

Cet article de la revue **Fourrages**,  
est édité par l'Association Française pour la Production Fourragère

Pour toute recherche dans la base de données  
et pour vous abonner :

**[www.afpf-asso.org](http://www.afpf-asso.org)**

# Vers l'identification d'arbres pouvant servir de ressource fourragère complémentaire pour les ruminants dans les conditions climatiques de l'Auvergne en 2050

A. Wielemans<sup>1</sup>, M. Bernard<sup>2</sup>, D. Macheboeuf<sup>3</sup>, L. Gaillard<sup>2</sup>, C. Serre<sup>1</sup>, J. Cartailleur<sup>1</sup>, G. Charrier<sup>1</sup>, J. Torres-Ruiz<sup>1</sup>, B. Moulia<sup>1</sup>, J. Ngao<sup>1</sup>

Dans le contexte du changement climatique global, la diversification des ressources fourragères pour les ruminants, devient une nécessité. Dans notre imaginaire collectif, l'arbre dans le pâturage est associé habituellement au bien-être animal (protection contre les intempéries, ombre propice au repos...), mais il peut aussi assurer d'autres rôles. Et si on le considérait comme une ressource alimentaire complémentaire adaptée aux épisodes climatiques défavorables ?

## RESUME

Les mesures réalisées dans le cadre de cette étude ont permis d'estimer la valeur alimentaire, la capacité de résistance au gel et à la sécheresse des feuilles de 14 espèces ligneuses présentes en Auvergne. L'analyse de la composition chimique et la mesure *in vitro* de la digestion de la matière organique des feuilles révèlent que le mûrier blanc et le sureau ont un potentiel nutritif élevé et équivalent à celui du ray-grass anglais pris comme témoin. D'autres espèces, telles que le groseillier des Alpes et le tilleul, montrent une bonne résistance à la sécheresse et aux gelées. Bien que des compromis soient nécessaires, certaines espèces ligneuses autochtones pourraient représenter une ressource fourragère complémentaire intéressante pour les ruminants dans les conditions climatiques de l'Auvergne en 2050.

## SUMMARY

**Preliminary identification of trees that could serve as complementary forage for ruminant livestock under the climatic conditions predicted to occur in Auvergne in 2050**

In this study, we measured the feed value, the freeze tolerance, and the drought tolerance of leaves from 14 woody plant species occurring in Auvergne. Analyses of leaf composition and digestible organic matter *in vitro* showed that white mulberry (*Morus alba*) and black elder (*Sambucus nigra*) have a high potential nutritional value, equivalent to that of perennial ryegrass (*Lolium perenne*), which was used as a control. Other species, such as alpine currant (*Ribes alpinum*) and small-leaved lime (*Tillia cordata*), were highly tolerant of freezing and drought. Although some trade-offs will be necessary, certain native woody species could serve as useful sources of complementary forage for ruminant livestock under the climatic conditions expected to occur in Auvergne in 2050.

Selon les scénarii de prévisions climatiques du GIEC, l'Auvergne pourrait voir durant la seconde moitié du 21<sup>ème</sup> siècle une augmentation des températures moyennes allant jusqu'à 4°C, une diminution des précipitations, une augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes et la persistance du risque gélif (ORECC-AURA, 2017). Dans ces conditions, la production d'herbe sera impactée et risque de fluctuer fortement avec l'enchaînement des aléas climatiques alors que la prairie est la principale ressource alimentaire de l'élevage ruminant en zone de moyenne montagne comme l'Auvergne. Par conséquent, ce scénario climatique oblige à repenser la gestion des

agroécosystèmes afin d'en assurer la durabilité (Denhartigh, 2014), en proposant des modifications allant de l'adaptation des pratiques à la diminution des cheptels. Dans ce cadre-là, diversifier la ressource disponible pour préserver la sécurité alimentaire des animaux pendant les périodes critiques, est un enjeu très important.

Les fourrages d'espèces ligneuses (feuilles ou pousses de l'année d'arbres ou d'arbustes) ont été utilisés depuis des temps lointains pour alimenter les animaux (Thiébaud, 2005). Ils sont assez communément utilisés dans les zones tropicales et subtropicales pour compléter des rations à base d'herbe

## AUTEURS

1 : Université Clermont Auvergne, INRAE, PIAF, F-63000 Clermont-Ferrand, France

2 : INRAE, Herbipôle, F-63122 Saint Genès-Champanelle, France ; mickael.bernard@inrae.fr

3 : VetAgroSup, INRAE, Herbivores, F-63122 Saint-Genès-Champanelle, France

MOTS-CLES: Sylvopastoralisme, Arbres fourragers, ressource alternative, valeur énergétique, valeur azotée, résistance, gel, sécheresse, durabilité, Auvergne

KEY-WORDS : silvopasture, forage trees, alternative food resources, energy value, protein value, tolerance, freezing, drought, durability

REFERENCE DE L'ARTICLE: Wielemans A., Bernard M., Macheboeuf D., Gaillard L., Serre C., Cartailleur J., Charrier G., Torres-Ruiz J., Moulia B., Ngao J., (2020). "Vers l'identification d'arbres pouvant servir de ressource fourragère complémentaire pour les ruminants dans les conditions climatiques de l'Auvergne en 2050". *Fourrages*, 242, 61-69

souvent de faible qualité (Singh *et al.*, 2005 ; Patra, 2009, Sarr *et al.*, 2013). Ils peuvent même être la principale ressource alimentaire dans les zones arides. Dans les zones tempérées, comme par exemple en Europe, ils sont actuellement peu utilisés car les haies ont souvent été retirées pour intensifier la production herbagère qui reste pour l'instant globalement de qualité et de quantité suffisante. Toutefois, on peut mentionner l'utilisation intéressante et assez courante en Nouvelle-Zélande des brins de saule (Vandermeulen *et al.*, 2018).

L'utilisation des fourrages d'arbre peut avoir des effets positifs. Les feuilles et jeunes pousses ont en général, une digestibilité élevée et apportent des quantités substantielles de protéines et d'énergie métabolisable (Patra, 2009). Selon les espèces, en fonction des métabolites secondaires qu'elles contiennent (en particulier les tannins) et de leur concentration, elles pourraient permettre de limiter l'infestation des parasites intestinaux (nématodes) et/ou réduire la méthanogénèse dans le rumen (Terranova *et al.*, 2018). C'est une ressource économiquement intéressante car gratuite si elle est présente dans la parcelle ou son pourtour. En période sèche, l'herbe à proximité des arbres reste verte. Enfin, les espèces ligneuses ont des caractéristiques écophysiologiques qui leur permettent en général, de mieux résister à des périodes de gel ou de sécheresse à répétition.

Il y a aussi cependant des inconvénients à leur utilisation. Dans certains cas, lorsque la part dans la ration est supérieure à 40%, des effets anti-nutritionnels apparaissent et deviennent plus importants que les bénéfices escomptés (Patra, 2009 ; Ouyang *et al.*, 2019). La palatabilité n'est pas toujours bonne. La quantité de biomasse disponible est réduite car la production est plus faible que celle de l'herbe, sur une surface qui se limite en général au périmètre de la parcelle (haie). Pour donner un ordre d'idée, un frêne ou un orme pourrait assurer la consommation de 4 kg de matière sèche par jour (soit 35-40% de la ration d'une vache) pendant 10 jours (Thiébaud, 2005). L'ombre des arbres fait baisser la production d'herbe dessous. La présence des arbres peut gêner la mécanisation de l'agriculture. L'implantation et l'entretien des haies est souvent chronophage avec un bénéfice principalement à moyen terme.

Mais, ce qui freine l'agriculteur dans sa décision de mettre en place une production fourragère à base de plantes ligneuses, c'est aussi le manque d'informations sur les essences utilisables, adaptées à notre contexte pédoclimatique et ayant une bonne valeur nutritive.

Dans l'optique de fournir des informations utiles pour aider à établir un système d'alimentation durable répondant aux conditions climatiques de l'Auvergne en 2050, nous avons collecté des échantillons de feuilles de quelques espèces d'arbres et arbustes couramment trouvées en zone de moyenne montagne de la région. Ces échantillons ont été soumis à des tests rapides pour estimer leur résistance au gel et à la sécheresse et à des fermentations *in vitro* pour estimer leur valeur

nutritionnelle. Les résultats permettent de comparer les espèces et de faire ressortir celles qui ont le meilleur compromis entre leur potentiel fourrager et leurs caractéristiques écophysiologiques.

## 1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 1.1. Le matériel végétal et préparation des échantillons

Les espèces ligneuses ont été sélectionnées selon 2 critères : (1) les plantes poussent déjà naturellement en Auvergne, en zone de moyenne montagne, (2) elles qui pourraient avoir un intérêt alimentaire d'après la composition chimique connue de leurs feuilles. Sur la base d'une cinquantaine de références bibliographiques, 14 espèces ont été sélectionnées : 2 arbrisseaux, *Rosa canina* (églantier), *Corylus avellana* (noisetier), 4 arbustes, *Ribes alpinum* (Groseille des Alpes), *Crataegus monogyna* (aubépine), *Prunus spinosa* (prunellier), *Sambucus nigra* (sureau noir) et 8 arbres, *Alnus glutinosa* (aulne glutineux), *Acer pseudoplatanus* (érable sycomore), *Fraxinus excelsior* (frêne), *Juglan regia* (noyer commun), *Morus alba* (murier blanc), *Populus nigra* (peuplier noir), *Robinia pseudoacacia* (robinier), *Tilia cordata* (tilleul).

Selon le développement de l'espèce, le nombre d'individus prélevés par échantillon a varié de 4 à 30 (tableau 1). Tous les échantillons de feuilles ont été récoltés sur des bordures de prairies, de chemins ou de parcelles forestières, dans la commune de Saint-Genès-Champanelle (45,72°N | 3,02°E) à une altitude comprise entre 830 et 900 m, excepté *Morus alba* trouvé à 430 m sur la commune de Beaumont (45° 45' 09"N, 3°05'01" E). Les récoltes ont été faites entre le 1<sup>er</sup> et 12 août 2019, permettant d'obtenir pour toutes les plantes, des feuilles de pleine maturité ayant déjà subi les températures élevées du mois de juillet, mois traditionnellement le plus chaud en Auvergne. C'est à cette période que les pénuries de fourrages peuvent apparaître et obligent à trouver des alternatives. Les feuilles ont été congelées dans de l'azote liquide moins d'une heure après le prélèvement, pour préserver les métabolites secondaires, puis ont été conservées à -80°C. Les échantillons ont ensuite été lyophilisés et broyés avec un broyeur à couteaux et une grille de 1mm, puis conservés au sec à l'abri de la lumière.

Un échantillon de Ray-grass Anglais (RGA, *Lolium perenne*), a été récolté après une 3<sup>e</sup> coupe, à 10 cm de hauteur, préparé de la même façon pour servir de témoin dans l'essai de fermentation *in vitro*, afin de comparer les feuilles, à un fourrage vert herbacé ayant une très forte digestibilité.

### 1.2. Analyses de la composition chimique

La teneur en matière sèche (MS) a été mesurée après séchage pendant 72h à 60°C. La matière

Nom vernaculaire	Nom latin	nb*	MS†	MM	MO	MAT	NDF	ADF	ADL	re p‡	dMOiv	NH3§	AG V	Gaz	CH4	CH4 /AG V	Nnh3/ Nsub
Murier	<i>Morus alba</i>	4	NA	13.21	86.79	15.31	23.32	17.64	5.38	3	93.21	1.80	1.0 5	1.02	1.0 2	0.25	0.50
Sureau	<i>Sambucus nigra</i>	7	21.6	9.75	90.25	21.19	17.17	13.57	7.61	3	92.65	3.19	0.9 4	0.94	0.8 6	0.23	0.66
RGA	<i>Lolium perenne</i>	NA	NA	8.37	91.63	13.44	42.39	22.62	5.52	1 8	90.39	1.00	1.0 0	1.00	1.0 0	0.25	0.33
Noyer	<i>Juglans regia</i>	10	32.5	8.32	91.68	15.69	27.21	16.54	5.48	3	87.80	0.82	0.8 3	0.84	0.7 1	0.22	0.23
Tilleul	<i>Tilia cordata</i>	4	35.6	9.20	90.80	19.38	32.59	17.56	5.85	3	87.60	2.63	0.8 8	0.90	0.8 8	0.25	0.60
Peuplier	<i>Populus nigra</i>	10	39.4	6.50	93.50	15.31	25.10	17.73	6.52	3	86.07	-0.08	0.7 7	0.80	0.6 0	0.20	-0.02
Aubépine	<i>Crataegus monogyna</i>	10	47.8	8.08	91.92	12.19	28.33	20.07	12.40	3	85.19	0.23	0.8 3	0.81	0.6 1	0.19	0.08
Prunellier	<i>Prunus spinosa</i>	10	31.0	7.26	92.74	19.19	23.26	13.96	5.80	3	79.45	0.07	0.6 8	0.70	0.4 5	0.17	0.02
Frêne	<i>Fraxinus excelsior</i>	5	39.2	9.89	90.11	13.50	37.76	24.00	9.41	3	77.82	-0.24	0.7 9	0.86	0.7 3	0.23	-0.08
Erable	<i>Acer pseudoplatanus</i>	4	37.4	7.02	92.98	10.06	34.78	18.96	6.45	4	76.12	-0.27	0.6 6	0.73	0.6 2	0.23	-0.12
Robinier	<i>Robinia pseudoacacia</i>	20	34.1	7.27	92.73	19.88	33.81	21.47	8.49	3	75.59	0.10	0.6 2	0.68	0.6 1	0.25	0.02
Eglantier	<i>Rosa canina</i>	6	40.8	6.81	93.19	14.44	28.31	14.29	3.68	3	71.73	-0.27	0.5 3	0.61	0.3 8	0.18	-0.09
Aulne	<i>Alnus glutinosa</i>	5	33.8	4.83	95.17	18.25	35.70	20.40	7.83	3	70.78	0.45	0.5 3	0.52	0.2 1	0.10	0.11
Noisetier	<i>Corylus avellana</i>	10	30.5	8.12	91.88	16.31	42.94	19.85	7.32	3	68.31	-0.24	0.5 9	0.6 4	0.4 5	0.20	-0.07
Groseillier	<i>Ribes alpinum</i>	30	33.3	8.09	91.91	10.44	31.22	21.04	9.81	3	67.89	-0.20	0.4 3	0.5 3	0.3 4	0.20	-0.08

NA : donnée manquante

\* nb : nombre d'individus récoltés dans l'échantillon

MS : matière sèche des feuilles fraîches, %; MM, MO, MAT, NDF, ADF, ADL : en % de MS

rep : nb de répétitions des fermentations; dMOiv : digestibilité *in vitro* de la MO, %

NH3, AGV, Gaz, CH4 : productions relatives au témoin RGA(T), ratios de T

§ CH4/AGV : ratio des productions nettes, µmol/µmol; Nnh3/Nsub : N de la production nette d'ammoniac/ N du substrat, mg/mg

**TABEAU 1 : Composition chimique et moyennes des paramètres fermentaires triées selon la digestibilité décroissante**

**Table 1: Leaf composition and the values of fermentation-related variables, with species ranked from greatest to least digestibility**

organique (MO) a été déterminée après minéralisation des échantillons pendant 6h à 550°C. Les teneurs en fibres et lignine (NDF, ADF, ADL) ont été analysées selon la méthode de Van Soest *et al.* (1991) avec un analyseur Fibertec™. La teneur en azote (N) des échantillons a été déterminée par combustion avec la méthode de Dumas (AOAC, 1995) et la matière azotée totale (MAT) a été calculée selon la formule 6,25xN. Toutes les analyses ont été faites en double pour sécuriser les résultats d'analyses.

### 1.3. Fermentations *in vitro*

La technique de fermentation *in vitro* est une méthode assez rapide qui peut être employée pour estimer la valeur énergétique des aliments (Menke & Steingass, 1988 ; Chenost *et al.*, 2001) et comparer les

aliments entre eux. Elle a été utilisée dans cet essai selon la procédure décrite par Macheboeuf *et al.* (2014) pour mesurer *in vitro*, la digestibilité vraie de la matière organique (dMOiv) ainsi que les productions nettes d'acides gras volatils (AGV), d'ammoniac et de gaz. Brièvement, 600 ± 0,3 mg de MS des échantillons purs de plante ont été incubés avec 40 ml de milieu de culture dans des batchs scellés et agités pendant 24h à 39°C. Le milieu de culture (pH 6,94 ±0,03) était constitué de 2/3 d'un tampon carbonates-phosphates (Goering & Van Soest, 1970) et de 1/3 de fluide ruminal filtré contenant les micro-organismes du rumen. Le fluide ruminal a été collecté par soutirage à partir de 3 moutons adultes avant le repas du matin. Les animaux étaient alimentés au niveau de l'entretien avec une ration de 1.2 kg de MS/jour distribuée en 2 repas. La ration était constituée de 80 % d'un foin de regain de

prairie naturelle et de 20 % d'un concentré équilibré de type « agneaux finition ». Toutes les fermentations ont été réalisées en triple. Les répétitions ont eu lieu au cours de 3 périodes distinctes. Pour chaque période de fermentation, 6 fermenteurs témoins (RGA) étaient incubés ainsi que des fermenteurs blancs (sans substrat).

Après 24h de fermentation, la production de gaz a été mesurée avec un transducteur de pression (Theodorou *et al.*, 1994) et un échantillon de gaz a été prélevé dans le volume de tête, puis analysé (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) avec un micro-GC. Le contenu des batchs était centrifugé et un aliquot du surnageant était utilisé pour l'analyse des AGV, par chromatographie en phase gazeuse, et la mesure de l'azote ammoniacal, par la réaction de Berthelot. Le culot contenant les particules de substrat non dégradées, était autoclavé à 110°C en présence de détergent neutre pendant 40 min (Senger *et al.*, 2008) pour enlever les bactéries associées aux particules. Le résidu était rincé, séché et minéralisé pour mesurer la MO résiduelle du substrat et calculer la dMO<sub>iv</sub>.

#### 1.4. Résistance au gel

La résistance au gel a été mesurée, car les plantes pourraient avoir tendance à démarrer et finir leur cycle respectivement plus tôt et plus tard avec le réchauffement climatique (ORECC-AURA, 2017). Durant ces stades phénologiques, les plantes sont le plus vulnérable au risque gélif, qui persistera malgré le réchauffement climatique, en particulier pendant l'automne (gelées précoces), et au début du printemps (gelée tardives).

La méthode de fuite des électrolytes permet de calculer un indice de résistance au gel, la température qui engendre 50 % de lyse cellulaire (LT50, en °C). Cette méthode s'applique sur des échantillons de rameaux, à raison de 5 répétitions par espèce, et exposés à différentes températures allant de + 5°C à - 80°C. La lyse cellulaire provoquée par le gel est estimée par des mesures de conductivité électrique de solutions dans lesquelles baignent les échantillons découpés. Afin de déterminer la résistance des espèces à des épisodes de gels tardifs printaniers ou de gelées précoces en automne, deux séries de mesures ont été réalisées : la première entre les mois d'avril et mai 2019 et la seconde durant la première quinzaine d'octobre 2019.

#### 1.5. La résistance à la sécheresse

Pour caractériser la résistance à la sécheresse, les plantes ont été soumises au cavitron, un système permettant de recréer la tension que subissent les vaisseaux du bois d'aubier en cas de sécheresse par rotation (Delzon & Cochard, 2016). L'augmentation de la tension s'accompagne d'un accroissement du nombre de vaisseaux non fonctionnels (embolisés), qui se mesure par une baisse de conductivité hydraulique. La résistance à la sécheresse se décrit alors par la P50 :

pression induisant 50% de perte de la conductivité (PLC). Les mesures ont été effectuées au cours du mois de juin 2019, à raison de 5 répétitions par espèce. Malheureusement, certaines espèces ne sont pas compatibles avec le cavitron et seulement sept espèces ont fourni une valeur de P50 exploitable. En effet, la méthode du cavitron requiert des vaisseaux non sectionnés à leurs extrémités, or il est apparu que la moitié de nos espèces avaient des vaisseaux plus longs que le diamètre de l'appareil, qui ont dû être coupés lors de la mesure.

#### 1.6. Calculs et Analyses statistiques

Pour chaque espèce, un échantillon moyen représentatif des individus récoltés, a été utilisé pour l'analyse de la composition chimique. Par conséquent, seule une recherche des outliers a été pratiquée pour faire ressortir les plantes atypiques pour les variables considérées. Ceux-ci étaient détectés en utilisant la méthode non paramétrique de calcul des limites à partir des quartiles (limites internes : (Q3 + 1, 5 (Q3 - Q1)) et (Q1 - 1, 5 (Q3 - Q1)).

Pour les fermentations *in vitro*, les valeurs obtenues pour les batchs blancs ont été soustraites aux valeurs des traitements pour obtenir des productions nettes. Celles-ci ont été rapportées à la quantité de MO du substrat présent initialement dans le batch pour éviter les variations qui seraient dues à des substrats plus ou moins riches en matière minérale. Enfin, ces productions individuelles ont été rapportées à la moyenne des répétitions du témoin (6) pour la période de fermentation correspondante, afin de calculer les productions relatives au témoin, des AGV, du gaz total, du méthane et de l'ammoniac. Le témoin avait donc par définition, des productions relatives de 1. Le rapport entre les productions de méthane et d'AGV a été calculé pour chaque substrat afin de comparer le méthane produit à quantité d'AGV équivalente. De même, le rapport entre l'azote de l'ammoniac produit et l'azote du substrat permettait de comparer les productions d'ammoniac à quantité d'azote équivalente apportée par le substrat. Les données ont été ajustées avec un modèle mixte, où le substrat était le facteur fixe et la période de fermentation, le facteur aléatoire. Puis les moyennes ont été comparées avec le test conservatif de Bonferroni pour déterminer les différences significatives entre les traitements.

Les données de résistance au gel ont été soumises au test non paramétrique de Kruskal-Wallis.

## 2. RÉSULTATS

### 2.1. Composition chimique

La matière sèche des feuilles fraîches était comprise entre 30,5 % (noisetier) et 40,8 % (églantier), avec toutefois 2 plantes qui sortent du groupe : le sureau avec 21,6 % (outlier) dont les individus récoltés, étaient installés dans des zones fraîches peu exposées

au soleil et l'aubépine (47,8%). La teneur en matière minérale (MM) avait des valeurs moyennes comprise entre 6,5 et 9,9% de MS, de l'ordre de celle du témoin (RGA : 8,4% de MS) excepté pour 2 plantes : l'aulne (4,8% de MS) et le mûrier (outlier), qui avait une forte teneur en minéraux (13,2% de MS). Cette valeur élevée est cohérente avec les valeurs de MM déjà publiées pour cette plante (14,9%; Symbaya *et al.*, 2020). La teneur en lignine (ADL) a opposé 2 plantes, l'églatier avec seulement 3,7 % de la MS et l'aubépine avec 12,4 % (outlier), alors qu'en moyenne l'ADL des feuilles a été légèrement plus élevée que celle du RGA (7,3 vs. 5,5% de MS). La plupart des feuilles avaient des teneurs en parois (NDF et ADF) inférieures à celles du RGA. L'écart était en moyenne, d'environ 12 points pour le NDF (31,1% vs. 42,4 %), alors qu'il n'était en moyenne, que d'environ 4 points pour l'ADF (18,4 vs. 22,6%). Seul le noisetier a eu une teneur en NDF équivalente à celle du RGA, et les frênes, groseilliers et robiniers pour l'ADF. Le sureau avait la particularité d'avoir les plus faibles teneurs en parois (outliers) avec la plus grande quantité de matière azotée (MAT) dans ses feuilles. La plupart des plantes avaient des teneurs en MAT supérieures à celle du RGA. Certaines espèces (prunellier, robinier, sureau, tilleul) avaient même de fortes valeurs (MAT > 19% de la MS), ce qui les placerait parmi les meilleurs fourrages verts pour l'azote (Jarrige, 1988). Seuls, l'érable, le groseillier et l'aubépine ont eu des valeurs légèrement plus faibles que celle du RGA (13,4 % de la MS).

D'une façon générale, les feuilles des espèces ligneuses étudiées dans cet essai, ont eu des teneurs en parois plus faibles que le RGA avec une meilleure teneur en MAT. Par ailleurs, leur teneur en lignine, bien que légèrement plus élevée, reste assez proche de celle du RGA. On pourrait donc s'attendre, pour ces espèces, à une très bonne digestibilité. De même, leur faible teneur en parois laisse présager des niveaux d'ingestion élevés.

## 2.2. Fermentations *in vitro*

Comme attendu pour une 3<sup>e</sup> coupe à un stade feuillu de 10 cm de hauteur, le RGA a eu une dMOiv extrêmement forte de 90,4 %. Malgré ce niveau de référence très élevé, 4 plantes ont eu une dMOiv non différente (P>0,05) de celle du témoin (figure 1) : le mûrier, le sureau, le noyer et le tilleul.

La dMOiv des autres espèces était significativement plus faible (P<0,01). On peut distinguer plusieurs groupes. Un groupe comprenant, groseillier, noisetier, aulne et églatier, avec des dMOiv comprises en 67,9% et 71,7%. Un 2<sup>e</sup> groupe comprenant robinier, érable, frêne et prunellier avec des dMOiv comprises entre 75,6% et 79,5%. Et un dernier groupe composé de l'aubépine et du peuplier, non différent du tilleul et du noyer, mais différent du témoin (P<0,01). Lors d'un essai antérieur (Ginane *et al.*, 2018), la dMO mesurée *in vivo*, avec des feuilles de mûrier était aussi significativement plus élevée que celle des feuilles de frêne, en cohérence avec cet essai. Cependant, l'écart

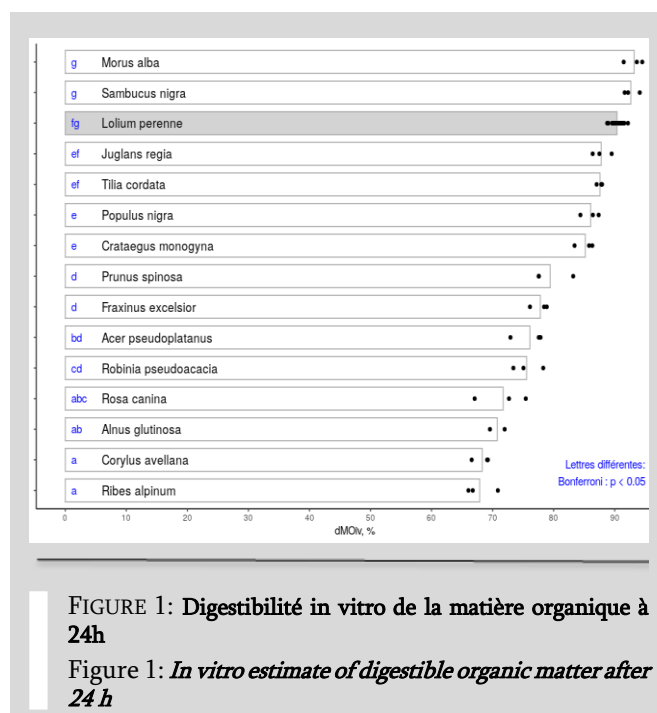


FIGURE 1: Digestibilité *in vitro* de la matière organique à 24h

Figure 1: *In vitro estimate of digestible organic matter after 24 h*

entre les deux plantes était plus réduit, et le niveau de digestibilité global plus faible. Les différences notables entre les résultats *in vivo* et *in vitro* pour ces 2 plantes, pourraient être dues au fait que les feuilles de mûrier de l'essai *in vitro* sont plus riches en MAT (+5,2%) rendant celles-ci plus dégradables. Par ailleurs, le traitement des échantillons (broyage après lyophilisation) produit des substrats très pulvérulents, augmente la surface d'attaque des microbes et aboutit à un niveau de digestibilité supérieur *in vitro*.

Le mûrier et le sureau ont une production d'AGV comparable à celle du RGA, alors que pour les autres plantes, celle-ci est plus faible (P<0.01). Les classements des plantes pour les productions d'AGV et de gaz, sont assez similaires avec celui de la dMOiv, avec cependant, une amplitude des variations plus marquée allant de 43% (groseillier) à 105% (mûrier) de la valeur du RGA, pour la production relative des AGV. Cette amplitude est due au fait que certaines plantes (prunellier, érable, robinier, églatier, aulne, groseillier) ont eu des productions d'AGV inférieures de 10 à 20 % à celles auxquelles on aurait pu s'attendre théoriquement d'après leurs dMOiv et des résultats obtenus antérieurement dans les mêmes conditions avec des espèces herbacées (Macheboeuf *et al.*, 2014).

Si, globalement, toutes les plantes ont eu une bonne digestibilité (≥ 68 %), celle-ci restait néanmoins, en général, en deçà de celle du témoin et pour certaines, la production d'AGV était plutôt basse, pour leur niveau de dMOiv, contrairement à ce que laissait présager initialement leur composition chimique. Cet écart avec le RGA pourrait s'expliquer par le fait que celui-ci était peut-être plus riche en glucides solubles que des feuilles d'arbre, récoltées en août. Cependant, certaines plantes aussi, ont eu des dMOiv et productions d'AGV

équivalentes ou supérieures à celles du RGA. Par conséquent, si la composition primaire de la plante ne permet pas d'expliquer ces différences, il pourrait s'agir d'autres composés tels que des métabolites secondaires, qui viennent perturber les fermentations. L'action de métabolites secondaires sur les fermentations, peut être regardé dans cet essai, par le biais de la production de méthane et de la production d'ammoniac.

La production de méthane n'a pas été différente de celle du RGA pour le mûrier, alors qu'elle était inférieure ( $P < 0,05$  ;  $P < 0,01$ ) pour les autres plantes. La variation s'est échelonnée de 34% de la valeur du RGA pour le groseillier à 102% pour le mûrier, globalement de façon cohérente avec l'augmentation de la production des AGV. Mais dans le détail, on peut observer que le sureau, à quantité d'AGV similaire, produit moins de méthane que le RGA ( $P < 0,05$ ). De même, le peuplier ou l'aubépine, produisent moins que le frêne, le noyer ou le tilleul ( $P < 0,01$ ), le prunellier moins que l'érable ( $P < 0,01$ ). Le rapport  $CH_4/AGV$  a permis de distinguer plusieurs groupes ( $P < 0,01$ ). Parmi les plus perturbateurs de la méthanogénèse, on trouve l'aulne avec un ratio de 0,10 suivi du groupe constitué des prunelliers, églantiers, aubépines (0,17-0,19). A l'opposé, la méthanogénèse n'a pas été perturbée pour le RGA, le mûrier, le tilleul et le robinier avec un ratio de 0,25. Deux plantes se sont opposées : d'un côté, le robinier avait une méthanogénèse normale mais une production d'AGV plutôt moyenne et de l'autre, l'aubépine qui avait une production d'AGV intéressante identique au noyer, mais avec beaucoup moins de méthane.

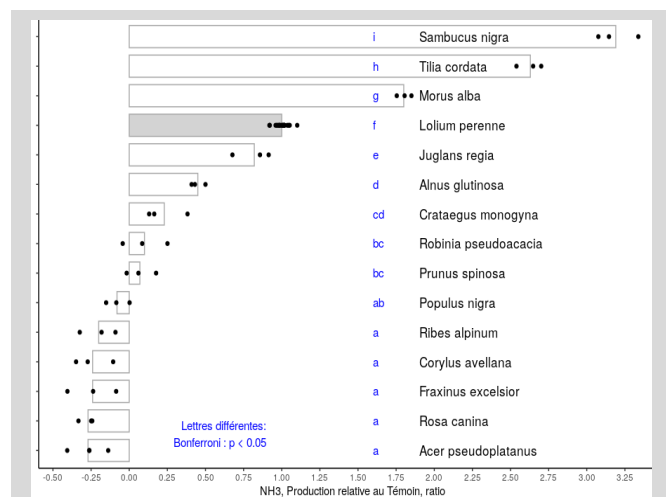


FIGURE 2 : Production d'ammoniac après 24 h de fermentation in vitro

Figure 2: Level of ammonia production after 24 h of in vitro fermentation

La production d'ammoniac a été extrêmement disparate. Le mûrier, le tilleul et le sureau ont produit beaucoup d'ammoniac, de 1,8 à 3,2 fois plus que le RGA pendant la fermentation. Cette production représentait 33% de l'azote de la plante pour le RGA, alors qu'elle représentait de 50% à 66% de l'azote de ces plantes (tableau 1, ratio  $N-NH_3/N$ -substrat). A l'opposé, un

groupe composé de l'érable, de l'églantier, du frêne, du noisetier, du groseillier et du peuplier a eu des productions négatives (figure 2), c'est à dire une consommation de l'ammoniac dans le milieu de culture. En d'autres termes, les protéines de ces feuilles étaient protégées des micro-organismes qui n'ont pas pu les dégrader facilement et ils ont dû puiser dans le milieu, l'azote ammoniacal provenant du fluide ruminal, nécessaire à leur synthèse. Cette protection peut s'expliquer par la présence dans ces plantes de composés secondaires comme des tanins condensés, lesquels sont trouvés par exemple chez l'églantier et le noisetier (Ammar et al., 2008 ; Niderkorn et al., 2020). La protection par les composés phénoliques pourrait entraîner un ralentissement relatif du catabolisme microbien, et expliquer pourquoi ces plantes sont parmi celles qui ont les plus faibles dMOiv. La surproduction d'ammoniac extrêmement importante dans le cas du sureau, peut s'expliquer par le fait que c'était la plante la plus riche en MAT et avec la teneur en fibre la plus faible. Par conséquent, les protéines étaient plus facilement accessibles pour être dégradées. On peut se demander dans ce cas, si le substrat n'était pas un peu carencé en énergie, les bactéries utilisant alors les protéines comme source d'énergie.

### 2.3. Résistance au gel et à la sécheresse

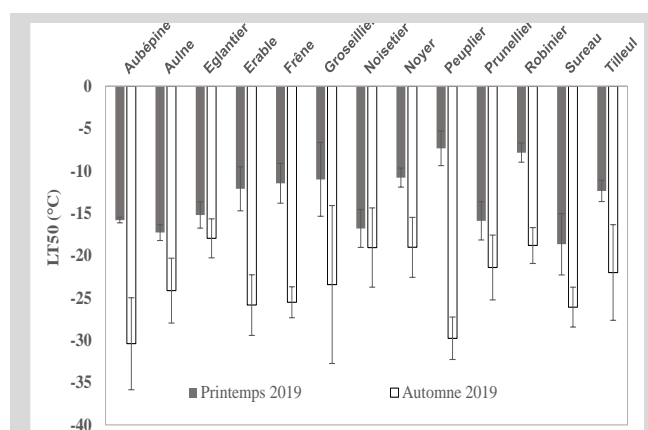


FIGURE 3 : Valeurs moyennes de températures induisant 50% de lyse cellulaire (LT50, °C) mesurées au printemps et à l'automne. Les barres d'erreur correspondent à l'écart-type. Les valeurs de LT50 servent d'indices de résistance au gel.

Figure 3: Mean spring and autumn temperatures (°C) at which 50% of cells experienced lysis (LT50).

Les échantillons sont globalement plus résistants au gel, à l'automne qu'au printemps car la LT50 moyenne des espèces est de -23°C environ en octobre contre -13°C environ en avril/mai (figure 3). Le peuplier est l'espèce la plus résistante aux gelées tardives avec une LT50 de -29,5°C au mois d'octobre, mais celle la moins résistante au gelées printanières avec une LT50 de -7,3°C. Au contraire le noisetier a une forte résistance printanière (-16,8°C), mais perd cet avantage par rapport aux autres espèces, à l'automne (-19,1°C). Cette constatation applicable à la majorité des espèces

Nom Verniculaire	Nom Latin	LT50 Printemps	LT50 Printemps Relative	LT50 Automne	LT50 Automne Relative	P50	P50 Relative
<b>Aubépine</b>	<i>Crataegus monogyna</i>	-15,8	0,8	-29,2	1,0	<b>-6,8</b>	1,0
<b>Aulne</b>	<i>Alnus glutinosa</i>	-17,3	0,9	-23,3	0,8	<b>-1,5</b>	0,2
<b>Eglantier</b>	<i>Rosa canina</i>	-15,2	0,8	-18,0	0,6	-	-
<b>Erable sycomore</b>	<i>Acer pseudoplatanus</i>	-12,1	0,6	-25,9	0,9	<b>-3,1</b>	<b>0,5</b>
<b>Frêne</b>	<i>Fraxinus excelsior</i>	-11,5	0,6	-25,6	0,9	<b>-2,8</b>	<b>0,4</b>
<b>Groseillier</b>	<i>Ribes alpinum</i>	-11,0	0,6	-23,4	0,8	-4,0	0,6
<b>Murier blanc</b>	<i>Morus alba</i>	-7,8	0,4	-	-	-	-
<b>Noisetier</b>	<i>Corylus avellana</i>	-16,8	0,9	-19,1	0,6	-2,3	0,3
<b>Noyer</b>	<i>Juglans regia</i>	-10,8	0,6	-17,5	0,6	-2,1	0,3
<b>Peuplier</b>	<i>Populus nigra</i>	-7,3	0,4	-29,5	1,0	-2,0	0,3
<b>Prunellier</b>	<i>Prunus spinosa</i>	-15,9	0,9	-21,1	0,7	<b>-5,4</b>	0,8
<b>Robinier</b>	<i>Robinia pseudoacacia</i>	-7,9	0,4	-18,8	0,6	-	-
<b>Sureau</b>	<i>Sambucus nigra</i>	-18,7	1,0	-25,3	0,9	-1,5	0,2
<b>Tilleul</b>	<i>Tilia cordata</i>	-12,4	0,7	-23,2	0,8	-2,3	0,3
<b>RGA</b>	<i>Lolium perenne</i>	<b>-7,9</b>	<b>0,4</b>	-	-	<b>-3,9</b>	0,6

TABLEAU 2 : Valeurs moyennes de températures induisant 50% de lyse cellulaire (LT50, °C) mesurées au printemps et à l'automne, et valeurs moyennes de pression induisant 50% de perte de conductivité hydraulique (P50, MPa). Les valeurs de LT50 et de P50 relatives correspondent à la valeur mesurée divisée par la valeur la valeur de résistance la plus importante. Les valeurs en gras sont issues de la bibliographie (Lens et al., 2016). Les valeurs de LT50 et de P50 servent d'indices de résistance au gel et à la sécheresse, respectivement.

Table 2: Mean spring and autumn temperatures (°C) at which 50% of cells experienced lysis (LT50) and mean pressures (MPa) resulting in a 50% loss in hydraulic conductivity (P50).

étudiées peut s'expliquer par les stades phénologiques de récolte et la précocité de chaque essence.

Nous avons proposé un classement des espèces les unes par rapport aux autres en effectuant le rapport entre les valeurs de LT50 de chacune par la valeur maximale mesurée (LT50 relative, tableau 2). L'étude statistique entre les moyennes des LT50 des rameaux permet de regrouper certaines essences afin de constituer différents groupes de résistance au

printemps et à l'automne. Ainsi, face au gelées tardives, l'aulne et le sureau sont les espèces les plus résistantes (LT50 : -18,0°C) alors que le robinier, le mûrier et le peuplier sont les espèces les plus vulnérables (-8,0°C). Face aux gelées précoces, le classement change, et ce sont le peuplier et l'aubépine qui sont les espèces les plus résistantes (LT50 : -29,4 °C) alors que le robinier, le noisetier, le noyer et l'églantier se montrent les moins résistants (LT50 : -18,4 °C). L'ensemble des autres espèces se répartit entre ces deux extrêmes avec une LT50 moyenne de -24,0°C. Les valeurs sont du même ordre de grandeur que les travaux antérieurs menés sur des espèces ligneuses, bien que des différences puissent être dues au stade phénologique, dates et conditions abiotiques des prélèvements (Charrier, 2011).

Pour la résistance à la sécheresse, les valeurs mesurées présentent un fort taux de variation avec des P50 s'étalant de -3,9MPa à -1.5MPa entre le groseillier des Alpes, espèce la plus résistante, et le sureau, espèce la moins résistante (figure 4). Ce classement reste le même en considérant les P50 tirés de la bibliographie (Lens et al., 2016) et les ordres de grandeurs sont équivalents, aussi on peut considérer que la P50 est bien une caractéristique intrinsèque de l'espèce. Le test de Kruskal-Wallis a révélé des différences significatives entre les espèces et a permis de séparer trois groupes : le groseillier des Alpes seul, un groupe intermédiaire rassemblant le tilleul, le noisetier, le noyer et le peuplier, et enfin une dernière catégorie regroupant l'aulne et le sureau.

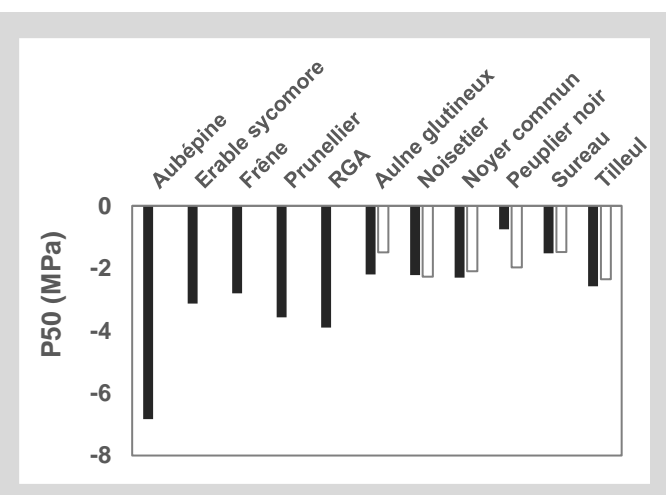


FIGURE 4 : Espèces d'intérêt en fonction de leur résistance à la sécheresse (P50 en MPa) selon les valeurs expérimentales et tirées de la bibliographie

Figure 4: Estimated drought tolerance (P50 in MPa) in this study and in previous studies for potential forage species



### 3. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

L'évolution du climat auvergnat, dans les années à venir, devrait s'accompagner l'été d'une augmentation de la fréquence des épisodes de sécheresse et impacter durablement la disponibilité fourragère estivale. Diversifier les sources de fourrage devient une nécessité pour la durabilité des élevages de ruminants. L'exploitation des arbres pour différents usages y compris en tant que fourrages lors des périodes de pénuries est une pratique traditionnelle en Auvergne, en particuliers dans la partie Sud. Elle reste cependant marginale et limitée principalement à une seule essence le frêne commun. La méconnaissance des essences d'intérêt fourrager et leur adaptation à notre climat futur restent un frein au développement de cette pratique.

Cet essai a permis de comparer quelques espèces ligneuses de la région Auvergne avec des tests *in vitro*. Les résultats montrent de grandes différences entre espèces. La présence ou non de composés secondaires a influencé la dégradation des protéines des feuilles (souvent riches en azote) par les micro-organismes du rumen, ne permettant pas toujours de faire ressortir l'intérêt qu'elles peuvent avoir. Ces mêmes composés secondaires ont pu de la même façon moduler les fermentations et les valeurs énergétiques estimées *in vitro* par la production d'AGV, bien que cohérente en générale avec la dMOiv.

Les feuilles de sureau, de mûrier et de tilleul semblent très intéressantes car elles ont une excellente digestibilité et produisent des quantités substantielles d'AGV. Le tilleul a l'avantage en plus, d'avoir une assez bonne résistance à la sécheresse contrairement au sureau. Mais, si l'on ne veut pas gâcher les importantes quantités de MAT qu'elles peuvent fournir, il conviendrait de les associer avec un aliment assez riche en énergie pour favoriser la synthèse microbienne et limiter la fuite d'azote sous forme d'ammoniac. Ce qui n'est peut-être pas facile à trouver dans une prairie en période de sécheresse. Le noyer et l'aubépine n'ont pas eu cet inconvénient tout en offrant encore un bon niveau de valeur énergétique ; l'aubépine, elle, semble avoir une excellente résistance à la sécheresse selon la bibliographie, ainsi qu'une bonne résistance au gel (figure 4). Des espèces comme le peuplier, le prunellier, le robinier, l'aulne, le noisetier et le frêne ont quant à eux, des feuilles assez riches (voire très riches) en protéines et qui s'avèrent être protégées de la dégradation ruminale, de façon plus ou moins importante. Pour éviter que les effets antinutritionnels ne soient supérieurs aux bénéfiques, il conviendrait donc d'utiliser ces espèces dans des proportions raisonnables (<40%).

Les essais *in vitro* peuvent permettre de comparer rapidement un grand nombre d'espèces entre elles et de donner leurs principales caractéristiques nutritionnelles ou de résistance aux stress en faisant ressortir les espèces les plus intéressantes selon les

critères. La valeur nutritive restera toutefois à préciser par des mesures *in vivo*, car la mesure *in vitro* donne des estimations qui sont surestimées de par la méthode. Par ailleurs, il faudra tenir compte de l'appétence et de la toxicité des plantes. Par exemple, les feuilles de sureau sont rarement consommées en raison de leur goût désagréable sauf en cas de pénurie. Et elles peuvent causer parfois des désordres intestinaux.

Compte tenu des caractéristiques bien différentes des plantes testées, l'éleveur aura intérêt à conserver autour de la ferme ou en fonction de l'exposition des parcelles, une biodiversité en espèces ligneuses, dans laquelle il pourra venir puiser, selon les situations, pour compléter au mieux le régime des animaux.

*Ce travail a été financé par le projet Isite 16-IDEX-0001 (CAP 20-25). Les auteurs remercient l'ensemble des personnes ayant participé à la réalisation de cet essai.*

Article accepté pour publication le 20 juillet 2020.

#### RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Ammar H., Lopez S., Andrés S., Ranilla M., Bodas R., Gonzalez J. (2008). "In vitro digestibility and fermentation kinetics of some browse plants using sheep or goat ruminal fluid as the source of inoculum." *Animal Feed Science and Technology*, 147, 90-104
- Association of Official Analytical Chemists (1995). "Protein (Crude) in Animal Feed. Combustion Method (990.03)." Official Methods of Analysis. 16th Edition, AOAC, Washington DC.
- Charrier G., (2011). « Mécanismes et modélisation de l'acclimatation au gel des arbres: application au noyer *Juglans regia* L. sciences agricoles. Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II, 2011, 216p.
- Chenost M., Aufreere J., Macheboeuf D. (2001). "The gas-test technique as a tool for predicting the energetic value of forage plants." *Animal Research*, 50, 349-364
- Delzon S. & Cochard H. (2016): "Le Cavitron fait tourner la tête des plantes." *Jardins de France* 641(mai-juin 2016): 16-18
- Denhartigh C. (2014). « Adaptation de l'agriculture aux changements climatiques » - Recueil d'expériences territoriales. Réseau action climat France.
- Ginane C., Bernard M., Deiss V., Andueza D., Emile J-C., Nowak S., Béral C. (2018). "Fodder trees as an alternative resource to feed ruminants: voluntary intake and in vivo digestibility of white mulberry (*Morus alba*) and common ash (*Fraxinus excelsior*) leaves in sheep." *Proceedings of the 10 th International Symposium on the Nutrition of Herbivores ISNH 2018. Advances in Animal Biosciences*, 8(3), 567
- Goering H.K., Van Soest P.J. (1970). "Forage fibre analysis". U.S.D.A. Agricultural Handbook, 379, 1-20
- Jarrige R. (1988). « Alimentation des bovins, ovins & caprins », éd. INRA, 471p
- Lens F., Picon-Cochard C., Delmas C., Signarbieux C., Buttler A., Cochard H., Jansen S., Chauvin T., Chacon Doria L., Del Arco M., Delzon S. (2016). "Herbaceous angiosperms are not more vulnerable to drought-induced embolism than angiosperm trees." *Plant physiology* 172(2), 661-667.
- Macheboeuf D., Coudert L., Bergault R., Lalière G. & Niderkorn V. (2014). "Screening of plants from diversified natural grasslands for their potential to combine high digestibility, and low methane and ammonia production." *Animal*, 8, 1797-1806
- Menke K. H., Steingass H. (1988). "Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and *in vitro* gas production using rumen fluid." *Animal Research and Development*, 28, 7-55
- Niderkorn V., Barbier E., Macheboeuf D., Torrent A., Mueller-Harvey I., Hoste H. (2020). "In vitro rumen fermentation of diets with different types of condensed tannins derived from sainfoin (*Onobrychis viciifolia* Scop.) pellets and hazelnut (*Corylus avellana* L.) pericarps." *Animal Feed Science and Technology*, 259, 114357

- ORECC-AURA (2017). "Le changement climatique en Auvergne-Rhône-Alpes. Profil climat territorial - Territoire" CC du Genevois. Document, ORCAE Auvergne-Rhône-Alpes, 18p.
- Ouyang J., Wang M., Hou Q., Feng D., Pi Y., Zhaon W. (2019). "Effects of Dietary Mulberry Leaf Powder in Concentrate on the Rumen Fermentation and Ruminal Epithelium in Fattening Hu Sheep" *Animals : an open access journal from MDPI*, 9, 218
- Patra A.K. (2009). "A meta-analysis on effects of supplementing low-quality roughages with foliages from browses and tree fodders on intake and growth in sheep." *Livestock Science*, 121, 239-249
- Sarr O., Diatta S., Gueye M., Ndiaye P.M., Guisse A., Akpo L.E. (2013) : "Importance des ligneux fourragers dans un système agropastoral au Sénégal (Afrique de l'ouest)." *Revue de Médecine Vétérinaire*, 164(1), 2-8
- Senger C.C., Kozloski G.V., Bonnacarrere Sanchez L.M., Mesquita F.R., Alves T. P., Castagnino D.S. (2008). "Evaluation of autoclave procedures for fibre analysis in forage and concentrate feedstuffs." *Animal Feed Science and Technology*, 146, 169-174
- Singh B., Sahoo A., Sharma R., Bhat T. K. (2005). "Effect of polyethylene glycol on gas production parameters and nitrogen disappearance of some tree forages." *Animal Feed Science And Technology*, 123, 351-364
- Terranova M., Kreuzer M., Braun U., Schwarm A. (2018). "In vitro screening of temperate climate forages from a variety of woody plants for their potential to mitigate ruminal methane and ammonia formation." *The Journal of Agricultural Science*, 56, 929-941
- Theodorou M. K., Williams B. A., Dhanoa M. S., McAllan A. B., France J. (1994). "A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds." *Animal Feed Science and Technology*, 48, 185-197
- Thiébaud S. (2005). "L'apport du fourrage d'arbre dans l'élevage depuis le Néolithique." Publications Scientifiques du Muséum national d'Histoire naturelle, P. (Ed.) *Anthropozoologica*, 40 (1), 95-108
- Van Soest P.J., Robertson J.B., Lewis B.A. (1991). "Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition." *Journal of Dairy Science*, 74(10), 3583-3597.
- Vandermeulen S., Ramirez-Restrepo C.A., Beckers Y., Claessens H., Bindelle J. (2018). "Agroforestry for ruminants: a review of trees and shrubs as fodder in silvopastoral temperate and tropical production systems", *Animal Production Science*, 58, 767-777