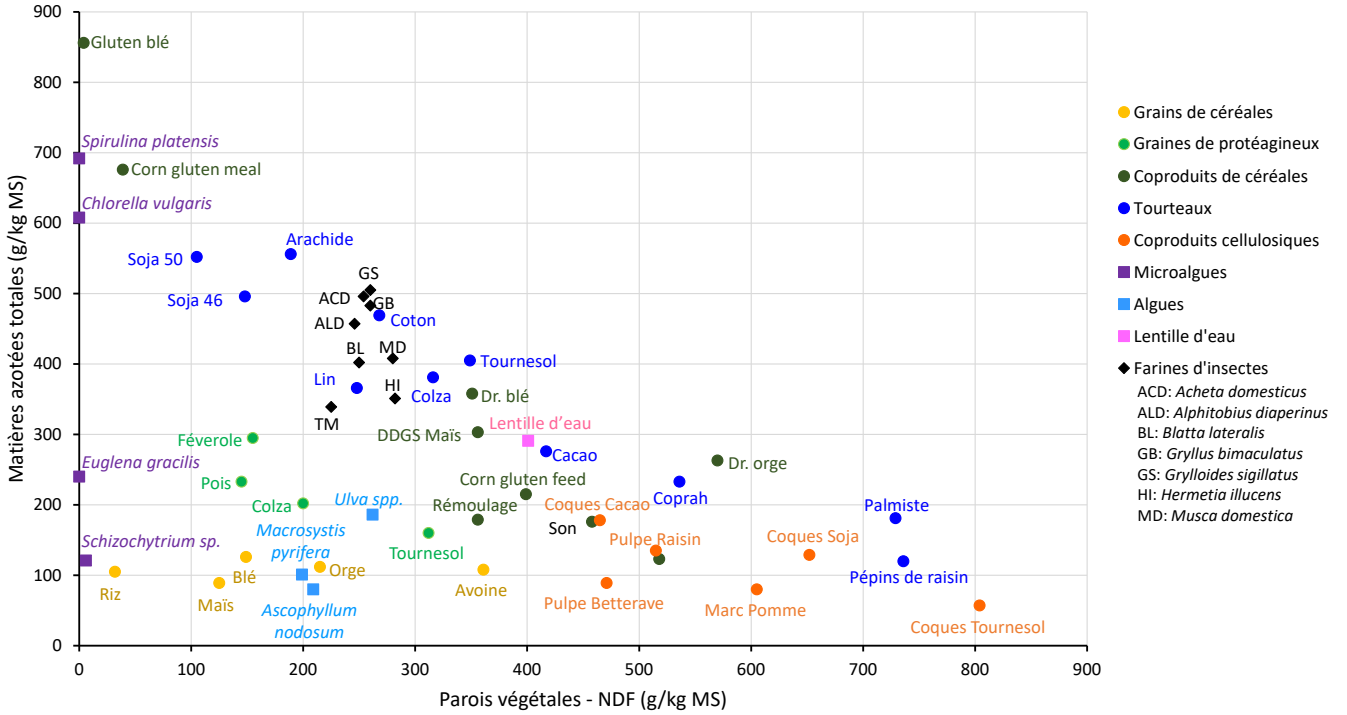


Figure 2. Teneurs moyennes en protéines (MAT) et en parois végétales (NDF) pour les principaux groupes de matières premières actuellement utilisées ou potentiellement utilisables en alimentation des ruminants.
Les aliments représentés par des ronds (grains de céréales, graines de protéagineux, coproduits de céréales, tourteaux, coproduits cellulosiques) sont présents dans les tables INRA (INRA, 2018). Les données sur les algues, microalgues et la lentille d'eau sont issues de Halmemies-Beauchet-Filleau et al. (2018) et les données sur les farines d'insectes de Renna et al. (2022).

D'autres méthodes, plus récentes comme la spectrométrie dans le proche infra-rouge (SPIR), présentent un potentiel d'innovation fort (Andueza et al., 2011 ; Bastianelli et al., 2018). Basée sur l'absorption de la lumière infrarouge par la matière organique des échantillons, cette méthode non invasive et non destructive des échantillons peut être appliquée sur de nombreuses matrices alimentaires (fourrages, coproduits, ingrédients des rations) ou produites par les animaux (lait, fèces). Elle permet une estimation de la composition chimique des aliments en termes de teneurs en protéines, fibres, digestibilité enzymatique mais également, à titre expérimental, une estimation de l'utilisation digestive des rations. Ainsi, par exemple la mesure de la digestibilité d'une ration et des émissions de méthane à l'échelle d'un individu à partir du spectre infra-rouge d'un simple prélèvement de fèces constitue une perspective prometteuse tant pour l'évaluation des ressources que le phénotypage des animaux (Andueza et al., 2021).

La miniaturisation des spectromètres infrarouges permet aujourd'hui d'envisager une utilisation sur le terrain pour une analyse directe des échantillons de matières premières fraiches. Ces développements récents permettent de s'affranchir des étapes de séchage et de broyage préalables à toutes analyses. Cependant, analyser les échantillons sur les lieux de prélèvements n'a de sens que si les performances des spectromètres portables ne sont pas impactées par cette miniaturisation. Selon Bastianelli et al. (2018), les spectromètres infrarouges portables permettent de prédire avec une fiabilité raisonnable les principales caractéristiques nutritionnelles des aliments (humidité, protéines brutes, fibres, digestibilité de la matière sèche…). En raison de l'humidité, de l'hétérogénéité des échantillons et de la simplification des appareils de mesures, la précision des étalonnages est cependant significativement plus faible qu'avec des échantillons secs sur des appareils de laboratoire, et l'erreur de prédiction généralement multipliée par un facteur de 1,3 à 3,0.

Récemment, dans le cadre du projet régional wallon EFFORT (www.cra.wallonie.be/fr/effort), plusieurs types d'appareils portables ont été comparés sur différents types de fourrages. Les performances varient entre appareils. Les paramètres comme l'humidité, les protéines et la cellulose semblent raisonnablement bien prédits. Des erreurs plus importantes ont été observées pour la composition en fibres (NDF – ADF) et la digestibilité enzymatique (Fernandez-Pierna et al., 2021) Le développement de base de données spectrales sur matériel frais, couvrant une large variété d'aliments (fourrages et matières premières) conditionnera l'utilisation en routine de ce type d'appareils.

3.2. AGREGER ET TRANSFERER LES CONNAISSANCES

La création et le transfert des connaissances sur les aliments ont longtemps été fondés sur la simple compilation de données expérimentales, diffusées sous forme de tables publiées sur papier de façon plus ou moins périodique. Dans les trois dernières décennies, la génération massive de données dans les laboratoires spécialisés ainsi que l'utilisation de l'informatique ont permis le développement de tables basées sur l'exploitation et la méta-analyse de larges bases de données intégrant les résultats de la littérature internationale. La diffusion des tables privilégie maintenant les supports numériques et en libre accès (Open Access).

a. Agréger les données de composition et les valeurs nutritionnelles : une étape indispensable pour intégrer de nouvelles ressources dans l'alimentation des ruminants

La collecte de données est la première étape pour la mise en place d'un système d'information cohérent sur la composition et la valeur nutritionnelle des matières premières destinées à l'alimentation animale.

Les travaux menés par l'Association française de zootechnie (AFZ) depuis 1989 dans le cadre de la Banque de données de l'alimentation animale française ont permis une collecte massive de données (3 millions de données dont 100 000 *in vivo*) pour 600 000 échantillons correspondants à près de 7 000 matières premières et fourrages différents. Les travaux conduits à INRAE sur les fourrages depuis les années 1950 ont permis de constituer une base de données de plus de 2000

mesures de digestibilité et d'ingestibilité sur les fourrages verts de graminées et de légumineuses et de 290 mesures sur le maïs. Cette base de données a été complétée par plus de 300 mesures permettant de prévoir la valeur des fourrages conservés à partir de celle du fourrage vert correspondant, et par plus de 450 mesures de dégradation de l'azote dans le rumen (Baumont et al., 2018a, b).Avoir de nombreuses données permet de couvrir les besoins en information de façon à la fois qualitative, quantitative (en termes de produits et de paramètres nutritionnels) et sécurisée (élimination des données anormales). L'exploitation statistique de ces bases de données donne lieu à l'établissement d'équations de prédiction liant des valeurs chimiques entre elles ou des valeurs chimiques et des valeurs nutritionnelles mesurées *in vivo*. Il devient alors possible de calculer des valeurs type de composition chimique et nutritionnelle qui ne sont pas de simples moyennes de valeurs brutes.

b. Produire des tables de référence

Des premières tables de la valeur des fourrages ont été proposées par Demarquilly et Weiss (1970), INRA (1978) et Andrieu et al., (1989). Depuis 2002, les travaux conjoints d'INRAE et de l'AFZ ont abouti à la création de plusieurs tables de références : tables multi-espèces de matières premières (« Tables vertes », Sauvant et al., 2004), tables pour ruminants contenant à la fois des données de matières premières et de fourrages (INRA, 2007). La rénovation des systèmes d'alimentation des ruminants (INRA, 2018) a inclus celle des tables qui sont désormais consultables en ligne : www.feedtables.com pour les tables matières premières multi espèces et www.inration.fr pour les tables des fourrages et des concentrés utilisés pour les ruminants (cf. données des tables présentées dans les figures 2 et 3).

c. Etendre la portée des tables, améliorer la caractérisation des matières premières

Suite au succès des « Tables vertes » et des tables pour les ruminants à l'international (elles ont été traduites en Anglais, Espagnol et Chinois), l'AFZ a entrepris en 2006, en collaboration avec INRAE, le CIRAD et la FAO, la construction de tables destinées initialement aux régions chaudes. Ce travail est devenu par la suite Feedipedia (www.feedipedia.org), une encyclopédie des aliments pour animaux de ferme de portée mondiale et accessible gratuitement sur internet depuis 2012. Cette encyclopédie propose à la fois une caractérisation qualitative des aliments (description botanique et physique, conditions de culture et d'obtention, contraintes et modalités d'utilisation pour les différentes productions animales), et une caractérisation quantitative via des tables de composition et de valeurs nutritionnelles sur plus de 1500 matières premières et fourrages. Feedipedia est un outil de transfert de connaissances majeur, consulté dans le monde entier par plus d'un million de visiteurs par an. Dans le contexte du changement climatique, Feedipedia constitue une source d'information précieuse pour ceux qui envisagent de recourir à des aliments adaptés aux sécheresses ou capables de remplacer des cultures précédemment détruites (après une grêle ou un gel tardif). Avec 72% d'aliments alternatifs, Feedipedia offre une base de connaissances solide pour choisir ceux qui, dans les rations, remplaceront opportunément les matières premières et fourrages conventionnels et pourront ainsi contribuer à la résilience des élevages.

d. Offrir des outils de calcul de valeurs alimentaires et de calcul des rations

Les données publiées dans les tables INRAE et INRAE-AFZ sont par construction des données correspondant à des aliments « moyens ». Pour une meilleure précision dans les calculs de ration, ces tables viennent nourrir différents outils, dont le module PrevAlim du logiciel de rationnement INRAtion V5 et RUMIN'AL développé par INRAE avec France Conseil Elevage (www.inration-ruminal.fr) et le calculateur multi-espèces Feedinamics (www.feedinamics.com) développé par l'AFZ avec A-Systems. Grâce à ces outils, l'utilisateur peut calculer les valeurs alimentaires de ses propres aliments (matières premières seules pour toutes espèces animales pour Feedinamics ; toutes matières premières et fourrages pour les ruminants pour PrevAlim dans INRAtion et RUMIN'AL) et, pour les deux outils INRAE, calculer les valeurs de rations complètes. INRAtion V5 et RUMIN'AL intègrent des lois de réponses multicritères qui permettent d'évaluer les rations sur différents aspects, en particulier les rejets dans l'environnement (N, CH4), et le risque d'acidose.

CONCLUSION

Cette synthèse met en lumière les nombreux enjeux climatiques, environnementaux, économiques et sociétaux qui questionnent les ressources alimentaires pour les ruminants. Face à ces enjeux, de nombreux leviers existent soit pour adapter les ressources existantes soit pour développer de nouvelles ressources. Ils mettent en évidence le rôle accru que devront jouer les légumineuses fourragères et à graines, les plantes adaptées à des climats plus chauds et secs, les ressources ligneuses et les coproduits végétaux dans l'alimentation des ruminants. Caractériser ces nouvelles ressources alimentaires nécessite d'obtenir de nouvelles données par les méthodes de référence d'évaluation des aliments pour pouvoir conforter les bases de données et les outils de prévision existants dans une démarche d'évaluation multicritère. Ces perspectives sur l'alimentation des ruminants questionnent aussi les caractéristiques des animaux, leur conduite, et plus largement l'organisation des filières de ruminants, autant de sujets que nous n'avons pas abordés ici. S'adapter au changement climatique, réduire les impacts sur l'environnement des élevages par plus d'autonomie alimentaire et de circularité nécessitera de rechercher des optimums de production permis par les ressources alimentaires disponibles en local plutôt que de maximiser le potentiel de production des animaux.

Agreste 2020. https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/
Andueza D., Picard F., Pradel P., Egal D., Hassoun P., Peccatte J.R., Baumont R., 2011. Reproducibility and repeatability of forage in vivo digestibility and voluntary intake of permanent grassland forages in sheep. Livestock Science, 140, 42-48
Andueza, D., Dehareng, F., Rochette, Y., Martin, C., Vanlierde, A., Picard, F., Morgavi, D., Pourrat, J., 2021. Influence of measurement method of methane on the performances of faecal NIRS models in cattle. EAAP conference, Davos, Abstract.
Andrieu J., Demarquilly C., Sauvant D., 1989. Tables of feeds used in France. In: Jarrige, R. (Ed.), Ruminant Nutrition: recommended allowances and feed tables. INRA, John Libbey Eurotext, Paris, pp. 213-204.
Archimede H., Bastianelli D., Fanchone A. Gourdine J.-L., Fahrasmane L., 2018. Aliments protéiques dans les systèmes mixtes intégrés polycultures-élevage en régions tropicales. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 221-236.
Astuti DA, Anggraeny A, Khotijah L, Suharti S, Jayanegara A. 2019. Performance, physiological status, and rumen fermentation profiles of pre- and post-weaning goat kids fed cricket meal as a protein source. Trop Anim Sci J. 42:145–151. https://doi.org/10.5398/tasj.2019.42.2.145.
Aufrere J., Baumont R., Delaby L., Pecatte J.-R., Andrieu J., Andrieu J.-P., Dulphy J.-P. (2007). Prévision de la digestibilité des fourrages par la méthode pepsine-cellulase. Le point sur les équations proposées. INRA Prod. Anim., 20, 129-136.
Aufrere J., Theodoridou K., Baumont R., 2012. Valeur alimentaire pour les ruminants des légumineuses contenant des tannins condensés en milieu tempérés. INRA Prod. Anim., 25, 29-44
Bastianelli D., Bonnal L., Barre P., Nabeneza S., Salgado P., Andueza D., 2018. La spectrométrie dans le proche infrarouge pour la caractérisation des ressources alimentaires. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 237-254.
Baumont, R., Lewis, E., Delaby, L., Prache, S., Horan, B. (2014). Sustainable intensification of grass-based ruminant production. Grassland Science in Europe, 19, 521-532.

Baumont R., Bastien D., Férard A., Maxin G., Niderkorn V., 2016. Les intérêts multiples des légumineuses fourragères pour l'alimentation des ruminants. Fourrages, 227, 171-180.
Baumont, R., Sauvant, D., Maxin, G., Chapoutot, P., Noziere, P. (2018a). Méthodes d'évaluation de la valeur des aliments et bases de données. In : Inra, 2018. Alimentation des ruminants. Apports nutritionnels - Besoins et réponses des animaux - Rationnement - Tables des valeurs des aliments. Versailles, FRA : Editions Quae. pp. 477-485.
Baumont, R., Sauvant, D., Maxin, G., Chapoutot, P., Tran, G., Boudon, A., Lemosquet-Simon, S., Noziere, P. (2018b). Calcul de la valeur des aliments pour ruminants : tables et équations de prévision. In : Inra, 2018. Alimentation des ruminants. Apports nutritionnels - Besoins et réponses des animaux - Rationnement - Tables des valeurs des aliments. Versailles, FRA : Editions Quae. pp. 487-520.
Brunschwig P., Lamy J.M. (2008). Mélanges céréales - légumineuses immatures et sorghos ensilés, des alternatives fourragères pour les vaches laitières en situation séchante. Rencontres Recherches Ruminants, 15, 205-208.
Chapoutot P., Rouillé B., Sauvant D., Renaud B., 2018. Les coproduits de l'industrie agro-alimentaire : des ressources alimentaires de qualité à ne pas négliger. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage, Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 201-220.
Chauveau H., Uijttewaal A. (2020). Sorghos fourragers monocoupes : différents types pour différentes valorisations. In : Actes des Journées AFPF, 2020, Produire des fourrages dans un contexte de changements climatiques (Poster). https://afpf-asso.fr/acte/journees-de-printemps-2020?acte=677
Delaby L., Horan B., 2021. Améliorer l'efficacité des systèmes laitiers herbagers en milieux tempérés. INRAE Prod. Anim., 34, 161-172.https://doi.org/10.20870/productions-animales.2021.34.3.487
Demarquilly C., Weiss P., 1970. Tableaux de la valeur alimentaire des fourrages. INRA-SEI Série Etudes (FRA), 42, 64p.
Demarquilly C. Chenost M. Giger S., 1995 Pertes fécales et digestibilité des aliments et des rations. In Nutrition des ruminants domestiques, (R. Jarrige, Y. Ruckebusch, C. demarquilly, M.-H. Farce, M. Journet eds.), INRA Editions pp 501-648.
Deroche B., Pradel P., Baumont R. (2020). Long-term evolution and prediction of feed value for permanent mountain grassland hay: Analysis of a 32-year data set in relation to climate change. Grass and Forage Science, 75(1):18-27. DOI: https://doi.org/10.1111/gfs.12465
Dronne Yves., 2018. Les matières premières agricoles pour l'alimentation humaine et animale : l'UE et la France. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim, 31, 181-200.
Emile J.C., Barre Ph., Delagarde R., Niderkorn V., Novak S., 2017. Les arbres, une ressource fourragère au pâturage pour des bovins laitiers ?. Fourrages 230, 155-160.
Ertl P., Klocker H., Hörtenhuber S., Knaus W., Zollitsch W., 2015. The net contribution of dairy production to human food supply: The case of Austrian dairy farms. Agricult. Syst., 137, 199-125.
Fernández Pierna, J, Chamberland, N, Vermeulen, P., Decruyenaere, V, Froidmont E, Minet, O., Lecler, B. & Baeten, V. (2021). Handheld NIR spectrometers to evaluate grass silage quality A study of calibration performance evaluation. Poster in: ICNIRS, Beijing China, 18-21 October 2021.
Fukuda Ep, Cox Jr, Wickersham Ta, Drewery Ml, 2022. Evaluation of Black Soldier Fly larvae (Hermetia illucens) as a protein supplement for beef steers consuming low-quality forage. Transl Anim Sci., 6(1):txac018. https://doi.org/10.1093/tas/txac018.
Givens D.I., Axford R.F.E., Omed H.M., 2000. Forage Evaluation in Ruminant Nutrition, Wallingford: CABI Publishing, 480 pp.
Glasser F., Doreau M., Maxin G., Baumont R., 2013. Fat and fatty acid content and composition of forages: A meta-analysis. Animal Feed Science and Technology, 185, 19-34.
Graulet, B., 2022. Récentes avancées sur les facteurs de variation des concentrations en vitamines du lait chez les ruminants. INRAE Prod Anim, 35, in press.
Halmemies-Beauchet-Filleau A., Rinne M., Lamminen M., Mapato C., Ampapon T., Wanapat M.And Vanhatalo A., 2018. Alternative and novel feeds for ruminants: nutritive value, product quality and environmental aspects. Animal, 12: S2, pp s295–s309.
Hawkey KJ, Lopez-Viso C, Brameld JM, Parr T, Salter AM, 2021. Insects: a potential source of protein and other nutrients for feed and food. Annu Rev Anim Biosci. 9: 333–354. https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083930.
Hegarty RS, Cortez Passetti RA, Dittmer KM, Wang Y, Shelton S, Emmet-Booth J, Wollenberg E, McAllister T, Leahy S, Beauchemin K, Gurwick N. 2021. An evaluation of emerging feed additives to reduce methane emissions from livestock. Edition 1. A report coordinated by Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS) and the New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre (NZAGRC) initiative of the Global Research Alliance (GRA).
Hennessy DP, Shalloo L, van Zanten HHE, Schop M, De Boer IJM (2021). The net contribution of livestock to the supply of human edible protein: the case of Ireland. The Journal of Agricultural Science 159, 463–471. https://doi.org/10.1017/S0021859621000642
Hernandez P., 2021. Fiche technique N°2 : les dérobées estivales, un levier face au déficit fourrager ? – Retour sur les essais 2019-2020. Herbe et Fourrages, Centre-Val de Loire.
Herremans S., Ferard A., Wyss U., Maxin G., 2018. Les cultures dérobées : des fourrages de qualité nutritive intéressante. Fourrages, 33. 39-46.
Herremans S., Regibeau C., De Toffoli M., Jamar D., Daniaux C., Huyghebaert B., 2021. Le pâturage des couverts d'interculture par les ovins et ses impacts : synthèse bibliographique. Fourrages, 248, 21-28.
Heuzé V., Tran G., Sauvant D., 2020. Foxtail millet (Setaria italica), forage. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. https://www.feedipedia.org/node/382
Heuzé V., Tran G., Hassoun P., Sauvant D., 2015. Pearl millet (Pennisetum glaucum), forage. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. https://www.feedipedia.org/node/399
Heuzé V., Tran G., Giger-Reverdin S., Lebas F., 2015. Sorghum forage. Feedipedia, a programme by INRAE, CIRAD, AFZ and FAO. https://www.feedipedia.org/node/379
Honan M., Feng X., Tricarico J.M., Kebreab E., 2021. Feed additives as a strategic approach to reduce enteric methane production in cattle: modes of action, effectiveness and safety. Animal Production Science, Special issue, 15 pages.
IDELE, 2021a. Gisements et valorisations des coproduits des entreprises agroalimentaires du Grand Est. Rapport d'enquête, 90 pages.
IDELE, 2021b. METH'ALGUES, des algues pour réduire les émissions de méthane entérique chez la vache laitière. Plaquette institutionnelle, 2 pages.
INRA, 1978. Tables de l'alimentation des ruminants, INRA Editions.
INRA, 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins - Besoins des animaux - Valeurs des aliments - Tables INRA 2007. Editions Quae, Versailles, France, 307pp.
INRA, 2018 Alimentation des ruminants. Apports nutritionnels - Besoins et réponses des animaux - Rationnement - Tables des valeurs des aliments (p. 487-520). Versailles, FRA : Editions Quae. 728 p.
Jayanegara A, Novandri B, Yantina N, Ridla M. 2017a. Use of black soldier fly larvae (Hermetia illucens) to substitute soybean meal in ruminant diet: An in vitro rumen fermentation study. Vet World. 10(12):1439–1446. https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.1439-1446.
Jayanegara A, Yantina N, Novandri B, Laconi EB, Ramli N, Ridla M. 2017b. Evaluation of some insects as potential feed ingredients for ruminants: chemical composition, in vitro rumen fermentation and methane emissions. J Indones Trop Anim Agric. 42(4):247–254. https://doi.org/10.14710/jitaa.42.4.247-254.
Jørgensen U., Jensen S.K. and Ambye-Jensen M. 2022. Coupling the benefits of grassland crops and green biorefining to produce protein, products and services for the green transition. Grassland Science in Europe, 27, 83-94.
Klumpp K., Fornara D.A., 2018. The carbon sequestration of grassland soils – climate change and mitigation strategies. Grassland Science in Europe, 23, 509-519
Laisse S., Baumont R., Dusart L., Gaudré D., Rouillé B., Benoit M., Veysset P., Rémond D., Peyraud J.-L., 2018. L'efficience nette de conversion des aliments par les animaux d'élevage : une nouvelle approche pour évaluer la contribution de l'élevage à l'alimentation humaine. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 269-288.
Lebret B., Prache S., Berri C., Lefèvre F., Bauchart D., Picard B., Corraze G., Médale F.,Faure J., Alami-Durante H., 2015. Qualités des viandes : influences des caractéristiques des animaux et de leursconditions d'élevage. In : Numéro spécial, Le muscle et la viande. Picard B., Lebret B. (Eds). INRA Prod. Anim., 28,151-168.
Legendre A. Bouffartigue J., Deleau D., Deraedt M., Desmoniere E., Emile JC. Estrade O., Ferard A., Greffier J., Knoden D., Pierre P., Toussaint J. Uijttewaal A. 2019. Guide technique des mélanges fourragers à base de céréales à paille et de légumineuses. Association Française pour la Production Fourragère.
Le Morvan A., Quereuil A. , Maxin G., 2016. Vers une méthode enzymatique Haut Débit de prévision de la digestibilité des fourrages. Renc. Rech. Ruminants, 23, 31.
Liagre F., Marin A., Ori D, 2020. Exemples d'aménagements ligneux pour une production fourragère. Fourrages 242, 79-86.

Luscher A., Mueller-Harvey I., Soussana J. F., Rees R.M., Peyraud J.L., 2014. Potential of legume-based grassland–livestock systems in Europe: a review. Grass and forage science. 69, 206–228.
Lüscher A., Barkaoui K., Finn J.A., Suter D., Suter M. and Volaire F., 2022. Using plant diversity to reduce vulnerability and increase drought resilience of permanent and sown productive grasslands. Grassland Science in Europe, 27, 309-322.
Martin B., Hurtaud C., Graulet B., Ferlay A., Chilliard Y., Coulon J.-B., 2009. Herbe et qualités nutritionnelles et organoleptiques des produits laitiers. Fourrages, 199, 291-310.
Maxin G., Nozière P., Sauvant D., Baumont R., 2018. Appliquer les méthodes d'évaluation multicritère aux rations des ruminants : identification des critères à évaluer et des indicateurs à mesurer sur les aliments. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 255-268.
Maxin G., Andueza D., Le Morvan A., Baumont R. 2017. Effect of intercropping vetch (Vicia sativa L.), field pea (Pisum sativum L.) and triticale (X Triticosecale) on dry-matter yield, nutritive and ensiling characteristics when harvested at two growth stages. Grass and Forage Science, 72, 777-784.
Maxin, G. Graulet B., Le Morvan A., Picard F., Portelli J., Andueza D. 2020. Cover crops as alternative forages for ruminants: nutritive characteristics, in vitro digestibility, methane and ammonia production. Animal Production Science, 60, 823-832.
Maxin G, Arrigo Y, Dozias D, Andueza D, Le Morvan A., Baumont R., Delaby L. 2016. Prediction of the in vivo organic matter digestibility of cereal-legume intercrops silages. 26th EGF general meeting, Trondheim, Norway
Meneguz M, Schiavone A, Gai F, Dama A, Lussiana C, Renna M, Gasco L. 2018. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae. J. Sci. Food Agric. 98, 5776. doi: 10.1002/jsfa.9127
Moreau J.C., Madrid A., Brun T., Ruget F., 2020. Dans les filières bovines, apprivoiser le changement climatique. La méthode déployée dans le cadre de Climalait et Climaviande. Fourrages 244, 9-18.
Moreau J-C., Béral C., Hannachi Y., Lavoyer S., Monier S., Novak S., Van Lerberghe P., 2020. ARBELE - L'arbre dans les exploitations d'élevage herbivore : des fonctions et usages multiples. Innovations Agronomiques 499-521.
Novak S., Barre P., Delagarde R., Mahieu S., Niderkorn V., Emile J.-C., 2020. Composition chimique et digestibilité in vitro des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été. Fourrages, 242, 35-47.
Noziere P., Mendowski S., Ferlay A., Peyronnet C., Enjalbert F., Chesneau G., Germain A., Chapoutot P., 2022. Améliorer l'utilisation des graines oléo-protéagineuses par l'extrusion : un enjeu technologique pour contribuer à l'autonomie protéique des élevages bovins laitiers. INRAE Prod Anim, 35, in press.
Pavie et al., 2022. Autonomie protéique. Journées 3R.
Peyraud J.-L., Aubin J., Barbier M., Baumont R., Berri C., Bidanel J. P., Citti C., Cotinot C., Ducrot C., Dupraz P., Faverdin P., Friggens N., Houot S., Nozieres-Petit M.-O., Rogel-Gaillard C., Sante-Lhoutellier V. (2019). Quelle science pour les élevages de demain ? Une réflexion prospective conduite à l'INRA. INRA Productions Animales, 32(2):323-338. DOI: https://doi.org/10.20870/productions-animales.2019.32.2.2591.
Pietikäinen A., Kokkonen T., Rissanen P., Vanhatalo A., Herzon I. and Krawczel P., 2022. Effects of two approaches for outdoor access on the welfare of lactating Nordic red cows. Grassland Science in Europe, 27, 701-703.
Poux X. and Aubert P.-M., 2022. Permanent grassland and ruminants are a key component of the agroecological transition in Europe – findings from the 'Ten Years For Agroecology' scenario. Grassland Science in Europe, 27, 16-28.
Prache S., Adamiec C., Astruc T., Baeza-Campone E., Bouillot P.E., Clinquart A., Feidt C., Fourat E., Gautron J., Girard A., Guillier L., Kesse-Guyot E., Lebret B., Lefevre F., Le Perchec S., Martin, B., Mirade P.S., Pierre F., Raulet M., Remond D., Sans P., Souchon I., Donnars C., Sante-Lhoutellier V., 2022. Review: Quality of animal-source foods. Anim. 16, 100376.
Regibeau C., 2019. Des couverts et des moutons. https://filagri.be/actualites/des-couverts-et-des-moutons/.
Renna M, Coppa M, Lussiana C, Le Morvan A, Gasco L, Maxin G. 2022. Full-fat insect meals in ruminant nutrition: in vitro rumen fermentation characteristics and lipid biohydrogenation. Journal of Animal Science and Biotechnology (in press).
RESEDA, 2017. Les coproduits de l'industrie agroalimentaire, un enjeu stratégique pour les filières. Rapport d'enquête, 121 pages.
RESEDA, 2019. Gisements et valorisations des coproduits des entreprises agroalimentaires en Normandie. Rapport d'enquête, 84 pages.
Sagot L., 2017. "Cet automne mes brebis pâturent les couverts végétaux". Brochure de l'Institut de l'Élevage / CIIRPO : https://www.inn-ovin.fr/cet-automne-brebis-paturent-couverts-vegetaux/.
Sailley M., Cordier C., Courtonne J.-Y., Duflot B., Cadudal F., Perrot C., Brion A., Baumont R., 2021. Quantifier et segmenter les flux de matières premières utilisées en France par l'alimentation animale. INRAE Prod. Anim., 34, 273-292.
Sauvant D., Perez J.M., Tran G., 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage : porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. D INRA Editions, Paris, France, 301pp.
Sauvant D., Giger-Reverdin S., Peyraud J.-L., 2018. Bien-être digestif et acidose ruminale. In : Inra, 2018. Alimentation des ruminants. Apports nutritionnels - Besoins et réponses des animaux - Rationnement - Tables des valeurs des aliments. Versailles, FRA : Editions Quae. pp. 249-256.
Seegers J., Kentzel M., Fagon J., Jousseins C., Morin E., Etienne L., Bossis N., 2020. Etat des lieux de l'autonomie alimentaire et protéique dans les ateliers d'élevage herbivores, Institut de l'Elevage. https://idele.fr/detail-article/etat-des-lieux-de-lautonomie-alimentaire-et-proteique-dans-les-ateliers-delevage-herbivores
Spranghers, T.; Ottoboni, M.; Klootwijk, C.; Ovyn, A.; Deboosere, S.; Meulenaer, B. de; Michiels, J.; Eeckhout, M.; Clercq, P. de; Smet, S. de, 2017. Nutritional composition of black soldier fly (Hermetia illucens) prepupae reared on different organic waste substrates. J. Sci. Food Agric., 97 (8): 2594-2600. https://doi.org/10.1002/jsfa.8081
The New Zealand Poplar & Willow Research Trust. 2013. Setting up a willow coppice block for fodder. June 2013, Fact Sheet 03, 2p
Tilley J. M. A., Terry R. A., 1963. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. Grass and Forage Science, 18, 104-111. https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x
Toral PG, Hervás G, González-Rosales MG, Mendoza AG, Robles-Jiménez LE, Frutos P. 2022. Insects as alternative feed for ruminants: comparison of protein evaluation methods. J Anim Sci Biotechnol. 13:21. https://doi.org/10.1186/s40104-021-00671-2.
Vandermeulen S., Ramirez-Restrepo C.A., Marche Ch., Decruyenaere V., Beckers Y., Bindelle J., 2016. Behaviour and browse species selectivity of heifers grazing in a temperate silvopastoral system. Agroforest Syst, published online, DOI 10.1007/s10457-016-0041-x.
Vandermeulen S., Leblois J., Ramirez-Restrepo C.A., Beckers Y., Lognay G., Bindelle J., 2016. In vitro evaluation of protein precipitation capacity of temperate browse species. In The 21th National Symposium on Applied Biological Sciences, February 5th, Antwerpen, Belgium.
van Huis A. 2020. Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a 660 review. J Insects Food Feed, 6(1), 27–44.
Vijn S., Compart D. P., Dutta N., Foukis A., Hess M., Hristov A. N., Kalscheur K. F., Kebreab E., Nuzhdin S. V., Price N. N., Sun Y., Tricarico J. M., Turzillo A., Weisbjerg M. R., Yarish C., Kurt T. D., 2020. Key Considerations for the Use of Seaweed to Reduce Enteric Methane Emissions From Cattle. Frontiers in Veterinary Science, 7, 2297-1769.
Wilfart A., Dusart L., Meda B., Gac A., Espagnol S., Morin L., Dronne Y., Garcia-Launay F., 2018. Réduire les impacts environnementaux des aliments pour les animaux d'élevage. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 289-306
Wilkinson J.M., 2011. Re-defining efficiency of feed use by livestock. Animal, 5, 1014-1022.
Wyss U., Mosimann E., 2016. Qualité des ensilages produits avec des cultures dérobées", Recherche Agronomique Suisse, 7, 436-441.

La diversité des associations céréales protéagineux récoltées en fourrage : un levier d'adaptation au service de multiples systèmes fourragers

DAVEAU B. (1), FORTIN J. (1),
(1) Chambre d'Agriculture – Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou – la garenne de la cheminée – 49220 Thorigné d'Anjou

Résumé :

Les associations de céréales/protéagineux d'hiver (CERPRO) sont des leviers pertinents pour s'adapter aux évolutions climatiques marquées par des sécheresses estivales de plus en plus fréquentes. En combinant résultats d'essais analytiques et analyses de bases de données, l'objectif de cette synthèse est de proposer une typologie des CERPRO pour répondre à des utilisations adaptées à de multiples systèmes fourragers. Les facteurs maitrisables par l'itinéraire technique : nature des mélanges, stades de récoltes mais également des facteurs non maitrisables liés aux conditions pédoclimatiques ont été étudiés. Si des choix en termes de composition au semis et de stades de récolte permettent de hiérarchiser plusieurs stratégies, les aléas météorologiques peuvent impacter la productivité et les valeurs nutritives. Une approche pratique, par dosage du calcium, pourrait permettre d'estimer la part de protéagineux et ainsi de mieux appréhender les valeurs nutritives de ces fourrages dans le rationnement. Enfin, l'utilisation de ces CERPRO pour le semis de prairie sous couvert renforce également leur intérêt pour augmenter l'autonomie fourragère et/ou protéique dans un contexte de plus en plus marqué par les aléas météorologiques.

The diversity of cereals-legumes mixture forage : an adaptation way for many fodders systems

DAVEAU B. (1), FORTIN J. (1),
(1) Chambre d'Agriculture – Ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou – la garenne de la cheminée – 49220 Thorigné d'Anjou

Summary :

Green winter cereals-legume mixtures are relevant shift to adapt to climate change marked by more frequent summer droughts. By combining analytic trial results and data base analysis, the aim of this synthesis is to suggest a CERPRO typology that allow responding to adapted uses of many fodders systems. Two types of factors have been studied: factors controllable by technical itinerary such as the mixture nature, harvest stage and uncontrollable factors like pedo-climatic conditions. If sowing composition and harvest stage choices allow to order several strategies, climat can impact the productivity and fodders values. The calcium dosage can be a practical approach to try to estimate the legume proportion and consequently the nutritional values to an optimal use of fodder for feeding. Finally, use CERPRO to sow undercover grassland improves their interest in terms of fodder autonomy and/or proteins in circumstance of climate change.

Introduction :

Les associations de céréales/protéagineux (CERPRO) récoltées en fourrage, trouvent une place de plus en plus importante dans les systèmes fourragers en France. Ces cultures d'hiver présentent trois avantages majeurs : i) de contourner la sécheresse estivale avec un semis à l'automne et une récolte au printemps ii) d'accroitre la teneur en protéine du fourrage grâce à la présence de protéagineux iii) maitriser les adventices.

Très couramment utilisés en agriculture biologique et également de plus en plus en conventionnel, plusieurs travaux ont permis de définir des mélanges riches en céréales adaptés à des récoltes en ensilage tardif (stade laiteux/pâteux de la céréale). Sur ces mélanges un maximum de 30 grains (gr) /m² de protéagineux au semis est recommandé pour limiter le risque de verse : un mélange à base de triticale (300gr/m²), pois fourrager (15 gr/m²) et vesce (15 gr/m²) s'est avéré relativement productif et robuste avec une variabilité interannuelle de rendement plus faible que le maïs ensilage (Coutard et *al*, 2014). Plus récemment, des alternatives avec du seigle ou de l'épeautre en substitution du triticale ont été testées. Les résultats se sont avérés plus variables avec le seigle et moins productifs avec l'épeautre (Fortin et *al*, 2018). En ce qui concerne les valeurs nutritives, ces mélanges à dominante céréale récoltés au stade laiteux/pâteux obtiennent des valeurs nutritives adaptées à des animaux à besoins modérés. Quelques essais ont donc exploré la possibilité de récoltes plus précoces avec des mélanges enrichis en protéagineux dans l'objectif d'accroitre la valeur nutritive. Si un gain significatif en termes de teneurs en protéine et énergie est observé, celui-ci s'accompagne cependant d'une chute drastique de la biomasse récoltée (Coutard et *al*, 2016).

Face à ces constats, l'objectif est d'enrichir la gamme des associations utilisables, en appréhendant la variabilité de la productivité et des valeurs nutritives en fonction des itinéraires choisis, pour une transposition de ces CERPRO à de multiples systèmes fourragers. Cette communication propose de présenter les acquis de travaux récents conduits sur la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou autour de 4 clés d'entrée :

i) pour des récoltes tardives à dominante céréale favorable à la productivité: la diversification des céréales (2 à 3 céréales vs céréale seule) est un facteur de robustesse

ii) pour des associations plus qualitatives, quels sont les meilleurs compromis : en termes de nature du mélange (riche protéagineux *vs* mixte céréale/protéagineux) et/ou de stades de récolte : précoce (floraison des protéagineux) *vs* intermédiaire (floraison des céréales vs tardif (laiteux pâteux des céréales) en fonction des objectifs de valorisation zootechnique souhaités et également en termes de performances technico-économiques.

Deux principaux freins à l'utilisation de ces CERPRO sont régulièrement remontés du terrain : forte variabilité des compositions à la récolte et valeurs nutritives décevantes. Ces deux principaux freins ne sont pas sans lien avec la difficulté, sur le terrain, d'évaluer précisément la part de protéagineux récoltée.

Cette communication s'intéresse donc également à :

iii) étudier la variabilité des performances agronomiques de ces mélanges (dont la composition botanique).

iv) proposer une méthode d'évaluation fiable des valeurs nutritives de ces mélanges.

1. MATERIEL ET METHODES

Il est important de considérer que l'ensemble des résultats présentés ci-après est issu de données de la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou conduite en agriculture biologique sur un contexte pédoclimatique limitant, des sols : limoneux-sableux de faibles profondeurs, chargés en cailloux, marqués par l'alternance hydrique : hydromorphes l'hiver et

séchants l'été. Sur la question de la nature et des stades de récoltes des mélanges, les données mobilisées proviennent : de deux essais analytiques (essai 1, essai2), en 4 blocs, répétés 3 ans (2019, 2020, 2021). Une modalité commune à 9 ans (de 2010 à 2018) de 3 essais analytiques a été mobilisée pour mesurer les effets des conditions pédoclimatiques.

1.1. DIVERSIFICATION DES CEREALES POUR DES CERPRO PRODUCTIFS PLUS ROBUSTES

Sur la base d'un essai analytique (essai1), plusieurs natures de mélanges avec une diversité croissante des céréales utilisées ont été testées (tableau 1). Les semis sont réalisés fin octobre (moyenne : au 21 oct) et les mélanges sont récoltés au stade laiteux/pâteux des céréales (moyenne : 11 juin). La modalité M8 dispose d'une prairie à flore variée (PFV) implantée sous couvert.

	M1	**M2**	**M3**	**M4**	**M5**	**M6**	**M7**	**M8**
Modalités Grains/m²	**T**	**T Pf**	**T PfV**	**TA PfV**	**TS PfV**	**TE PfV**	**TSE PfV**	**TSE PfV+**
Triticale T	300	300	300	260	145	145	97	97
Avoine A				30				
Seigle S					145		97	97
Epeautre E						145	97	97
Pois fourrager Pf		20	15	15	15	15	15	15
Vesce V			15	15	15	15	15	15
PFV (kg/ha)								*27*

Tableau 1 : modalités essai 1 diversification céréales **(2019-2021)**

1.2 VERS UN COMPROMIS PRODUCTIVITE/VALEURS

Sur la base d'un essai analytique (essai 2), les semis sont réalisés fin octobre (moyenne : 21 oct). 7 modalités combinant nature des mélanges et stades de récoltes ont été testées (tableau 2).

Grains/m²	**PRO**	**MIX**	**CER**
Triticale		125	300
Avoine	40		
Pois fourrager	15	15	
Pois protéagineux	40		
Vesce	15	15	15
Féverole	10	20	15
+ PFV kg/ha	*27*	*27*	*27*

Tableau 2 : modalités essai 2 nature/stade CERPRO (2019-2021)

Un mélange dit « PRO » à forte proportion de protéagineux au semis, un mélange « MIX » demi-dose de céréale et demi de protéagineux. Ces deux premiers mélanges sont récoltés à trois stades différents, i) stade précoce (floraison des protéagineux), ii) stade intermédiaire (floraison des céréales) et iii) stade tardif (laiteux pâteux des céréales). La dernière modalité « CER » constitue le témoin, un mélange à dominante céréale en récolte tardive. L'ensemble des mélanges CERPRO sont utilisés comme couvert d'une prairie semée à 27 kg/ha.

1.3 MESURES, ANALYSES DES ESSAIS ANALYTIQUES

La biomasse aérienne totale de chaque composante est mesurée à la récolte avec un tri par espèces. Séchés à 60 °c pendant 72 h, ces échantillons permettent, après analyse chimiques pepsine cellulase, (Aufrère, 2007) de calculer les valeurs nutritives de chaque composante. La valeur du mélange en vert est recalculée au prorata de la contribution de chaque espèce. Des valeurs fourragères prédites en ensilage suivant le modèle INRA 2010 sont également proposées.

Les résultats pluriannuels sont analysés statistiquement à l'aide de l'analyse de variance suivant un dispositif à 2 facteurs : modalités et années à 4 répétitions. Un test de comparaison de moyenne (Newman et Keuls au seuil de 5 %) est ensuite réalisé.

Ces analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel STAT BOX ®.

1.4 ETUDE DE LA VARIABILITE DES PERFORMANCES AGRONOMIQUES

Les performances : biomasse, composition à la récolte d'un mélange unique (290 g/m² de triticale), 15 g/m² de pois fourrager) et 15 g/m² de vesce) issu d'essais analytiques conduits sur la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou ont été analysées. En se focalisant sur cette modalité commune répétée pendant 9 ans, l'objectif a été d'identifier des facteurs de variation principalement liés à des conditions pédoclimatiques.

1.5 SYNTHESE DES VALEURS NUTRITIVES

Une base de données issue de plusieurs types de mélanges : CER, MIX, PRO, récoltés à 3 stades, sur 5 années (2014, 2015 et 2019 à 2021) a été mobilisée. Les analyses séparées des espèces constitutives permettent de disposer de 110 valeurs nutritives (27 céréales et 83 protéagineux) correspondantes à 49 mélanges.

2. RESULTATS

2.1. DIVERSIFICATION DES CEREALES POUR DES CERPRO PRODUCTIFS PLUS ROBUSTES

Les résultats de l'essai 1 sont repris au tableau 3.

Modalités	**Moy. Rdt tMS/ha**	***et****	**Moy. Prot % MS**	***et****	**Moy DMO****	**Moy. MAT****
T	8,7	*1,5*	0 ^{c}	*0*	100	100 ^{b}
TPf	9,5	*1,2*	9 ^{b}	*5*	97	105 ^{b}
TPfV	9,3	*1,2*	19^{c}	*7*	99	127 ^{a}
TAPfV	9,6	*1,5*	20 ^{c}	*7*	99	132 ^{a}
TSPfV	9,6	*1,3*	20 ^{c}	*5*	96	129 ^{a}
TEPfV	8,7	*1,4*	23 ^{c}	*11*	97	143 ^{a}
TSEPfV	9,2	*1,3*	23 ^{c}	*10*	95	137 ^{a}
TSEPfV FV	8,6	*1,2*	23 ^{c}	*8*	97	136 ^{a}
STAT	*NS*		*S*		*NS*	*S*

* et : écart type ** : en base 100 du témoin

Les groupes statistiquement différents figurent sous forme de lettres différentes suivant les variables en colonnes.

Tableau 3 : résultats essai 1 diversité céréales (2019-2021)

Sur la biomasse produite aucune différence significative n'apparait en fonction des modalités. Les analyses statistiques par année ont mis en évidence un seuil proche de la significativité en 2020 (p = 0,06) avec un rendement plus faible pour le témoin (M1). La part de protéagineux dans la biomasse récoltée est cohérente avec les densités de semis (0 *vs* 20 grains/m² *vs* 30 grains/m²) avec respectivement 0%, 9% et 21 % en moyenne. Un effet année a été observé avec 18 % en 2019, 30 % en 2020 et 10 % en 2021, sans effet d'interaction année/modalité. En 2020, la productivité de la fraction céréales a été grevée par un hiver humide : 5,2 tMS/ha produite en céréale vs 8,9 tMS/ha (moyenne 2019 - 2021) et a par conséquent accrue la part relative des protéagineux. Dans un mélange, à dominante céréales, la variabilité interannuelle de la part de protéagineux semble donc davantage liée à la performance de la fraction céréale. Des conditions hivernales défavorables aux céréales pénaliseraient leurs productivités et conduiraient à un accroissement de la part de protéagineux.

Sur les valeurs nutritives, la MAT augmente significativement grâce à l'introduction des protéagineux avec une corrélation forte entre la proportion de protéagineux à la récolte et la teneur en MAT. Si cet essai confirme l'intérêt de l'utilisation de protéagineux dans les associations CERPRO pour i) améliorer la valeur protéique et ii) dans une moindre mesurer limiter la variabilité de production (coefficient de variation de rendement interannuelle) : 17 % pour le témoin vs 14 % pour les modalités associées avec protéagineux, la diversification des céréales ne semble pas avoir permis d'améliorer la productivité ou de

réduire la variabilité de cette dernière. Dans notre contexte pédoclimatique, le triticale confirme sa robustesse comme pivot constitutif de ces mélanges à dominante céréale.

2.2 MODIFICATION DE LA NATURE DES CERPRO ET DES STADES DE RECOLTES

Le tableau 4 présente les résultats obtenus sur des critères agronomiques et de valeurs nutritives de mélanges contrastés en termes de stades de récoltes et de natures.

L'accumulation de biomasse est relativement importante sur les CERPRO avec une accumulation de 100 kgMS/ha/j pour le mélange PRO et 110 kgMS/ha/j pour le mélange MIX du stade précoce à tardif. Ces mélanges accumulent un peu plus de 3,0 tMS/ha entre ces deux stades. Il est important de préciser que les récoltes tardives du mélange PRO(1) peuvent néanmoins conduire à une exposition plus forte au risque de verse. Ainsi en 2020, le pourcentage de verse a été estimé à 45 % pour ce mélange en récolte tardive. La part de protéagineux évolue peu, reste stable avec en moyenne : 61 % de protéagineux pour le mélange PRO, 46 % pour le mélange MIX et le témoin (CER) à 27% quel que soit le stade de récolte. La teneur en matière sèche sur pied augmente avec l'avancée du stade. En pratique, si les récoltes tardives permettent une récolte en coupe directe, les stades de récoltes précoces et intermédiaires nécessiteront une étape de préfannage avant ensilage pour assurer un minimum de 30 % de MS à la mise en silo. Les valeurs nutritives baissent avec l'avancée du stade. Ces observations s'expliquent par : une baisse de digestibilité (en particulier des céréales) consécutive à l'évolution des stades (montaison, épiaison, floraison) et une dilution de la matière azotée.

Stade	**Préc. 05 mai**		**Inter 22 mai**		**Tardif 05 juin**			***st at***
type	**PRO**	**MIX**	**PRO**	**MIX**	**PRO(1)**	**MIX**	**CER**	
Rdt tMS/ha *et*	e 5,5 *0,5*	d 6,4 *1,3*	c 7,6 *1,9*	c 7,8 *1,4*	bc 8,5 *2,1*	a 9,7 *2,0*	ab 9,3 *2,2*	*S*
Prot % MS	a 61 *6*	b 47 *11*	a 60 *11*	b 43 *11*	a 61 *5*	b 49 *12*	c 27 *16*	*S*
% MS Vert	b 19,7 *4,3*	b 21,0 *5,4*	ab 24,1 *2,9*	ab 26,1 *0,5*	ab 36,1 *17,0*	ab 36,2 *9,0*	a 40,6 *7,0*	*S*
UFL Vert /kgMS	a 0,95 *0,07*	ab 0,90 *0,03*	ab 0,91 *0,05*	ab 0,89 *0,01*	b 0,85 *0,05*	b 0,84 *0,03*	b 0,82 *0,01*	*S*
MAT Vert g/kgMS	a 149 *11*	a 126 *26*	a 127 *11*	b 98 *9*	b 101 *13*	bc 93 *6*	c 74 *8*	*S*

Les groupes statistiquement différents figurent sous forme de lettres différentes suivant les variables en lignes.

Tableau 4 : résultats essai 2 nature/stade CERPRO 2019-2021

Afin de compléter l'analyse technique, une approche économique des différents itinéraires est proposée dans le tableau 5.

Stade	**Préc. 05 mai**		**Inter 22 mai**		**Tardif 05 juin**		
Type	**PRO**	**MIX**	**PRO**	**MIX**	***PRO***	**MIX**	**CER**
€/ha	589	592	619	622	*609*	612	452
€/tMS	**107**	92	81	79	*72*	**63**	**49**
€/tMAT	716	736	**637**	808	*707*	**674**	655
Strat (1)	**3**		**1**		*verse*	**2**	

Tableau 5 : approche économique essai nature/stade

Les principales modifications des coûts portent sur les charges de semences (hors prairie). Les céréales sont comptées en semence fermière et les protéagineux à l'achat avec peu d'écart sur les deux premiers types de mélanges : 269 €/ha et 272 €/ha respectivement pour le mélange PRO et MIX. Le mélange CER obtient un cout beaucoup plus faible (à 112 €/ha) sur le poste semence. Un léger accroissement du coût de récolte (en €/ha) a également été comptabilisé avec l'avancée du stade de récolte consécutif à l'accumulation de biomasse et la mobilisation d'une chaine de transport plus conséquente.

Au final, 3 stratégies contrastées (1) se distinguent avec : 1) une stratégie équilibre qui consiste à utiliser un mélange PRO avec une récolte intermédiaire, combinant accumulation de biomasse et maintien des valeurs nutritives, elle permet de maximiser la quantité de protéines produites par ha. D'après les valeurs nutritives obtenues en vert, les valeurs prédites sur ces ensilages approcheraient 0,85 UFL/kgMS et 13 à 14% de MAT ; 2) une stratégie biomasse avec un mélange MIX en récolte tardive qui maximise la productivité en tMS/ha, avec des ensilages proches de 0,80 UFL/kgMS et 10 % de MAT et 3) à l'opposé la stratégie « valeur » avec un mélange PRO en récolte précoce, plus couteuse, qui permet d'obtenir des ensilages proches de 0,90 UFL/kgMS et 15 à 16 % de MAT.

2.3 VARIABILITE DES PERFORMANCES DES CERPRO

Sur la biomasse produite (figure 1)

Les deux essais précédents s'intéressent à des facteurs maitrisables par l'itinéraire technique : nature des mélanges et stades de récolte. Les résultats suivants s'intéressent à des facteurs de variation non maitrisables principalement liés à des conditions pédoclimatiques en se focalisant sur la modalité triticale/pois/vesce (TPV) à dominante céréale en récolte tardive commune à 9 ans d'essai. Sur ce jeu de données le taux de moyen de protéagineux est de 26 % (+/- 11 %) soit un coefficient de variation de près de 42 %.

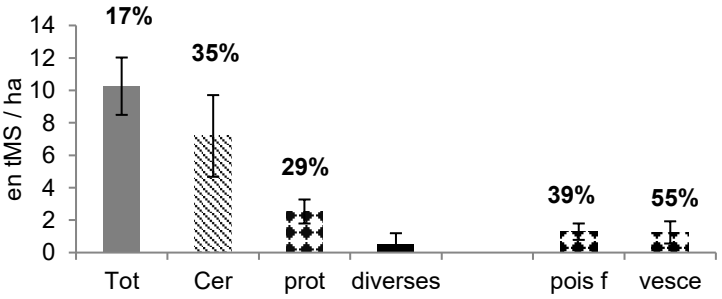
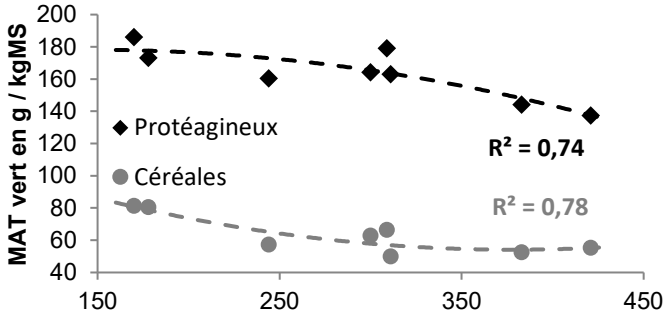


Figure 1 : biomasses produites par composante (début juin) sur un mélange TPV

L'analyse des productions de matières sèches montre des variations plus fortes pour chaque composante que le mélange total, ce qui laisse entrevoir un principe de complémentarité entre les espèces. La variation de production totale des protéagineux est également inférieure à la variation de production de chaque protéagineux.

Enfin, la variation de production de la céréale a été plus forte que la variation du cumul des deux protéagineux. Sur ce mélange à dominante céréale, la variation de la part de protéagineux tiendrait donc davantage de la variabilité de production de la céréale. Corroborant les observations réalisées sur l'essai précédent (2.1), les hivers humides pénalisent la productivité des céréales et accroissent par conséquent la part de protéagineux.

Sur les valeurs nutritives (figure 2)



P : précipitation, ETP : évapotranspiration potentielle

Figure 2 : effet de l'excès d'eau hivernal sur la teneur en MAT de céréales et protéagineux (récoltés début juin)

L'excès d'eau hivernale (appréhendé ici suivant le cumul de P-ETP sur l'hiver) a un impact délétère sur les teneurs en protéines à la fois des céréales mais également des protéagineux. Dans ce contexte de sols sensibles à l'hydromorphie, probablement exposés à une phase « d'asphyxie » en cas d'excès d'eau hivernal, ces observations interrogent sur les mécanismes de mise à disposition d'azote (processus de minéralisation), mais également d'assimilation par les céréales et/ou de fixation symbiotique pour les protéagineux.

2.4 APPREHENDER LES VALEURS NUTRITIVES : DES ASSOCIATIONS CERPRO

Cinétique d'évolution des valeurs nutritives des espèces (figure 3)

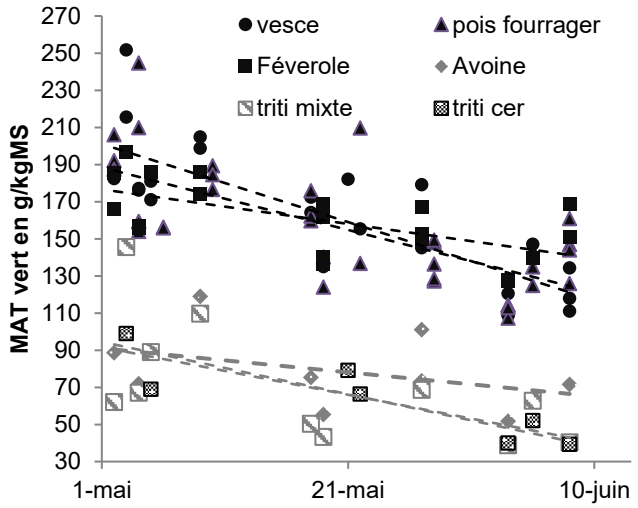


Figure 3 : évolution de la teneur en matières azotées totales

Les teneurs en matières azotées s'avèrent relativement proches pour les protéagineux et logiquement plus élevées que celles des céréales. Ces dernières chutent de façon linéaire de 1,9 g/kgMS/j pour les protéagineux et 1,3 pour les céréales avec l'avancée du stade de récolte. Si la teneur en MAT diminue avec l'avancée du stade de récolte, la variabilité reste importante au sein de chaque stade avec un coefficient de variation proche de 12 % pour les protéagineux et près de 24 % pour les céréales.

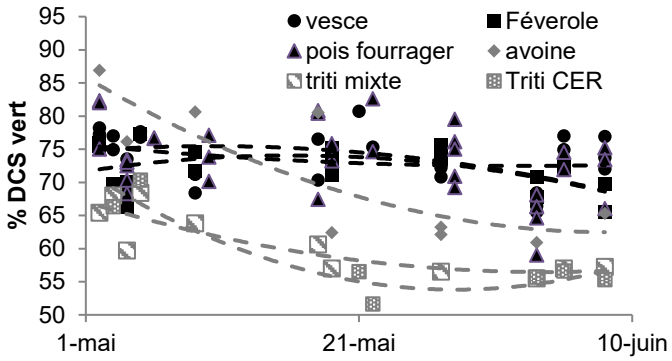


Figure 4 : évolution de la digestibilité

L'évolution de la digestibilité est différente suivant la famille (figure 4). La digestibilité reste stable pour les protéagineux alors qu'elle chute rapidement pour les céréales consécutivement aux phénomènes d'épiaison et de floraison. La variabilité de la digestibilité pour un même stade est plus faible que celle de la MAT avec un coefficient de variation proche de 5 % pour chaque espèce.

Prévision des valeurs nutritives

Dans ces mélanges constitués de plusieurs espèces, des analyses chimiques (par dosage) sont à privilégier. Elles permettent d'avoir une connaissance précise de la constitution chimique. Les questions portent ensuite davantage sur les modèles à utiliser pour évaluer les valeurs nutritives dans les unités (UF, PDI, UE) nécessaires au rationnement des animaux. Les modèles de prédiction à partir d'un échantillon de mélange sont en cours de construction (Maxin et al, 2016). Il s'agit donc pour le moment d'analyser chaque espèce séparément et de recomposer la valeur alimentaire du mélange au prorata de la contribution de chacune d'entre elle à la matière sèche. Ces opérations de tri et de multiples analyses sont difficilement réalisables en pratique. Une méthode dite terrain avec un grappillage dans chaque benne le jour de la récolte avec une analyse du mélange pourrait être envisageable. Dans le cas du mélange, le calcul de DMO (digestibilité de la matière organique, un paramètre central de l'évaluation des valeurs nutritives) peut s'effectuer de la manière suivante : DMO vert % = % CER x (0,630 x DCS vert + 29,7) + % de PROT x (0,949 x DCS vert + 3) / 100 (Aufrère et *al*, 2007). Avec DCS : digestibilité pepsine cellulase obtenue par dosage chimique et DMO, CER et PROT en % de la MS. Pour les prévisions des valeurs en ensilage, le modèle utilisé pour les ensilages d'herbe préfannée s'avère également pertinent pour prédire l'encombrement des ensilages de CERPRO tardif (Daveau et *al*, 2020). Dans ce cas de mélange, l'enjeu principal est donc de renseigner la part de protéagineux. En l'absence de données sur la part de protéagineux, la plupart des modèles se basent sur la teneur en MAT. Ces modèles s'appuient sur l'hypothèse suivante : plus la teneur dosée en MAT est forte, plus la part de protéagineux est élevée (figure 5).

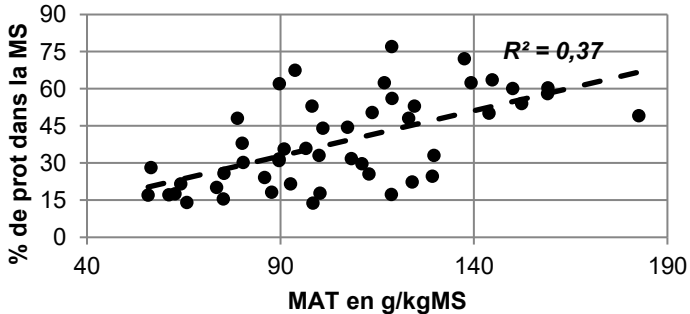


Figure 5 : Corréaltion MAT et % de protéagineux de CERPRO (n=49)

Appliquée à 49 mélanges de CERPRO récoltés sur la ferme expérimentale de Thorigné d'Anjou, la corrélation MAT/part de protéagineux reste limitée (R^2 = 0,37 et l'écart type résiduel élevée = 14). Compte tenu des facteurs identifiés précédemment (incidence de la date de récolte, des conditions météorologiques sur la mise à disposition d'azote), la teneur MAT intrinsèque des deux fractions reste très variable. Les protéagineux disposants d'une teneur en calcium plus élevée que les céréales, une autre piste a été explorée avec le dosage du calcium total. Il s'agit d'étudier la corrélation entre la teneur en calcium total du mélange et la part de protéagineux.

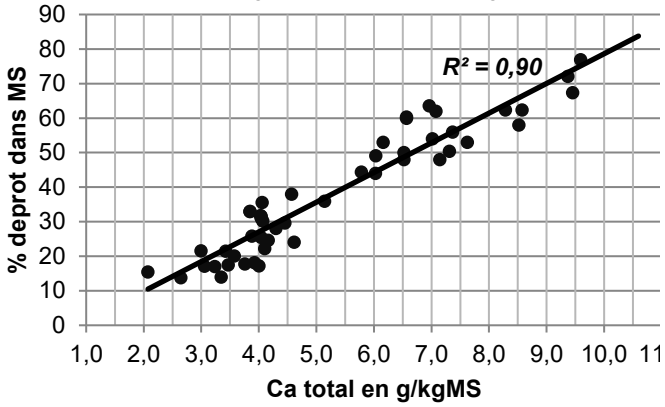


Figure 6 : Corrélation calcium total et % de protéagineux de CERPRO (n=49)

La corrélation est plus forte (R^2 = 0,90 avec un écart type résiduel réduit = 6,0), (figure 6). Les teneurs en calcium sont effectivement faibles pour les céréales (2,3 g/kgMS +/- 0,7 en moyenne pour l'avoine et le triticale) et plus élevées pour les protéagineux, avec (11,5 g/kgMS +/- 2 en moyenne pour les vesces et pois fourrager) et (7,7 +/- 1 pour la féverole).

3. SYNTHESE DISCUSSION, PERSPECTIVES

Ces travaux permettent d'établir une « typologie » (tableau 6) des associations céréales/protéagineux récoltées en fourrages en fonction de la dose de semis, du stade de récolte : plusieurs mélanges peuvent s'avérer pertinent en fonction des systèmes fourrages et des performances animales souhaitées.

Une récolte tardive est à privilégier avec l'utilisation d'un mélange à dominante céréale (CER). Le gain de valeurs nutritives est trop modeste pour des stades de récolte plus précoce face à la chute importante du rendement [(1)]. Les mélanges mixtes (MIX) peuvent obtenir des valeurs nutritives élevées en récolte précoce mais les teneurs chutent rapidement en mai. Dans un objectif de maximisation de la biomasse, des récoltes tardives sont donc à privilégier avec ces mélanges productifs à réserver à des catégories animales à besoins modérés (vaches allaitantes, animaux en croissance). A l'inverse, des mélanges enrichis en protéagineux (PRO) obtiennent des valeurs nutritives élevées en récolte précoce (proche de 15 % de MAT et 0,90 UFL/kgMS). Leurs utilisations pour des récoltes tardives exposent par contre à des risques de verse plus importants [(2)]. Ces récoltes : plus précoces, moins productives, plus qualitatives mais également plus couteuses seront à réserver aux animaux à forts besoins (vaches laitières, animaux à l'engraissement). Sur le plan agronomique, les travaux en cours s'orientent vers l'utilisation d'une part plus significative de féverole (espèce non sensible à la verse) dans la composition des CERPRO. L'hypothèse s'appuie sur la possibilité d'accumuler de biomasse avec des récoltes tardives, de conserver des valeurs nutritives satisfaisantes sans s'exposer à la verse. Ces mélanges enrichis en féverole pourraient permettre de répondre à la fois à des enjeux d'autonomie fourragère et protéique. De plus, ces travaux ont également permis de mieux comprendre la variabilité des performances de ces associations. Si les CERPRO permettent effectivement de contourner la sécheresse estivale, dans des contextes de sols hydromorphes, l'excès d'eau hivernale semble tout de même avoir un effet délétère sur la productivité et les valeurs azotées de ces mélanges. Une analyse des valeurs nutritives est donc indispensable pour une utilisation optimale. L'utilisation du modèle Aufrère 2007 est un moyen efficace pour obtenir une estimation fiable avec un échantillonnage « pratique » de terrain d'un mélange représentatif de la parcelle par grappillage à la récolte. Il nécessite cependant un renseignement suffisamment précis du taux de protéagineux. Ce dernier (dans des sols non carbonatés) semblerait pouvoir s'approcher de manière fiable grâce au dosage du Calcium totale sans recourir au tri.

Enfin, ces associations céréales/protéagineux trouvent une place particulièrement cohérente dans les systèmes fourragers grâce à leur utilisation comme couvert pour l'implantation des prairies. Avec une modification des itinéraires techniques, notamment des périodes de semis, l'implantation de prairie sous couvert de CERPRO représente une solution intéressante pour : i) contourner la sécheresse estivale avec des semis à la mi-octobre, ii) produire une ressource fourragère supplémentaire dès la première année, iii) garantir une implantation réussie des prairies. Après la récolte des CERPRO, en termes de rotation, cette technique permet également d'éviter le semis de couverts estivaux souvent hypothétiques en termes de réussite, en particulier dans les sols à faible réserve hydrique. De précédents travaux (2011 à 2015) ont démontré la possibilité d'implanter des prairies sous couvert d'associations CERPRO à dominante céréales en récolte tardive (Daveau et *al*, 2018). Des résultats plus récents semblent démontrer la possibilité d'implanter des prairies sous couvert sous la gamme variée des associations CERPRO présentés précédemment. Cette technique renforce un peu plus l'intérêt de ces associations céréales/protéagineux dans leur capacité à accroitre l'autonomie fourragère et/protéique dans un contexte de plus en plus marqué par les aléas météorologiques. Enfin, l'utilisation optimale de ces fourrages pour la recherche d'autonomie et de sécurité alimentaire des systèmes de production, semble passer par l'accumulation de biomasse courant mai avec une maximisation de la performance par hectare (UF, MAT produits) et une dilution des coûts. Avec cette stratégie, les valeurs alimentaires des fourrages obtenus ne sont pas toujours en adéquation avec la recherche d'une performance animale élevée. Cette observation repose plus globalement la difficulté à concilier : recherche d'autonomie des systèmes d'élevage par la voie fourrage et maintien d'une productivité animale élevée.

Type *%prot récolte*	**Stade**	**Précoce** 05 mai	**Inter.** 22 mai	**tardif** 05 juin
	tMS/ha	**4,5 - 5,5**	**6,0 - 7,5**	**8,0 - 9,0**
PRO *55 - 65*	% mat	14,5 - 16,5	12,5 - 14,5	*11,0 - 12,0 [(2)]*
	UFL /kgMS	0,87 - 0,92	0,84 - 0,88	*0,80 - 0,84*
MIX *45 - 55*	% mat	14,0 - 16,0	11,0 - 12,0	10,0 - 11,0
	UFL /kgMS	0,85 - 0,90	0,80 - 0,85	0,78 - 0,83
CER *15 - 30*	% mat	*10,5 - 12,5 [(1)]*	*10,0 - 11,0 [(1)]*	9,0 - 10,0
	UFL /kgMS	*0,85 - 0,90*	*0,78 - 0,80*	0,76 - 0,78

Tableau 6 : typologie des CERPRO suivant : la nature du mélange et le stade de récolte.

Cette étude a été réalisée avec la participation financière de la Région Pays de la Loire.

Aufrère J., Baumont R., Delaby L., Peccatte J.-R., Andrieu J., Andrieu J.-P., Dulphy J.-P., 2007. INRA *Prod.Anim*. 20(2), 129-136

Coutard J.-P., Fortin J., 2014, *Renc, Rech. Ruminants,* 21, 93-96

Coutard J.-P., Fortin J., 2016, *Renc, Rech. Ruminants,* 23, 282

Daveau B., Fortin J., 2018, *Journées AFPF,* 126-127

Fortin J., Daveau B., 2018, *Journées AFPF,* 124-125

Fortin J., Daveau B., Jouanin E., Jehan G, 2020, *Renc, Rech. Ruminants,* 25, 228

Maxin G., 2016, *Journées AFPF,* 226-127

DERObées estiVALes au pâturage, en Région Centre Val de Loire : DEROVAL
Grazing on summer catch crops in the Loire Valley region: DEROVAL

DUCHENE D. (1), DAVID S. (2), SAVOIE A. (1), VENTURI E. (1), STAUB C. (1)
(1) INRAE, UE 1297, Unité Expérimentale Physiologie Animale de l'Orfrasière, 37380 Nouzilly, France
(2) Chambre d'agriculture d'Indre et Loire, 38 rue Augustin Fresnel - BP 50139. 37171 Chambray les tours

INTRODUCTION

Une dérobée estivale est une culture s'interposant entre deux cultures principales afin d'être récoltée via une fauche et/ou du pâturage (Legendre, 2018). L'essai DEROVAL 2020 vise à répondre aux problèmes posés par le dérèglement climatique et permet de tester des espèces exotiques en les plaçant dans les meilleures conditions de culture possible.

1. MATERIEL ET METHODES

- L'implantation de l'essai se situe en Indre et Loire (37) sur la commune de Nouzilly. Les trois parcelles retenues ont une surface totale de 8,76 hectares. Le type de sol est limoneux argileux à tendance hydromorphe (drainé)
- Les brebis multipares ont été sélectionnées au sein d'un groupe de 150 brebis afin de constituer 3 lots homogènes et de disposer d'un chargement de 13 brebis par hectare. Nous avons choisi des brebis juste après une phase de 3 mois de lactation, après le sevrage, à un stade physiologique où les animaux ont des besoins énergétiques élevés pour la reconstitution des réserves corporelles (Hazard, 2018)
- Le dispositif comporte trois modalités (tableau 1) :
  - Une modalité témoin en prairie temporaire (P)
  - Un mélange de Moha/Lablab/Cowpea (MLC)
  - Une modalité en Teff Grass (TG)

Modalités	Surface (ha)	Espèce	Variété	Semencier	Dose (kg/ha)
P	2,93	Fétuque/ dactyle			25
MLC	3,38	Moha	Tardivo	Caussade semence	10
		Lablab	Rongaï	Semental	7,5
		Cowpea	Black Stallion	Semental	7,5
TG	2,46	Teff Grass	Moxie	Barenbrug	10

Tableau 1 : Modalités et densité de semis

- Un suivi régulier et individuel du poids des animaux a été effectué au moment de la constitution des lots (15/06), avant la mise au pâturage dans le dispositif (09/07), puis une fois par mois jusqu'à la fin de l'essai le 30/09 (cage avec barres de pesée Baléa)
- Les mesures d'épaisseur de tissu adipeux sous cutané ont été réalisées par échographie à l'aide d'un appareil MyLab30 Vet gold de Piemedical utilisant une sonde linéaire LA332 3-10MHz (Hospimedi France, Valdampierre, France). Les mesures ont été effectuées au niveau de la région dorso-lombaire, afin de réaliser une coupe sagittale du gras sous cutané et du muscle long dorsal (Staub, 2019)

2. RESULTATS

2.1. GESTION DU PATURAGE

Les trois lots de brebis sont entrés simultanément dans le dispositif le 15/07/20 pour une durée de douze semaines :
- Le lot témoin (P) a été autosuffisant jusqu'au 09/09/20. Les animaux ont ensuite été affouragés en foin exogène pour pouvoir rester dans la parcelle test jusqu'au 30/09/20
- Le lot (MLC) n'a pas profité d'un mélange assez dense (levée et aléatoire du mélange) et le pâturage a été limitant, malgré une gestion en pâturage tournant et une fauche des deux tiers de la modalité afin de constituer un stock qui a été redonné le 12/08/20. La faible quantité récoltée en enrubannage (0,7 T de MS/Ha) n'a pas permis l'autosuffisance des animaux dans cette parcelle (affourragement au 09/09/20)
- Le lot (TG) a été autonome jusqu'à la fin du dispositif le 30/09/20 grâce au pâturage et à la constitution d'un stock de fourrage enrubanné le 21/07/20 (2,5 T de MS/ha).

2.2. MESURES

Le tableau 2 résume les différentes mesures effectuées sur le dispositif « DEROVAL »
- Valeurs alimentaires : le suivi de la valeur alimentaire des fourrages a révélé un bon niveau de protéine (Matière Azotée Totale) pour les dérobées estivales par rapport au témoin prairie (analyse à l'entrée des animaux dans le dispositif).
- Poids : il y a une évolution significative du poids des animaux en fonction du temps pour les animaux des 2 lots de dérobées estivales, contrairement à la prairie qui n'a pas évolué.
- Epaisseur gras dorsal par échographie : Les résultats montrent une augmentation du gras dorsal par rapport au début de l'expérimentation. Cette prise d'état est significativement différente (p=0,0001) entre les lots avec un avantage aux lots TG et MLC par rapport à la prairie.

	MAT (%)	Evolution du poids moyen/lot (kg) Moyenne ± SEM				Gras dorsal (mm) Moyenne ± SEM	
Date	15/07	09/07	07/08	27/08	30/09	09/07	30/09
P	9,8	62 ±6 (a)	63 ±6 (a)	62 ±6 (a)	65 ±6 (a)	1,6 ±0,8 (a)	3,2 ±1,6 (b)
MLC	18,6	62 ±5 (a)	67 ±4 (b)	64 ±5 (b)	68 ±6 (c)	1,5 ±0,6 (a)	5,0 ±1,6 (b)
TG	23,1	61 ±6 (a)	64 ±6 (a)	68 ±6 (b)	70 ±6 (c)	1,6 ±0,9 (a)	7,3 ±2,2 (b)

Tableau 2 : *Résultats valeurs alimentaires, pesées et échographies du dispositif « DEROVAL ».* Moyennes a, b, c, différences significatives en fonction du temps avec p<0,05.

3. CONCLUSION

L'alternance de fauche et de pâturage tournant a permis à la modalité « Teff gras » uniquement, d'atteindre l'autonomie fourragère sur la durée du dispositif et d'assurer la remise en état rapide des animaux. Au stade épiaison, la technique de fauche des refus pendant la période sèche (*topping*) a permis de faire manger la biomasse coupée au sol (augmentation de l'appétence). L'inconvénient majeur des dérobées estivales, qui ont tendance à mal supporter le piétinement des animaux en raison de leur faible encrage racinaire, a été contourné par la technique du pâturage tournant qui permet de varier les zones d'abreuvement et donc de limiter ce problème.
Dans le contexte de notre expérimentation en 2020, avec 35% de précipitations en moins (par rapport à la moyenne sur 30 ans) sur la période étudiée (du semis à la fin de l'essai), seul le Teff Grass a permis une augmentation de la ressource fourragère en qualité et quantité, permettant la gestion d'un lot de brebis en total autonomie.

Les auteurs remercient le personnel INRAE de l'UEPAO pour la rigueur apportée tout au long de l'essai.

Hazard, D. (2018). Variations des réserves corporelles chez les ovins : nouveau critère de sélection? *Pastoralisme et races locales.* Oléron-Sainte-Marie.
Legendre, A. (2018). Fourrages complémentaires, méteils, dérobées… de quoi parle-t-on ? *Journée de Printemps, AFPF.*
Staub, C. (2019). Ultrasonographic measures of body fatness and their relationship with plasma levels and adipose tissue expression of four adipokines in Welsh pony mares. Domestic Animal Endocrinology, Elsevier, pp.75 - 83

Effet de Sulla flexuosa (*Hedysarum flexuosum*) sur le profil en acides gras du lait de chèvres de race Beni Arouss au Nord du Maroc

Effect of Sulla flexuosa (Hedysarum flexuosum) on the fatty acid profile of milk from Beni Arouss goats in northern Morocco

BOUKROUH S. (1,2), HORNICK J.L. (1), NOUTFIA A. (2), AVRIL C. (3), CABARAUX J.F. (1), CHENTOUF M. (2)

(1) Département de Gestion Vétérinaire des Ressources Animales, FARAH, Faculté de Médecine Vétérinaire, ULiège, 4000 Liège, Belgique

(2) Institut National de la Recherche Agronomique, Tanger, Maroc

(3) HEPH Condorcet, catégorie agronomie, Ath, Belgique

INTRODUCTION

Dans le nord du Maroc, l'alimentation des chèvres est basée sur les pâturages qui sont caractérisés par une disponibilité limitée de fourrage (Chebli et *al.*, 2018). Sulla flexuosa est une légumineuse annuelle marginale largement répandue dans le nord du Maroc (Boukrouh et *al.*, 2018). Les espèces appartenant à son genre sont connues par un taux élevé en protéines (Amato et *al.*, 2016) et en tannins qui peuvent influencer la qualité des produits animaux, notamment la composition chimique et le profil en acides gras (Cabiddu et *al.*, 2009). Les effets de Sulla flexuosa sur le profil en acides gras du lait de chèvre seront étudiés pour la première fois dans cet article.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. ANIMAUX EXPERIMENTAUX ET RATIONS

Trente chèvres locales de Beni Arouss ont été réparties en trois groupes. Le ratio fourrage/concentré a été 70/30. Le groupe témoin a reçu une ration à base de foin de luzerne (45%) et 25% de paille de blé **(T)**; les groupes expérimentaux ont reçu soit 70% de foin de Sulla flexuosa **(S70),** soit 35% de foin de Sulla flexuosa, 22,5% de foin de luzerne et 12,5% de paille de blé **(S35)**.tous les groupes avaient reçu des grains d'orge et d'avoine pour la 30% de concentrés dans la ration.

	Ration			p-value
	S70	**S35**	**T**	
Production laitière (g/j)	651,4	659,9	625,0	0.930
Matière grasse (%)	2.16	2.32	2.24	0.876
AGMI (%)	36,89^{a}	34,29^{ab}	29,72^{b}	0,035
AGPI (%)	8,26^{a}	5,55^{b}	5,83^{b}	0,002
AGMI/AGS	0,70^{a}	0,60^{ab}	0,52^{b}	0,003
AGI/AGS	0,86^{a}	0,76^{ab}	0,62^{b}	0,001
AGD (%)	52,46	47,05	47,35	0,516
ω3 (%)	3,92^{a}	2,38^{b}	1,86^{b}	<0,001
ω9 (%)	32,57^{a}	30,79^{ab}	26,04^{b}	0,025
IA	1,22	1,33	1,67	0,110
IT	1,17^{b}	1,40^{b}	1,79^{a}	<0,001
ω6/ω3	1,08^{b}	1,40^{ab}	2,11^{a}	0,005
Δ9C14	0,07^{a}	0,05^{ab}	0,04^{b}	0,006
Δ9C18	0,76^{a}	0,71^{ab}	0,67^{b}	0,004

Tableau : ratios et indices d'acides gras dans la matière grasse du lait de chèvre en fonction de la ration alimentaire

1.2. PROFIL EN ACIDES GRAS

La graisse du lait a été extraite selon la méthode de Barbano et *al* (1988) en utilisant l'éther de pétrole. Les acides gras ont été trans-methylés et à l'aide de la CPG ils ont été identifiés par comparaison avec un mélange analytique standard d'AG en C4 à C24 (FAMEs Sigma-Aldrich, Darmstadt, Allemagne).

2. RESULTATS

L'incorporation de 70% de Sulla flexuosa n'avait eu aucun effet ni sur la production laitière ni sur le taux de matière grasse. Cependant, elle a augmenté les AG monoinsaturés et polyinsaturés, les AGMI/AGS, les AGI/AGS, les AG ω3, les AG ω9, les Δ9C14 et les Δ9C18. En revanche, elle a diminué le rapport ω6/ ω3 et l'indice thrombogène (IT).

L'incorporation partielle de 35 % de sulla flexuosa a diminué les AGPI, ω 3 et l'IA alors qu'elle était intermédiaire pour les AGMI, AGMI/AGS, AGI/AGS, w9, ω6/ω3, Δ9C14 et Δ9C18.

3. DISCUSSION

L'augmentation des AGMI et des AGPI est probablement due à l'inhibition de la biohydrogénation des acides gras par les tannins présents dans le Sulla flexuosa (Vasta et *al.*, 2019). La diminution des AGPI et des acides gras ω3 indique qu'une incorporation de 35% de Sulla flexuosa n'est pas suffisante si l'objectif était d'augmenter les acides gras mono et polyinsaturés. Cependant, les acides gras désirables (AGD) et l'indice d'athérogénécité (IA) n'étaient pas significativement différents entre les groupes.

CONCLUSION

Nous concluons donc que le Sulla flexuosa est non seulement une alternative économique et écologique à la luzerne, mais qu'elle a des effets positifs sur le profil des acides gras du lait.

Amato G., Giambalvo D., Frenda A.S., Mazza F., Ruisi P., Saia S., Di Miceli G., 2016. Bioenergy Res. 9, 711–719. https://doi.org/10.1007/s12155-016-9715-5

Barbano, D.M.; Clark, J.L.; Dunham, C.E., 1988. AOAC, 71, 898–914.

Boukrouh S., Avril C., Cabaraux J.F., Chentouf M., 2018. *Proceedings of the 7th FARAH Day.Liège, Belgium.*

Cabiddu A., Molle G., Decandia M., Spada S., Fiori M., Piredda G., Addis M., 2009. Livest. Sci. 123, 230–240. https://doi.org/10.1016/j.livsci.2008.11.019

Chebli Y., Chentouf M., Ozer P., Hornick J.L., Cabaraux J.F., 2018. Appl. Geogr. 101, 23–35. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.10.006

Vasta V., Daghio M., Cappucci A., Buccioni A., Serra A., Viti C., Mele M., 2019. J. Dairy Sci. 102, 3781–3804. https://doi.org/10.3168/jds.2018-1498

Etude de la dégradabilité ruminale de l'amidon et des protéines du maïs épi ensilé
Study of starch and protein ruminal degradability of corn snaplage

CHAUVEAU H. (1), HODE D. (1), BOISNEAU A. (1), PIRAUBE E. (2)
(1) ARVALIS-Institut du Végétal, Station expérimentale de la Jaillière, F-44370 Loireauxence
(2) GERM-SERVICES, 23 chemin de Pau, F-64121 Montardon

INTRODUCTION

La valeur nutritive de l'ensilage de maïs épi a été peu étudiée, en particulier la cinétique de dégradation de cet aliment dans le rumen ainsi que sa variabilité présumée liée à divers facteurs : stade de maturité, part de grains dans l'épi, génétique, conditions pédoclimatiques et durée de conservation. INRAE propose une référence pour cet aliment dans les tables (INRA 2018). Un essai a donc été mis en place sur la station expérimentale ARVALIS Institut du végétal de la Jaillière afin d'acquérir des références sur la cinétique de dégradation de la matière sèche (MS) et ses composantes (amidon, protéines) du maïs épi ensilé.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1 BASE DE DONNEES DE COMPOSITION

Une base de données de 408 analyses de composition chimique de maïs épi ensilé issues de mesures réalisées par le laboratoire Germ-Services et Arvalis entre 2010 et 2021 a été analysée en comparaison du référentiel INRAE.

1.2 L'ESSAI IN SACCO

Des prélèvements de maïs épi ont été réalisés à la récolte sur 5 parcelles en 2019 et en 2020. Les échantillons ont été conservés par ensilage en bocaux durant 60 et 180 jours.
Un essai sur animaux a été mené sur la station de la Jaillière. La dégradabilité ruminale de la MS, de l'amidon et de la MAT a été mesurée selon la méthode des sachets de nylon pour 7 temps d'incubation dans le rumen (0, 2, 4, 8, 24, 48 et 72 h) avec 6 répétitions (3 vaches ; 2 séries). La dégradabilité théorique de la MS (DT_6_MS), de l'amidon (DT_6_AMI) et de l'azote (DT_6_N) a été calculée par la méthode pas à pas pour un taux de sortie du rumen de 6 %.h^{-1}. La dMO a été estimée à partir de la dMO *in sacco* prédite avec les paramètres ajustés sur maïs fourrage (Férard *et al.*, 2014).
L'effet de la conservation sur la dégradabilité a été analysé avec une ANOVA contenant les effets année de récolte et durée de conservation. La valeur nutritive a ensuite été calculée à partir des équations INRA 2018 avec les paramètres mesurés *in sacco*.

2. RESULTATS

2.1 COMPOSITION CHIMIQUE DU MAÏS EPI

Les teneurs en MS et en amidon observées dans la base de données sont supérieures au référentiel INRAE, et les teneurs en fibres inférieures. Ceci suggère que les pratiques de récolte sont plus tardives et/ou que le ratio grains/épi est plus élevé dans les élevages (Tableau 1).

	Moyenne	Ecart-type	INRA 18
Teneur MS (%)	58,9	6,2	53,0
Cendres (g/kg MS)	20	9	19
Amidon (g/kg MS)	575	62	560
MAT (g/kg MS)	79	8	83
NDF (g/kg MS)	219	38	318
ADF (g/kg MS)	98	27	104
CB (g/kg MS)	78	21	90
DCS (%)	86,2	4,3	

Tableau 1 : Composition chimique du maïs épi (n=408 analyses)

2.2 DEGRADABILITE RUMINALE DU MAÏS EPI

La composition chimique des échantillons de maïs épi a été distincte entre les 2 années (2019 : 47,9 % amidon, 27,5 % NDF, 8,9 % MAT ; 2020 : 54,9 % amidon, 23,0 % NDF, 7,4 % MAT). Un effet significatif du cru de maïs épi a été observé sur l'ensemble des critères mesurés ou calculés dans le tableau 2. La maturité du grain plus avancée et la plus faible teneur en grains en 2019 par rapport à 2020 a significativement diminué la dégradabilité de la MS de 14,8 pts (*P<0,001*). Celle de l'amidon a été diminuée de 13,6 pts (*P<0,001*) et celle de l'azote de 11,6 pts (*P<0,001*). Le plus faible ratio grain/épi en 2019 a pénalisé la teneur en énergie de 0,13 UFL/kg MS (*P<0,001*).
Entre la récolte et 60 jours de conservation par ensilage (n=3 comparaisons), la dégradabilité de la MS a augmenté de 13,2 pts (*P<0,01*), celle de l'amidon de 17,8 pts (*P<0,01*) et celle de l'azote de 27,0 pts (*P<0,001*).
Entre 60 et 180 jours de conservation par ensilage (n=5 comparaisons), la dégradabilité de la MS a augmenté de 7,1 pts (*P<0,01*), celle de l'amidon de 10,2 pts (*P<0,01*) et celle de l'azote de 9,4 pts (*P<0,01*). L'augmentation de la DT_6_AMI de 0,085 pt par jour de conservation est supérieure à celle observée sur maïs plante entière (Férard et al., 2016). Bien que la MS soit plus rapidement dégradable après 180 jours de conservation, la valeur énergétique du maïs épi ne semble pas modifiée entre 60 et 180 jours de conservation.

Durée de conservation	60 j (n=5)	180 j (n=5)	Pv(durée)	ETR
Dég. MS 4h (%)	48,0	57,2	*	4,4
Dég. MS 48h (%)	85,0	85,9	NS	1,1
DT_6_MS (%)	58,4	65,5	**	3,1
DT_6_AMI (%)	72,4	82,6	**	3,4
DT_6_N (%)	68,5	77,9	**	2,9
dMO in sacco (%)	76,2	77,1	NS	1,1
MOF (g/kg MS)	554	589	*	20
UFL (/kg MS)	1,04	1,05	NS	0,02
PDI (g/kg MS)	72	68	**	1
BPR (g/kg MS)	-38	-34	NS	4

Tableau 2 : Dégradabilité ruminale et valeur nutritive du maïs épi

3. DISCUSSION – CONCLUSION

Cette étude a mis en avant la forte variabilité de composition chimique et de valeur nutritive du maïs épi ensilé malgré le nombre restreint de modalités testées. Les conditions pédoclimatiques, le stade de maturité du grain et la durée de conservation semblent avoir un impact significatif sur la cinétique de dégradation de la MS, de l'amidon et de l'azote. La faible dégradabilité de l'amidon constatée sur des maïs épi récoltés à des stades tardifs confirme la nécessité d'appliquer un éclatement intense (rouleaux éclateurs en bon état et serrés au maximum) sur les grains, dont la proportion d'amidon vitreux est généralement très élevée. La forte augmentation de la MS rapidement dégradable avec la durée de conservation implique de le prendre en compte pour le rationnement des ruminants, à l'instar du maïs fourrage plante entière. Des essais complémentaires seront nécessaires afin de préciser ces effets et d'explorer l'impact du type de grain sur les paramètres de dégradabilité, puis proposer une prédiction de valeur nutritive pour cet aliment.

Les auteurs remercient le personnel de la Jaillière ayant contribué à l'essai.

Férard et al., 2014. Actes Journées AFPF, 156-157
Férard A. et al., 2016. 17th ICFC, 157-158.
INRA, 2018. Ed. Quae, 728

Hedysarum flexuosum ; ressource végétale d'intérêt fourrager à valoriser
Hedysarum flexuosum; valorization of a fodder resource

ZIRMI-ZEMBRI N. (1), DORBANE Z. (1), MOUHOUS A. (1), SAIDJ D. (2), KADI S.A. (1)
(1) Faculté des Sciences Biologiques et Sciences Agronomiques, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie
(2) Institut des Sciences Vétérinaires, Université Saad DAHLAB, Blida, Algérie

INTRODUCTION

Les filières des productions animales ne couvrent pas les besoins de la population algérienne en protéines animales. Déjà, en 1948, Laumont a signalé le problème de l'affourragement du cheptel Algérien et qui, malheureusement, persiste à ce jour et devient un déficit fourrager chronique (Houmani, 1999). Une des solutions alternatives consiste à exploiter certaines espèces végétales spontanées qui sont adaptées aux contraintes environnementales et apportant des rendements et valeur nutritive identiques, voir meilleures que certaines espèces cultivées (Zirmi-Zembri et Kadi, 2016). Parmi ces espèces, ***Hedysarum flexuosum*** connue également sous le nom d'*Hedysarum algeriense* Pomel ou *Sulla flexuosa*, et communément appelée Sulla qui est au centre d'intérêts du laboratoire de nutrition animale et produits animaux à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie), et ce depuis 1996.
Ce travail a pour objectif de mettre en valeur les atouts fourragers de cette légumineuse en alimentation animale.

1. MATERIEL ET METHODES

Les données exploitées dans ce travail sont les différents travaux réalisés au laboratoire de nutrition animale et produits animaux à l'université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou (Algérie) dans le but de la caractérisation, conservation et valorisation d'*Hedysarum flexuosum*. Le matériel végétal étudié provient d'une population de la région d'Ait Toudert au Sud de la wilaya de Tizi Ouzou (36 32 N, 4 08 E). La récolte s'est effectuée à quatre stades phénologiques distincts (bourgeonnement, floraison, gousses vertes et maturation des graines). Pour chaque stade étudié, nous avons prélevé aléatoirement 8 plants entiers par stade. Les échantillons prélevés, ont été séchés dans une étuve réglée à 60°C pendant 48 h puis broyés. Nous avons mélangé les 8 broyats de chaque stade phénologique pour constituer un « échantillon homogène ». Chaque échantillon dit homogène et représentatif a servi pour les analyses de la composition chimique (avec 3 répétitions), à savoir : les teneurs en matières sèche et minérale (MS, MM), la cellulose brute (CB), la fraction fibreuse au détergeant neutre et acide (NDF et ADF), la matière azotée totale (MAT), la matière grasse (MG) en utilisant l'analyseur proche Infrarouge DA 7250 NIR. La teneur en matière organique (MO) est déduite de la teneur en matière minérale (MO=MS-MM). Afin de prédire les valeurs énergétiques (UFL, UFV) et protéiques (PDIN, PDIE) du Sulla flexuosa à partir de sa composition chimique, nous avons utilisé les équations de prédiction de valeur nutritive.

2. RESULTATS

L'exploitation des résultats des différents travaux réalisés au sein de notre laboratoire sur *Hedysarum flexuosum* fait ressortir que cette légumineuse est très utilisée par les éleveurs de la région, où elle est présente dans une vingtaine de communes (Zirmi-Zembri et Kadi, 2020a), pour l'alimentation des ruminants, surtout des vaches laitières, mais aussi des équins et des lapins, et ce grâce à sa richesse en énergie et en protéines (Tableau 1).
Les stades d'utilisation par les éleveurs du Sulla flexuosa en vert s'étale de la fin du stade végétatif (avec un rapport feuilles /tiges au poids frais de 2,03 et 3,19 au poids secs) signalés par Zirmi-Zembri et Kadi (2020b) jusqu'au stade gousse vertes, alors que le foin est récolté au stade maturation des graines.
La grande majorité des éleveurs distinguent la forme mixte des populations de Sulla qui se caractérisent par un port orthotrope avec des ramifications plagiotropes intenses et des feuilles à nombre élevé de folioles (Zirmi-Zembri et kadi, 2019). Ce caractère est d'une grande importance pour l'exploitation de ce fourrage en permettant des modes de fauchage manuel et/ou mécanique et assure un pâturage hivernal et printanier de bonne valeur nutritive. C'est la totalité des éleveurs de la région qui utilisent Sulla flexuosa en alimentation animale (en sec et en vert).

	Stade 1	Stade 2	Stade 3	Stade 4
MS (%)	11,88	14,34	22,52	87,82
MO (% MS)	90,19	90,83	92,82	92,89
MAT (% MS)	21,83	19,22	12,33	11,21
NDF (% MS)	53,33	52,78	46,72	49,91
ADF (% MS)	31,26	31,04	26,99	29,34
CB (% MS)	25,09	25,86	25,55	29,68
MG (% MS)	1,98	1,94	1,97	1,89
UFL (/kg MS)	0,85	0,82	0,80	0,71
UFV (/kg MS)	0,77	0,72	0,71	0,61
PDIN (g/kg MS)	140,33	122,8	79,15	73,16
PDIE (g/kg MS)	96,13	91,31	82,09	79,98

Stade 1 : Bourgeonnement. Stade 2 : Floraison
Stade 3 : Gousses vertes. Stade 4 : Maturation des graines

Tableau 1 Composition chimique et valeur nutritive du *Sulla flexuosa*

3. DISCUSSION-CONCLUSION

Il en ressort de ce travail, qu'*Hedysarum flexuosum*, légumineuse fourragère spontanée utilisée en alimentation des ruminants dans le centre nord algérien, est une très bonne source d'énergie et de protéines.
La conjugaison des résultats de la recherche scientifique (sur la morphologie, la phénologie, la biochimie et la valeur nutritive) et du savoir traditionnel et ancestral doit être le socle de tous les programmes de préservation, de sélection, d'amélioration génétique débouchant sur la domestication de *H. flexuosum*.
Dans un contexte de réchauffement climatique et la nécessité d'assurer la sécurité alimentaire, il est impératif de valoriser certaines espèces spontanées qui apportent de bonnes valeurs nutritionnelles sans apport d'irrigation ou d'engrais. Les apports d'*Hedysarum flexuosum* en alimentation des ruminants sont remarquables.

Houmani, M. 1999. Recherches Agronomiques, 4 ; 35-45.
Laumont P. 1948. Délégation générale en Algérie, Direction de l'agriculture et des forêts, Série N°8.
Zirmi-Zembri, N., Kadi, S. A. 2016. *Livest. Res. Rural Dev.* 28(145)
Zirmi-Zembri, N., Kadi S. A. 2019. FAO-CIHEAM Subnetwork. pp. 605-609.
Zirmi-Zembri, N., Kadi, S. A. 2020a. J Fundam Appl Sci., 12(1S), 89-107.
Zirmi-Zembri, N., Kadi, S. A. 2020b. J. of Rangeland Sci., Vol. 10, No. 3, 341-356.

Peut-on prédire les valeurs alimentaires à partir d'analyses en spectroscopie proche infrarouge pour les prairies à flore variée et multispécifiques ?

Can feed values be predicted from near-infrared spectroscopy analyses for high-diversity sown grasslands ?

GOUTIERS V. (1), AUGUY C. (2)
(1) INRAE - UMR 1248 AGIR AGroécologie, Innovations, teRritoires - Université de Toulouse, INPT. Centre de recherche Occitanie-Toulouse, Chemin de Borde-rouge, 31326 Castanet-Tolosan, France
(2) Chambre d'agriculture du Tarn, antenne de Castres, Le Causse Espace Ressources, 81100 Castres, France

INTRODUCTION

Les mélanges prairiaux semés se développent depuis plusieurs années en France. Ils représentent environ 20% du marché des semences fourragères (Straebler, 2015). Parmi ces mélanges les prairies multi spécifiques et les prairies à flore variée (PFV) sont caractérisées par un nombre d'espèces élevé (>6) et peu décrites dans la littérature scientifique (Goutiers, *et al*., 2016). Ces nouvelles ressources fourragères ne sont pas qualifiées sur le plan des valeurs alimentaires dans les tables INRA 2018. Il s'avère donc nécessaire de réaliser des mesures chimiques en laboratoire avant de mettre en œuvre les méthodes de rationnement aboutissant au plan d'alimentation du troupeau. Cependant le coût élevé de ces analyses limite leur utilisation par les éleveurs et les agents du développement. Afin de démocratiser la pratique des analyses, les laboratoires ont développé des méthodes moins coûteuses par spectroscopie dans le proche infrarouge (NIRS). Mais sont-elles suffisamment fiables en comparaison à des analyses chimiques classiques ? Afin d'éclairer cette question, nous proposons d'étudier les relations statistiques entre analyses chimiques et analyses NIRS sur un échantillon de PFV.

1. MATERIEL ET METHODES

Pour ce faire, nous avons exploité un jeu de données composé de 170 échantillons analysés parallèlement en méthode chimique et en méthode NIRS au laboratoire Inovalys de Nantes. Ceci représente 44 parcelles de PFV suivies entre 2014 et 2019 dans la montagne tarnaise (81). Les prélèvements ont eu lieu chaque année au premier et dernier cycle d'utilisation. Les compositions des prairies considérées ont été formulées pour des utilisations exclusivement en fauche ou en pâturage et pour des utilisations mixtes. Les analyses ont porté sur les déterminations suivantes : matière
minérale (MM), digestibilité pepsine-cellulase (Dcel), matières azotées totales (MAT), cellulose brute (CB), sucres solubles totaux (ST). Une fois la base de données constituée, nous avons réalisé des analyses de régressions linéaires simples avec le logiciel statistique R.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

Les modèles ainsi produits *(Tab.1)* prédisent correctement les valeurs chimiques à partir d'une analyse NIRS pour les déterminations de : matières azotées totales, cellulose brute et sucres solubles totaux. Nous obtenons respectivement des coefficients de détermination linéaire de Pearson (R^2) au seuil de significativité usuel, de 0,90 0,89 et 0,75. Cependant la qualité des relations linéaires n'est pas satisfaisante pour la prédiction de la matière minérale (R^2=0,48) et de la digestibilité pepsine-cellulase (R^2=0,58). Pourtant certains auteurs indiquent que les analyses NIRS réalisées sur des échantillons de fourrages permettent d'obtenir de bonnes prédictions ($R^2 \geq 0,96$) ou des erreurs de prédictions de l'ordre de 0,5 à 2,5% concernant ces deux paramètres (Bastianelli, *et al*., 2018 ; Kragten & Wyss, 2014). Ces écarts entre la littérature et ce que nous avons observé pourraient s'expliquer par la nature des prairies étudiées : forte richesse spécifique et espèces fourragères nouvelles (chicorée, plantain…).

CONCLUSION

La constitution par les laboratoires d'analyses, de bases de données beaucoup plus larges au niveau botanique et spectral est donc nécessaire, afin d'améliorer la qualité des prédictions pour les mélanges de prairies multispécifiques et de PFV. La digestibilité pepsine-cellulase est un paramètre essentiel qui intervient dans plusieurs calculs de valeurs alimentaires (UFL, UFV). Au regard des résultats obtenus, le recours aux analyses chimiques nous semble plus judicieux pour les mélanges complexes en attendant une évolution des paramétrages NIRS par les laboratoires.

2018. Alimentation des ruminants, Ed. Quae, Versailles, 728 p.
Bastianelli, D., Bonnal, L., Barre, P., Nabeneza, S., Salgado, P., Andueza, D. **2018**. INRA Productions Animales, *31*(3), 237-254
Goutiers, V., Moirez-Charron, M.H., Deo, M., Hazard, L. 2016. Fourrages, 228, 243-252
Kragten, S. A., & Wyss, U. **2014**. *Rech. Agro. Suisse*, *5*(5), 204-211.
Straëbler, M. 2016. Fourrages, 225, 49-54

	Variables à expliquer (y)	Variables explicatives (x)	Unité	Pente équation (a)	Constante équation (b)	R^2	ETR	Moyenne	Ecart-type	Min.	Max.
n = 170	MM chimie	MM NIRS	g/kg MS	0,551***	28,659***	0,48***	21,05	92,5	28,9	58,8	277,3
	Dcel chimie	Dcel NIRS	% MS	0,763***	10,354**	0,58***	6,94	69,1	10,7	48,9	91,3
	MAT chimie	MAT NIRS	g/kg MS	0,940***	8,558*	0,90***	13,49	162,9	42,9	68,3	274,4
	CB chimie	CB NIRS	g/kg MS	0,862***	50,935***	0,89***	16,50	242,8	50,2	146,2	349,7
	ST	ST NIRS	g/kg MS	0,876***	$2,090^{ns}$	0,75***	26,69	110,2	53,0	5,0	245,0

Tableau 1 Equations de prédiction des valeurs chimiques du fourrage en fonction de mesures en spectroscopie par proche infra-rouge. *P-valeurs : *** 0.001 ** 0.01 * 0.05 ns 1*. Exemple : valeur chimique en MAT d'une PFV :

MATchimie = 0,940*MATnirs + 8,558.

Le tour du moha en 80 jours
Around the moha in 80 days

DELABY L. (1), DOZIAS D. (2), LEURENT-COLETTE S. (2), GALLARD Y. (2)
(1) INRAE, Institut Agro, UMR Physiologie, Environnement et Génétique pour l'Animal et les Systèmes d'Elevage, 16 Le Clos, F-35590 Saint Gilles, France
(2) INRAE, Domaine du Pin, UE 326, Borculo, Le Pin-au-Haras, F-61310 Gouffern en Auge, France

INTRODUCTION

Le changement climatique en cours et annoncé, caractérisé surtout par des sécheresses estivales plus marquées en intensité et en durée, les diverses réglementations obligeant à la couverture des sols en automne (CIPAN valorisables), incitent les éleveurs à recourir aux inter-cultures automnales récoltables. Parmi les possibles, le moha (*Setaria italica*) présente des atouts intéressants, notamment son développement rapide en conditions chaudes de fin d'été, sous pluviométrie limitée. La mono récolte de cette graminée, après 60 à 80 jours, permet de produire entre 3 à 6 t de matière sèche (MS) selon l'âge, sous forme de foin, mi-fané enrubanné ou comme fourrage vert. Sa valeur alimentaire peu décrite, a fait l'objet d'une évaluation en vert, *in vivo* durant 2 années sur le domaine INRAE du Pin.

MATERIEL ET METHODES

En 2012 et 2013, après un précédent constitué d'une prairie de graminées, le moha a été semé à la dose de 30kg /ha, les 5 et 3 juillet, et suivi d'aucun désherbage, ni de fertilisation. A partir de 56 (2012) et 42 (2013) jours post semis, et en continu durant 5 périodes d'une semaine, le moha a été fauché chaque jour et distribué à volonté à 6 moutons castrés (en moyenne 51 kg poids vif) afin d'en évaluer l'ingestibilité et la digestibilité selon la méthodologie décrite par Demarquilliy *et al* (1995).
La composition chimique du moha offert, des refus et des fèces a été déterminée sur les 10 échantillons moyens hebdomadaires, correspondant aux 10 périodes. De plus, sur les 10 échantillons de l'offert, la teneur en énergie brute (EB) a été mesuré par combustion totale en bombe calorimétrique ainsi que la digestibilité à la pepsine cellulase (dCs).
Les valeurs UFL, PDI et BPR ont été calculées en intégrant la digestibilité de la MO (dMO) mesurée « *in vivo* » selon les équations publiées par l'INRA (2018). Puis les périodes de même âge de repousses communes aux 2 années (à savoir celles réalisées à 56, 63, 70 jours) ont été regroupées afin de décrire l'évolution de la valeur alimentaire du moha sur un continuum de 42 à 84 jours, regroupant ainsi les 2 années.

RESULTATS

A 42 jours post semis, le moha se caractérise par une teneur en MAT et une digestibilité intéressante associée à une ingestibilité favorable (Tableau 1). Puis sa teneur en MAT tout comme les teneurs en parois (CB, NDF, ADF) évoluent rapidement et défavorablement au-delà de 42 jours d'âge, et se stabilise au-delà de 50 jours à un valeur moyenne de respectivement 93, 324, 641 et 360 g/kg MS. Cette évolution est associée à la phase de montaison/épiaison rapide, qui démarre dès 50 jours. En conséquence, la digestibilité diminue avec l'âge de la plante, de 71,1 (42 j) à 58,8 % (84 j) tandis que la valeur d'encombrement se dégrade, passant dans le même temps de 1,07 à 1,24 UEM par kg MS. Les valeurs UFL et UFV semblent plus stables, du fait d'une teneur en EB qui s'améliore avec la montée en graines. La valeur PDI, au mieux proche de 80 g (42 j) diminue ensuite en lien avec la teneur en MAT et la baisse de dMO.
L'équation de prédiction de la dMO la plus pertinente est celle qui combine la dCS (%) et la teneur en MAT (g/kg MS) :
dMO = 39,6 + 0,41 dCs + 0,046 MAT (Syx = 2,31 – R^2 = 0,66)

DISCUSSION - CONCLUSION

L'évolution rapide au-delà de 50 jours de la composition chimique et de la valeur nutritive du moha doit inciter à une valorisation précoce, dès 6 à 7 semaines après le semis, sans attendre d'obtenir le maximum de biomasse. A ce stade, l'utilisation sous forme de pâturage est envisageable. En regard de la croissance rapide, le pâturage rationné, avec fil avant est à privilégier pour limiter le gaspillage. Mais c'est probablement sous forme de foin ou de mi-fané enrubanné que ce fourrage est le plus pertinent. Comme pour tout fourrage herbacé, la valeur alimentaire du moha sous forme conservée dépendra en 1er lieu de sa valeur en vert. Et donc comme démontré dans cette étude, de l'âge post semis à la récolte. Au pâturage ou sous forme conservé, la valeur alimentaire de ce fourrage le destine prioritairement aux animaux en croissance, dont les besoins sont limités.

INRA, 2018. Alimentation des ruminants. Ed Quae, Versailles, France, 728 p.
Demarquilly C., Chesnot M., Giger S., 1995. In INRA (ed) Nutrition des ruminants domestiques, Paris, France, 601-648.

Age post semis (jours)	42	49	56	63	70	77	84
MO (g/kg MS)	808	880	883	887	897	896	888
MAT (g/kg MS)	174	117	97	95	83	92	99
CB (g/kg MS)	263	334	342	344	324	307	304
NDF (g/kg MS)	568	652	665	664	639	619	617
ADF (g/kg MS)	295	367	382	378	358	340	341
EB (kcal/kgMS)	3752	4102	4103	4125	4161	4164	4141
In vivo dMO (%)	71.1	67.0	63.9	61.8	62.0	65.4	58.8
UFL (/kg MS)	0.76	0.78	0.73	0.71	0.72	0.77	0.66
UFV (/kg MS)	0.71	0.72	0.66	0.63	0.65	0.71	0.58
PDI (g/kg MS)	79	72	67	66	65	68	65
BPR (/kg MS)	47	-4	-19	-19	-30	-25	-13
UEM (/kg MS)	1.07	1.28	1.27	1.26	1.19	1.12	1.24

Tableau 1 : Evolution de la valeur alimentaire du moha avec l'âge post semis, selon les équations INRA (2018)
MO: Matière organique ; MAT: Matières azotées totales ; CB: Cellulose brute ; NDF-ADF: Neutral et Acid detergent fiber ; UFL – UFV: Unités fourragères Lait et Viande ; PDI: Protéines digestibles dans l'intestin ; BPR: Balance protéique du rumen ; UEM: Unité encombrement moutons

Comportement alimentaire de vaches laitières pâturant des arbres fourragers
Feeding behaviour of dairy cows browsing temperate fodder trees

MESBAHI G. (1), BERTHET M. (1), JAWAHIR A. (1), GINANE C. (2), DELAGARDE R. (3), CHARGELÈGUE F. (1), NOVAK S. (1)
(1) INRAE, FERLUS, F-86600 Lusignan, France
(2) Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France
(3) PEGASE, INRAE, Institut Agro, F-35590 Saint Gilles, France

INTRODUCTION

Les arbres champêtres fournissent de nombreux services écosystémiques aux agrosystèmes : séquestration de carbone, conservation de la biodiversité, épuration de l'eau, etc. (Jose, 2009). En élevage, les arbres peuvent être un levier face au changement climatique : leur ombre protège animaux et cultures fourragères, et leurs feuilles et jeunes branches peuvent aussi fournir un fourrage de qualité lorsque la production des prairies est trop faible (Mahieu *et al*., 2021). Cependant, nous avons aujourd'hui peu de connaissances sur le comportement alimentaire des bovins pâturant des arbres de milieu tempéré. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés aux préférences alimentaires de vaches laitières face à quatre espèces d'arbre.

1. MATERIELS ET METHODES

L'étude s'est déroulée en juillet 2021 sur une parcelle agroforestière de l'expérimentation système OasYs d'INRAE à Lusignan. En 2014, 168 arbres fourragers y ont été plantés sur 2 ha, comprenant des aulnes de Corse (*Alnus cordata*), des frênes communs (*Fraxinus excelsior*), des mûriers blancs (*Morus alba*) et des ormes Lutèce (*Ulmus* 'Nanguen'). Les arbres ont été coupés en têtard en 2019 à 50 ou 80 cm du sol, puis les branches ont été taillées chaque année à 110 cm du sol. Ils ont été pâturés la première fois du 12 au 21 juillet 2021, chaque jour de 8h30 à 12h30, par un troupeau de 12 vaches laitières (101 ± 17 jours de lactation). Toutes les 4 minutes, les observateurs.rices ont scanné les arbres et noté si des vaches s'y alimentaient (550 scans par arbre, total de 92 400 scans). Nous avons utilisé un modèle linéaire généralisé à effets mixtes (GLMM) pour analyser les préférences alimentaires, en utilisant l'identité des observateurs.rices et le rendement fourrager des arbres comme facteurs aléatoires. Nous avons utilisé les moyennes marginales estimées pour évaluer les préférences alimentaires entre espèces d'arbre. Les analyses ont été réalisées avec le logiciel R et les packages 'lme4' et 'emmeans'.

2. RESULTATS

Les vaches ont été observées consommant des arbres sur 472 scans pendant les 10 matinées de suivi. Elles ont montré une préférence significative (P ≤ 0,003, Figure 1) pour l'orme Lutèce (280 consommations, soit 60 % des consommations d'arbre).Viennent ensuite le mûrier blanc (128 consommations, soit 27 %), le frêne (31 consommations, soit 7 %) et enfin l'aulne de Corse (28 consommations, soit 6 %).

3. DISCUSSION / CONCLUSION

Ces résultats confirment que les vaches ont des préférences alimentaires entre les espèces d'arbre, comme elles en ont aussi entre les espèces herbacées (Horadagoda *et al.*, 2009).

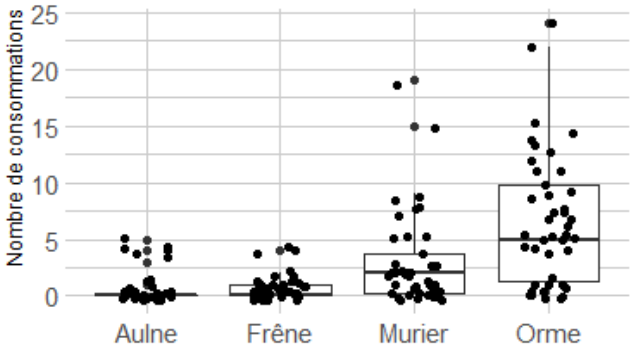


Figure 1 : cumul des consommations observées par espèce. Chaque point représente l'un des 168 arbres étudiés.

Dans notre étude comme dans celle de Vandermeulen *et al*. (2018), le frêne a été très peu pâturé malgré une bonne valeur nutritive (Mahieu *et al*., 2021) et une bonne consommation chez des moutons nourris en bâtiment (Bernard *et al*., 2020). Ce résultat pourrait s'expliquer par i) un manque d'habitude des vaches qui découvraient ces arbres pour la première fois, ii) des compositions chimiques différentes entre les frênes directement pâturés et ceux amenés en bâtiment, ou iii) la diversité offerte aux vaches dans notre étude, le frêne étant proposé avec trois autres espèces. En effet, les différentes espèces peuvent présenter des propriété chimiques (goûts, odeur) et physiques (texture, facilité de préhension) plus ou moins favorables à la consommation par les vaches .
De futures études sont nécessaires pour confirmer ces résultats et pouvoir inclure les arbres dans la conception des systèmes fourragers.

Nous remercions les techniciens qui nous ont aidés pour cette étude : A. Martineau, D. Boutant, F. Bourgoin, R. Perceau pour la gestion du troupeau et J. Chargelègue pour le suivi des arbres. L'étude a été financée par la Fondation de France et les départements INRAE PHASE et AgroEcoSystem.

Bernard, M., Ginane, C., Deiss, V., Emile, J.C., Novak, S. 2020. Fourrages, 242, 55–59.
Horadagoda, A., Fulkerson, W.J., Nandra, K.S., Barchia, I.M., 2009. Anim. Prod. Sci., 49, 586.
Jose, S., 2009. Agrofor. Syst., 76, 1-10.
Mahieu, S., Novak, S., Barre, P., Delagarde, R., Niderkorn, V., Gastal, F., Emile, J.C., 2021. Agrofor. Syst, 95, 1295-1308.
Vandermeulen, S., Ramírez-Restrepo, C.A., Marche, C., Decruyenaere, V., Beckers, Y., Bindelle, J. 2018. Agrofor. Syst., 92, 705–716.