



HAL
open science

Composition chimique et digestibilité *in vitro* des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été

Sandra Novak, Philippe Barre, Remy Delagarde, Stéphanie Mahieu, Vincent Niderkorn, Jean Claude Emile

► To cite this version:

Sandra Novak, Philippe Barre, Remy Delagarde, Stéphanie Mahieu, Vincent Niderkorn, et al.. Composition chimique et digestibilité *in vitro* des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été. *Fourrages*, 2020, 242, pp.35-47. 10.15454/1.5572219564109097E12 . hal-02913155

HAL Id: hal-02913155

<https://hal.inrae.fr/hal-02913155>

Submitted on 11 Jan 2024

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

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

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

Composition chimique et digestibilité *in vitro* des feuilles d'arbre, d'arbuste et de liane des milieux tempérés en été

S. Novak¹, P. Barre², R. Delagarde³, S. Mahieu¹, V. Niderkorn⁴, J.-C. Emile¹

Les arbres, arbustes ou lianes pourraient-ils servir de ressource fourragère pour des ruminants en été en complément des fourrages classiques qui viennent à manquer ? Cet article présente la composition chimique (y compris les tanins et les minéraux) et la digestibilité *in vitro* des feuilles de 52 ligneux et d'espèces herbacées présentes en été en France métropolitaine.

RESUME

L'étude a été réalisée sur 31 espèces d'arbre, 14 espèces d'arbuste et 7 espèces de liane, ainsi que sur 8 espèces herbacées prélevées au mois d'août des années 2014 à 2017 dans différentes régions de France. Les résultats montrent une diversité importante des valeurs nutritives des ligneux, avec des valeurs comparables à celles des fourrages herbacés classiques. Plusieurs espèces ligneuses (mûrier blanc, figuier, saule marsault, prunellier, sureau, grenadille) présentent une excellente valeur nutritive, aussi bonne que celle de bons fourrages, tant sur les plans énergétique et protéique qu'au niveau de leurs teneurs en minéraux d'intérêt. D'autres espèces se caractérisent par leur richesse en certains minéraux (néflier et bourdaine pour le phosphore, cornouiller sanguin et tilleul pour le calcium) ou en tanins condensés (robinier, vigne).

SUMMARY

Chemical composition and *in vitro* digestibility of tree, shrub and liana leaves in summer in temperate regions

We analysed leaves from 31 tree, 14 shrub, 7 liana, and 8 herbaceous species collected in different regions of mainland France in August from 2014 to 2017. We found that woody plants displayed a wide range of nutritional values, which was similar to the range seen in traditional herbaceous forage. Several woody species (*Morus alba*, *Ficus carica*, *Salix caprea*, *Prunus spinosa*, *Sambucus nigra*, and *Passiflora edulis*) had high nutritional values, as high as those of good-quality forage species, due to their pronounced energy content, CP content, and mineral content. Other species stood out because of their high levels of certain minerals (*P*—*Mespilus germanica* and *Frangula alnus*; *Ca*—*Cornus sanguinea* and *Tilia platyphyllos*) or condensed tannins (*Robinia pseudoacacia*, *Vitis sp.*)

Devant l'augmentation de la fréquence des aléas climatiques et des sécheresses estivales et leur impact sur l'autonomie fourragère, de plus en plus d'éleveurs de ruminants réfléchissent à l'opportunité d'utiliser de nouvelles ressources fourragères, complémentaires aux fourrages classiques (Legendre, 2018). Beaucoup ont fait le constat que les arbres présentent, en période de sécheresse estivale, un feuillage encore vert alors que l'herbe des prairies est desséchée. Ce feuillage vert, même en quantité limitée, peut venir compléter les autres sources de fourrages. Comme cela avait déjà été fait par le passé, notamment durant la grande sécheresse de 1976,

certains éleveurs coupent les branches des arbres environnant leurs parcelles ou donnent accès aux haies pour les faire brouter par les animaux (Penn, 2018). L'affouragement des ruminants avec des feuilles d'arbre était d'ailleurs une pratique courante en Europe avant le semis de couverts prairiaux, le développement du maïs et la mécanisation (Sigaut, 1987). Outre leur apport en azote, énergie et fibres dans la ration, les feuilles des arbres pourraient être une source intéressante d'éléments minéraux et de tanins, éléments qui peuvent avoir des effets bénéfiques sur les équilibres nutritionnels et la santé animale. Certaines études ont par ailleurs montré que la consommation de feuilles

AUTEURS

1 : INRAE, UE FERLUS, 86600, Lusignan, France ; sandra.novak@inrae.fr

2 : INRAE, URP3F, 86600, Lusignan, France

3 : INRAE, Agrocampus Ouest, PEGASE, 35590, Saint Gilles, France

4 : Université Clermont Auvergne, INRAE, VetAgro Sup, UMR Herbivores, 63122 Saint-Genès-Champanelle, France

MOTS-CLES : Agroforesterie, élevage, fourrage, ligneux, valeur nutritive, arbre, arbuste, liane, tanins, minéraux, ruminant

KEY-WORDS : Agroforestry, livestock farming, fodder, woody plants, nutritional value, tree, shrub, liana, tannin, mineral, ruminant

REFERENCE DE L'ARTICLE : 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. Doi : 10.15454/1.5572219564109097E12

d'arbre pouvait diminuer la production de méthane entérique des ruminants (Ramirez-Restrepo *et al.*, 2010).

Contrairement aux fourrages classiques, les études scientifiques s'intéressant à la composition chimique et à la valeur nutritive des feuilles de ligneux (arbres, arbustes ou lianes) sont encore peu nombreuses en Europe (*e.g.* Smith *et al.*, 2014 ; Emile *et al.* 2017 ; Luske and Van Eekeren, 2018 ; Vandermeulen *et al.*, 2018). Les recherches ont, jusqu'à présent, surtout concerné des fourrages ligneux caractéristiques des systèmes pastoraux de la zone méditerranéenne (Meuret, 1986 ; Mosquera-Losada *et al.*, 2004 ; Papanastasis *et al.* 2008, Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2015) ou des zones tropicales (Alonso-Diaz *et al.*, 2008 ; Patra, 2010 ; Vu *et al.*, 2011). Le manque de références sur la composition chimique des essences d'arbre présentes en milieu tempéré constitue un frein pour le développement de leur utilisation dans les systèmes fourragers en Europe (Hermansen *et al.*, 2015). La composition chimique et la digestibilité *in vitro* sont considérées comme des indicateurs de la valeur nutritive des fourrages (Allen *et al.*, 2011) et elles sont fréquemment utilisées pour caractériser les fourrages classiques (Carrère *et al.*, 2010 ; INRA, 2018). Elles sont nécessaires à connaître pour le calcul des valeurs énergétique et protéique des aliments pour ruminants (INRA, 2018).

L'objectif de cet article est d'apporter des références sur la composition chimique et la digestibilité *in vitro* des feuilles d'une large gamme d'espèces ligneuses des milieux tempérés, pour lesquelles ces données sont rares voire inexistantes. Il s'agit d'une première étude exploratoire visant à fournir des informations sur un total de 52 espèces d'arbres, d'arbustes ou de lianes disponibles en été, période où les pénuries de fourrages en élevage d'herbivores deviennent fréquentes. Cet article complète les premiers résultats présentés par Emile *et al.* (2017) sur les teneurs en matières azotées totales (MAT), fibres, tanins condensés (TANc) et digestibilité *in vitro* des feuilles de 27 espèces ligneuses. Il ne donne pas d'indications sur les valeurs en termes d'UF (unité fourragère) et de PDI (protéines digestibles dans l'intestin), deux paramètres clé définissant la valeur nutritive des fourrages en alimentation des ruminants (Sauvant *et al.*, 2018 a et b), car il n'existe pas encore d'équations spécifiques aux ligneux permettant de les calculer (INRA, 2018).

1. Matériel et méthode : Panel des espèces et analyses réalisées

Les feuilles de 52 espèces ligneuses, dont 31 espèces d'arbre, 14 espèces d'arbuste et 7 espèces de liane, ainsi que de 8 espèces herbacées ont été prélevées **au mois d'août** des années 2014 à 2017 dans différentes régions de France métropolitaine. La majorité des prélèvements de ligneux a été effectuée dans la Vienne et les Deux-Sèvres (233 échantillons sur un total

de 320) et toutes les herbacées (28 échantillons) ont été prélevées à Lusignan (Vienne). Le taxon « vigne » regroupe des vignes cultivées (*Vitis vinifera* L.) et des porte-greffes (hybrides interspécifiques). Les 8 espèces herbacées comportent à la fois des graminées et des légumineuses fourragères habituellement présentes dans les couverts prairiaux (ray-grass anglais ou hybride, dactyle, luzerne, sainfoin), et 2 diverses (chicorée, plantain) réputées pour résister à la sécheresse. Nous avons également analysé une espèce adventice (*Rumex crispus* L.) qui pourrait également être pâturée en été.

Dans notre étude, **seules les feuilles ont été considérées de manière à donner des références uniquement sur cet organe et pouvoir comparer le même type de matériel végétal entre espèces ligneuses.**

Pour les ligneux, les **feuilles** (incluant à chaque fois **limbe et pétiole**) ont été prélevées sur des branches coupées avec un échenilloir à différentes hauteurs et aux 4 points cardinaux sur 1 à 3 individus par espèce sur chaque site de manière à composer un échantillon représentatif du feuillage qui pourrait être utilisé comme fourrage, en écartant les feuilles en mauvais état sanitaire. Les ligneux prélevés étaient d'âges et de hauteurs variées et présents sur des sites agroforestiers, des arboretums, des jardins ou dans des haies.

Pour les espèces prairiales classiques (ray-grass anglais ou hybride, dactyle, luzerne, sainfoin), les prélèvements ont été effectués en août après 6 semaines de repousses, en coupant la plante entière à 5 cm de hauteur. Pour les autres herbacées (chicorée, plantain, rumex) seules les feuilles ont été collectées mi-août.

Les fourrages récoltés ont été séchés à l'étuve (60°C pendant 72 heures) puis broyés avec une grille de 1 mm pour les analyses relatives aux parois végétales, aux MAT, à la DIGz et aux minéraux. Pour les TANc, les fourrages ont été congelés dès la récolte puis lyophilisés. La teneur en TANc n'a été mesurée que sur 322 des 348 échantillons collectés.

Les analyses ont porté à la fois sur les paramètres classiquement déterminés pour évaluer la valeur nutritive des fourrages (teneur en matière sèche (MS), matières minérales (MM), MAT, fibres insolubles dans les détergents neutres/acides (NDF/ADF), lignine insoluble dans les détergents acides (ADL), digestibilité enzymatique *in vitro* de la MS (DIGz)), mais également sur les teneurs en TANc et en minéraux majeurs et mineurs (tableaux 1 et 2 en annexe).

La détermination de la valeur nutritive des feuilles de ligneux a été réalisée avec les méthodes d'analyse classiquement utilisées pour les fourrages herbacés, avec parfois des adaptations. Les concentrations en fibres NDF, ADF, ADL (méthode Van Soest, 1967, avec un Fibersac de Ankom Technolog, adaptée avec un prétraitement de 1 h à ébullition dans un mélange eau/alcool tertibutylique 20/80 v/v) et en MAT (méthode DUMAS avec un analyseur élémentaire Flash

2000 de ThermoFisher Scientific), et la DIGz (méthode AUFRERE, 1982, adaptée pour l'utilisation de sachets avec le Daisy Incubateur d'ANKOM Technology®) ont été mesurées au laboratoire d'analyse de l'INRA-P3F à Lusignan. Les teneurs en TANc (méthode HCl-butanol, Grabber *et al.*, 2013) ont été mesurées au laboratoire INRAE-UMRH à Theix. Les teneurs en minéraux (phosphore P, calcium Ca, magnésium Mg, sodium Na, potassium K, cuivre Cu, fer Fe, manganèse Mn, zinc Zn) ont été déterminées au laboratoire de l'USRAVE (INRAE-Centre de Bordeaux) par ICP-AES (radial). La teneur en minéraux n'a été mesurée que sur 283 des 348 échantillons collectés.

Les différentes espèces ligneuses analysées sont indiquées dans les tableaux 1 et 2. Nous avons choisi de présenter les valeurs médianes, car la médiane est moins dépendante de la forme de la distribution statistique que la moyenne. Cependant les valeurs moyennes, ainsi que des indications sur la variabilité intraspécifique (valeurs minimales, maximales et écart-type) sont données dans des tableaux téléchargeables à l'adresse « doi : <https://doi.org/10.15454/QLE7EA> ». Dans cet article, nous discuterons principalement de la variabilité que nous observons entre les espèces prélevées, car le nombre de données disponibles intra-espèce n'est pas suffisant pour en faire une analyse robuste.

Les résultats sont présentés en discutant de l'intérêt des ligneux pour des éleveurs de ruminants des milieux tempérés souhaitant utiliser ces fourrages en été, en complément de fourrages plus classiques qui viennent à manquer. Nous n'avons pas encore de résultats sur la part que ces feuilles de ligneux pourraient représenter dans la ration totale des ruminants en été (vraisemblablement moins de 20%) et qui conditionnera en partie leur intérêt dans le système fourrager estival.

2. Résultats

2.1. Les teneurs en MAT, en fibres et la digestibilité *in vitro*

La teneur en MS de l'ensemble des 320 échantillons ligneux varie de 170 à 636 g/kg brut, la DIGz de 39,5 à 92,6 % MS, la teneur en MAT de 65 à 286 g/kg MS, et la teneur en NDF de 194 à 597 g/kg MS. Les teneurs en TANc varient quant à elles de 0 (non détectable) à 186 g/kg MS. Dans la suite de l'article nous présenterons les valeurs médianes par espèce.

La variabilité entre espèces ligneuses est importante pour tous les composants (tableau 1 en annexe). Pour les teneurs en **MAT**, elle est sensiblement la même entre les arbres, les arbustes et les lianes. Les espèces d'arbre présentant des teneurs élevées en MAT sont le mûrier blanc, le saule marsault, le saule blanc, le tilleul à grandes feuilles et le figuier (153 à 171 g/kg MS), ainsi que les essences fixatrices d'azote

atmosphérique (de 171 g/kg MS pour les aulnes à 219 g/kg MS pour le robinier). En revanche, le févier, de la famille des Fabacées présente des teneurs en MAT relativement faibles (113 g/kg MS). Les arbustes présentant les teneurs en MAT les plus élevées sont le prunellier, le buis, le sureau et le framboisier avec des valeurs médianes allant de 160 à 211 g MAT/kg MS. Pour les lianes, ce sont le jasmin et la grenadille qui ont les teneurs les plus élevées en MAT, allant de 159 à 184 g/kg MS. Pour les espèces dont le nombre de prélèvements est important (supérieur à 10), nous observons une variabilité entre espèces généralement supérieure à celle observée au sein d'une même espèce. Cependant, trois espèces pour lesquelles nous disposons d'un nombre de prélèvements important montrent de fortes variations allant de 90 à 215 g/kg MS pour l'orme champêtre (12 prélèvements), de 117 à 240 g/kg MS pour le mûrier blanc (17 prélèvements) et de 92 à 209 g/kg MS pour les vignes (25 prélèvements). Ces prélèvements ont été réalisés sur des ligneux d'âges, de contextes pédoclimatiques et de conduites différentes.

Les espèces présentant des valeurs de **DIGz** supérieures à 75 % sont le mûrier blanc, le poirier, le pommier et le figuier pour les arbres, le lilas, la bourdaine, le sureau, l'églantine, le prunellier, le troène et le cornouiller sanguin pour les arbustes, et le chèvrefeuille des bois, le jasmin d'hiver et la grenadille pour les lianes.

Les teneurs en **fibres** totales (NDF) des feuilles varient de 274 à 580 g/kg MS pour les arbres, de 212 à 506 g/kg MS pour les arbustes et de 270 à 428 g/kg MS pour les lianes. Les feuilles de chênes et d'aulnes (particulièrement le chêne vert et l'aulne blanc) ainsi que celles de houx, paulownia, robinier et buis sont les plus riches en fibres (NDF-ADF-ADL). Inversement, les plus faibles teneurs de NDF-ADF sont retrouvées chez le cornouiller sanguin, le sureau, la grenadille et le mûrier blanc. Les teneurs en NDF ne sont pas plus élevées que celles des fourrages prairiaux classiques qui sont en moyenne sur l'année de 473 g/kg MS pour les légumineuses et de 574 g/kg MS pour les graminées d'après Baumont *et al.* (2018) et atteignent 628 g/kg MS dans le dactyle prélevé en août. En revanche, les teneurs en **ADL** des feuilles de ligneux sont globalement plus élevées que celles des espèces fourragères herbacées que nous avons prélevées, dont les teneurs médianes sont au maximum de 77 g/kg MS pour la luzerne. Dans nos prélèvements, 74% des espèces d'arbre, 57% des espèces d'arbuste et 86% des espèces de liane ont des teneurs en ADL supérieures à celles de la luzerne, également prélevée en été.

La **relation entre la valeur azotée (MAT) et la valeur énergétique (DIGz)** permet d'illustrer la diversité de la valeur nutritive des ressources fourragères (figure 1). L'absence de corrélation entre la MAT et la DIGz indique qu'il est possible de trouver des espèces avec des valeurs élevées pour l'un de ces deux ou pour ces deux

caractères simultanément. Les espèces présentant le meilleur profil sur ces 2 critères sont, pour les **arbres**, le mûrier blanc, le figuier et le saule marsault, pour les **arbustes**, le prunellier et le sureau, et pour les **lianes**, le jasmin et la grenadille. La bourdaine, le lilas et frêne commun sont également bien placés. On retrouve la même gamme de variabilité des teneurs en MAT et de DIGz chez les espèces ligneuses que chez les espèces herbacées prélevées en août (figure 1), avec des espèces de très bonne valeur nutritive comme la chicorée, et d'autres moins intéressantes à cette période de l'année (ray-grass hybride). Les teneurs en MAT des meilleures espèces ligneuses sont par ailleurs du même ordre de grandeur que celles habituellement retrouvées pour les espèces prairiales classiques en vert qui sont en moyenne sur l'année de 145 g/kg MS pour les graminées fourragères, et de 210 g/kg MS pour les légumineuses (Baumont *et al.*, 2018).

◆ Comparaison avec des valeurs de la littérature

Comme indiqué en introduction, il n'existe pas à notre connaissance d'autre étude ayant analysé la

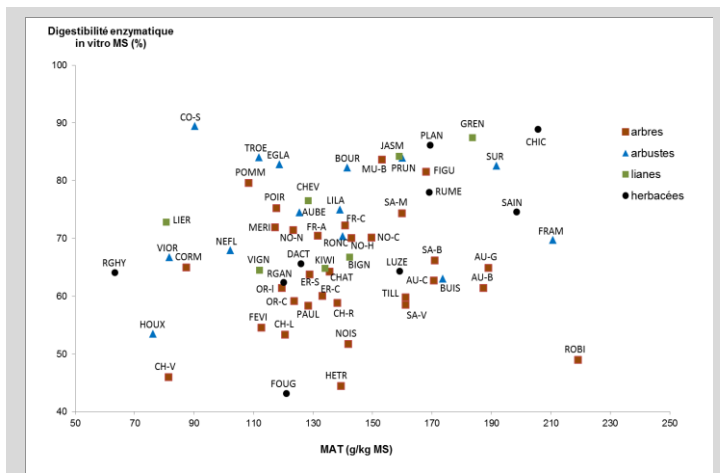


FIGURE 1 : Relation entre les valeurs médianes de teneur en MAT et de DIGz des feuilles de ligneux et d'herbacées prélevées en août 2014 à 2017 (Cf. annexe 3 pour la correspondance nom-code)

Figure 1: *Relationship between the median values of CP and DIGz for leaves from woody and herbaceous species sampled in August between 2014 and 2017.*

valeur nutritive des feuilles de ligneux sur autant d'espèces de milieu tempéré. Par ailleurs les échantillons analysés dans les autres études comportent fréquemment un mélange de feuilles et de brindilles (e.g. Papachristou and Papanastasis, 1994 ; Smith *et al.*, 2014). Or les feuilles peuvent avoir des valeurs plus élevées de MAT, DIGz mais également de TANc, que le mélange « feuilles et brindilles », comme cela a été montré par Oppong *et al.* (2001) et Smith *et al.* (2014) pour différentes espèces de saule. De plus, la saison de prélèvement varie selon les études et elle peut affecter la valeur nutritive. Plusieurs études ont en effet montré que la teneur en MAT ou parfois la digestibilité de certaines essences était meilleure au printemps qu'à l'automne (Smith *et al.*, 2012 ; Papachristou and

Papanastasis, 1994 ; Papanastasis *et al.*, 2008 ; Emile *et al.*, 2018 ; Mahieu *et al.*, 2019).

Cependant les résultats déjà publiés sur des espèces que nous avons étudiées donnent généralement des valeurs du même ordre de grandeur que celles que nous avons obtenues. C'est le cas du mûrier blanc dont plusieurs études réalisées dans des contextes climatiques variés ont également montré qu'il présente une valeur nutritive élevée en termes de MAT et de digestibilité et qu'il comporte de faibles teneurs en fibres (Benavides, 2000 ; Sanchez, 2000 ; Papanastasis *et al.*, 2008 ; Kandyliis *et al.*, 2009 ; Vu *et al.*, 2011 ; Heuzé *et al.*, 2019).

En zone tempérée du nord de l'Europe, les teneurs en MAT indiquées par Smith *et al.* (2018) et Luske et Van Eekeren (2018) pour le frêne (111 et 171 g/kg MS), le saule des vanniers (139 et 190 g/kg MS) et l'aulne glutineux (197 et 201 g/kg MS) sont également proches de nos résultats, ainsi que les valeurs données par Smith *et al.* (2018) pour le saule marsault (162 g/kg MS) et l'orme champêtre (139 g/kg MS). Nos valeurs de DIGz sont également du même ordre de grandeur que celles indiquées pour ces études pour la digestibilité *in vitro* de la matière organique, excepté pour l'orme champêtre pour lequel nos valeurs (59%) sont inférieures à celle de Smith *et al.* (2018) (78%) dont les prélèvements ont eu lieu en juin. Les valeurs de MAT et digestibilité *in vitro* de la matière organique indiquées par Vandermeulen *et al.* (2018) sur des feuilles de frêne commun, de sureau et d'aubépine prélevées en fin d'été sont également proches de nos résultats.

Enfin Vandermeulen *et al.* (2018) trouvent également des teneurs en ADL plus élevée pour les 10 espèces ligneuses qu'ils ont étudiées que pour leurs espèces prairiales herbacées.

2.2. Les teneurs en tanins condensés

Les teneurs médianes en TANc des feuilles de ligneux prélevées varient de 1 à 145 g/kg MS selon l'espèce. La **grande majorité (88%) des espèces ligneuses a des teneurs médianes en TANc inférieures à 50 g/kg MS**. Seules deux espèces de lianes (le kiwi et la vigne) et quatre espèces d'arbre (le hêtre, le noisetier, le saule des vanniers et le robinier) dépassent cette valeur.

Les TANc sont des composés qui peuvent être intéressants à teneur modérée dans les fourrages grâce à leur capacité à former des complexes insolubles avec les protéines. Cette propriété permet de réduire la dégradation des protéines dans le rumen, d'augmenter le flux de composés azotés dans l'intestin et de réduire les pertes d'azote dans les urines. Ils possèdent par ailleurs des propriétés anthelminthiques (Hoste *et al.*, 2006) et anti-méthanogènes (Jayanegara *et al.*, 2012).

En revanche, au-delà de 50 g/kg MS ingérée, il est généralement considéré que les TANc ont des propriétés antinutritionnelles, d'autant plus quand la teneur en MAT est faible (Waghorn, 2008). Cependant, la relation

structure-activité biologique étant peu connue pour ces ressources, cette valeur-seuil doit être considérée avec prudence. De plus, comme il s'agit d'une valeur à ne pas dépasser à l'échelle globale de la ration, il est peu probable que des effets antinutritionnels se manifestent après la consommation de ligneux.

◆ Comparaison avec des valeurs de la littérature

Il existe relativement peu d'études sur les teneurs en TANc des feuilles de ligneux des zones tempérées. Smith *et al.* (2014) indiquent des teneurs en TANc de 146 g/kg MS pour des feuilles ensilées de saule des vanniers, ce qui est proche de nos valeurs médianes (115 g/kg MS). La faible présence de TANc dans le mûrier blanc est également mise en avant dans plusieurs études (Kandyliis *et al.*, 2009 ; Güven, 2012). Les feuilles de vigne sont en revanche souvent riches en tanins condensés (Heuzé *et al.*, 2017).

Nos valeurs sont en revanche plus de 10 fois plus faibles que celles trouvées par Ammar *et al.* (2005) pour des feuilles de chêne liège prélevées dans une zone montagneuse de la Tunisie (14 au lieu de 151 g/kg MS). Oppong *et al.* (2001) ont montré que les conditions environnementales pouvaient influencer le niveau de TANc au sein d'une même espèce, avec des teneurs plus élevées chez les arbres poussant dans des conditions pédoclimatiques moins favorables.

Les espèces fourragères herbacées classiques que nous avons prélevées contiennent peu de TANc, excepté le sainfoin, comme cela a déjà été montré dans d'autres études (Goeritz *et al.*, 2010).

Parmi les éléments analysés, ce sont les teneurs en TANc qui présentent les plus fortes variations entre espèces (CV=33% en moyenne pour les arbres) et au sein d'une même espèce (jusqu'à 97% pour le frêne d'Amérique). Cette grande variabilité des teneurs en TANc dans les ligneux a déjà été observée pour des espèces tropicales (Getachew *et al.*, 2002) ou méditerranéennes (Mebirouk-Boudechiche *et al.*, 2015).

2.3. Les teneurs en minéraux

Les teneurs médianes en macro et micro-éléments des feuilles prélevées sont indiquées dans le tableau 2. Les valeurs extrêmes, moyennes et écart-type de chaque espèce, sont consultables sur <https://doi.org/10.15454/QLE7EA/VIOST6>

◆ Les macro-éléments : P, Ca, Mg, K, Na

Phosphore

La majorité des espèces ligneuses comporte des teneurs en P du même ordre de grandeur que celles observées pour les espèces fourragères herbacées classiques, à savoir en moyenne 3 g/kg MS pour les graminées et prairies naturelles, 2,7 g/kg MS pour les légumineuses et 1,8 g/kg MS pour le maïs ensilé (Baumont *et al.*, 2018). Cependant quelques espèces ligneuses sont pauvres en P avec des teneurs inférieures

à 1,5 g/kg MS (aulne de Corse, hêtre, chêne vert, buis, ronce, lierre), tandis que d'autres dépassent les 4 g/kg MS (noyer noir, bourdaine, néflier, viorne lantane, grenadille), comme la chicorée. Ces valeurs élevées sont intéressantes car les teneurs généralement observées dans les fourrages classiques ne suffisent pas à couvrir les besoins des ruminants, couverts généralement avec des compléments minéraux. Il n'y a par ailleurs pas de risque de toxicité pour les ruminants, car la grande majorité du phosphore excédentaire est excrétée.

Calcium

Une forte proportion (57%) des espèces ligneuses que nous avons analysées ont des teneurs en Ca supérieures à 14 g/kg MS, valeur moyenne généralement observée pour les Fabacées (luzerne, trèfle) (Baumont *et al.*, 2018). Elles sont particulièrement élevées (> 30 g/kg MS) pour le figuier, le mûrier blanc, le tilleul et également pour le plantain. La majorité des fourrages classiques et notamment le maïs ensilage ne sont pas en mesure de satisfaire les besoins en Ca des ruminants (Meschy, 2017). Seules les Fabacées apportent des quantités significatives de Ca. L'utilisation de feuilles de ligneux pourrait donc permettre de réduire le recours à des compléments minéraux calciques.

Magnésium

La plupart des espèces ligneuses prélevées, ainsi que la luzerne, le sainfoin et la chicorée ont des teneurs médianes en Mg supérieures à 2 g/kg MS, voire supérieures à 3 g/kg MS pour 44 % des ligneux. Les plus fortes teneurs sont présentes dans les feuilles de figuier, le sureau et le rumex qui dépassent les 6 g/kg MS. Un apport global de 2 g/kg de MS de magnésium total est préconisé pour les animaux en production et 3,5 g/kg de MS pour les vaches taries, mais les graminées pures et le maïs ensilé n'atteignent pas ces valeurs (Baumont *et al.*, 2018). Ces valeurs de Mg plus élevées pour les ligneux sont donc intéressantes, d'autant que le seuil de toxicité modéré, fixé à 14 g/kg MS (Meschy, 2017), n'est pas atteint.

Potassium

La plupart des espèces ligneuses prélevées ont des teneurs en K inférieures à 25 g/kg MS. Seuls le figuier, le lilas, le framboisier, le prunellier, le sureau, le kiwi et la grenadille dépassent cette valeur. Comparativement, dans les fourrages herbacés que nous avons prélevés en été, les valeurs varient entre 23 g/kg MS pour le sainfoin et 53 g/kg MS pour la chicorée. Les graminées et les légumineuses ont en moyenne des teneurs proches de 25 g/kg MS (Baumont *et al.*, 2018).

Il est généralement admis que, pour les rations riches en fourrages, ce sont davantage les excès que les carences en K qui sont à craindre chez les ruminants (Meschy, 2017). Un excès de K alimentaire, même modéré, peut interférer avec le métabolisme du Ca et du magnésium et aggraver le risque de fièvre vitulaire et de tétanie. Le niveau maximum acceptable de K pour la

ration totale a été fixé à 20 g/kg MS (Meschy, 2017). En revanche, lorsque les animaux sont soumis à un stress thermique, les apports de K par les fourrages classiques peuvent devenir insuffisants en raison des pertes par sudation associées à une diminution de l'ingestion de MS (Meschy, 2017). Les ligneux riches en K pourraient être intéressants dans ces situations.

Sodium

Seules deux espèces ligneuses présentent des teneurs en Na plus élevées que celles contenues habituellement dans les graminées (0,5 g/kg MS) ou dans les légumineuses (0,4 g/kg MS) (Meschy, 2017). Il s'agit du poirier commun (0,6 g/kg MS) et du lierre (0,7 g/kg MS). Dans nos prélèvements herbacés, le dactyle, la chicorée et le plantain ont des teneurs élevées en Na, dépassant les 1 g/kg MS. Les teneurs élevées observées chez ces herbacées pourraient permettre de limiter l'utilisation de compléments en sodium très courante dans les élevages laitiers (Meschy, 2017), mais les ligneux ne semblent pas intéressants pour cet élément.

◆ Les micro-éléments : Cu, Fe, Mn, Zn

Cuivre

La majorité des fourrages ligneux a des teneurs en Cu similaires à celles des fourrages verts classiques (6 ± 1 mg/kg MS, Meschy, 2017). Cependant, certaines espèces ligneuses atteignent ou dépassent les 10 mg/kg MS, comme le paulownia, la bignone et la grenadille. C'est également le cas de la chicorée et du plantain.

Les recommandations internationales sur les apports journaliers recommandés s'accordent sur une valeur de 10 mg/kg pour les bovins et les ovins et entre 10 et 25 mg/kg pour les chevreux (Meschy, 2017). La limite de toxicité pour les ovins est fixée à 15 mg/kg MS de la ration et à 30, voire 40 mg/kg MS pour les autres catégories de ruminants tolérant des apports de cuivre sensiblement plus élevés (Meschy, 2017).

Fer

Les teneurs en Fe des fourrages ligneux vont de 44 (houx) à 211 mg/kg MS (bourdaine), avec une valeur médiane de 91 mg/kg MS. Les valeurs moyennes des fourrages classiques varient entre 100 et 300 mg/kg MS (Meschy, 2017), ordre de grandeur retrouvé dans nos fourrages herbacés, excepté pour le ray-grass hybride dont les valeurs sont plus faibles (47 mg/kg MS). La carence en fer est très rare chez les ruminants, les recommandations pratiques se situant entre 40 et 100 mg/kg de MS ingérée (Meschy, 2017).

Manganèse

Plusieurs ligneux comportent des teneurs élevées en Mn (jusqu'à 1090 mg/kg MS pour la ronce) et supérieures à celles habituellement présentes dans les fourrages herbacés (Baumont *et al.*, 2018) dont les valeurs moyennes varient de 24 mg/kg MS (ensilage de maïs) à 113 mg/kg MS (prairies naturelles).

Les apports journaliers recommandés pour la nutrition des ruminants sont de 50-60 mg/kg MS

(Meschy, 2017). Les feuilles de ligneux riches en Mn pourraient être intéressantes pour compléter les rations largement déficitaires, comme celles à base d'ensilage de maïs. Les fortes teneurs présentes dans certaines espèces (robinier, érable champêtre, aulne blanc, ronce, lierre) ne semblent pas problématiques car, outre le fait que la part des ligneux restera sans doute minoritaire dans la ration, le manganèse est le moins toxique des éléments minéraux d'intérêt nutritionnel pour les ruminants. Sa toxicité est fixée à 1000 voire 2000 mg/kg MS (Meschy, 2017).

Zinc

Les teneurs en Zn de la plupart des ligneux sont du même ordre de grandeur que celles retrouvées en général dans les fourrages classiques qui sont en moyenne de 40 mg/kg MS pour les prairies naturelles, de 34 mg/kg MS pour les légumineuses, de 25 mg/kg MS pour les graminées et de 20 mg/kg MS pour le maïs ensilé (Baumont *et al.*, 2018). Cependant certains ligneux ont des teneurs élevées, supérieures à 50 mg/kg MS, pour l'aulne blanc, l'érable champêtre, le saule des vanniers, le saule blanc, le houx, et supérieures à 150 mg/kg MS pour la grenadille, le lilas et le saule marsault. Parmi les plantes herbacées que nous avons prélevées, seule la chicorée présente des valeurs supérieures à 50 mg/kg MS.

Les carences modérées en Zn seraient relativement fréquentes dans les élevages français, car les fourrages classiques ne permettent pas de satisfaire les besoins des ruminants, qui sont de l'ordre de 50 à 60 mg/kg MS de la ration totale (Meschy, 2017). Certains ligneux pourraient donc contribuer à pallier ces carences. Par ailleurs les risques de toxicité par excès de Zn seraient faibles, car ils n'apparaissent qu'à partir d'apports alimentaires très élevés, environ 20 fois le besoin (Meschy, 2017).

◆ Comparaison avec des valeurs de la littérature

Les études documentant les teneurs en minéraux des ligneux en milieu tempéré sont peu fréquentes. Parmi elles, on peut citer l'étude de Smith *et al.* (2018) réalisée sur 5 espèces (frêne commun, saule marsault, saule des vanniers, orme champêtre, aulne glutineux) pour le Ca, P, Mg, K, Fe, Mn, Cu et Zn. Luske et Van Eekeren (2018) ont également analysé les teneurs en Ca, P, Cu et Zn des feuilles de 3 essences (frêne commun, saule des vanniers, aulne glutineux). Nos valeurs sont globalement proches des résultats de ces deux études, exceptées pour les teneurs en Zn du saule des vanniers, moins élevées dans nos échantillons. Cette différence de teneur en Zn chez le saule pourrait s'expliquer par des différences de teneurs en Zn dans les sols. En effet, plusieurs études sur la phytoremédiation des sols pollués ont montré que les saules pouvaient concentrer des quantités importantes de Zn dans leurs parties aériennes (Tozser *et al.*, 2017 ; Salam, 2019).

Enfin, comme dans notre étude, Sanchez (2000) et Heuzé *et al.* (2019) indiquent des teneurs élevées en minéraux (P, Ca, K) pour le mûrier blanc.

Par ailleurs il faut noter qu'au-delà de la teneur totale en minéraux, il faudrait s'intéresser à leur capacité d'absorption qui varie en fonction du minéral (avec parfois l'existence de synergies ou d'antagonismes entre minéraux), du fourrage et parfois selon l'espèce de ruminant considérée (Meschy, 2017). A notre connaissance, ces études n'ont pas encore été réalisées sur des fourrages ligneux.

3. Conclusions et perspectives

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que les arbres, arbustes et lianes peuvent constituer en été des **ressources fourragères intéressantes** pour les ruminants en complément de fourrages plus classiques, pâturés ou conservés. Selon l'espèce considérée, ils peuvent contenir de l'azote (robinier, framboisier, sureau), de l'énergie (cornouiller sanguin, grenadille, jasmin d'hiver, troène, prunellier, mûrier blanc) ou des minéraux (néflier, bourdaine et noyer noir pour le P ; figuier, cornouiller sanguin et tilleul pour le Ca) en des **quantités parfois supérieures à celles des fourrages classiques**. Certaines espèces ligneuses présentent une **excellente valeur nutritive**, à la fois sur les plans énergétique, protéique et minéral. Ce sont pour les arbres, le mûrier blanc, le figuier, le saule marsault, pour les arbustes, le prunellier et le sureau et pour les lianes, la grenadille.

Les analyses réalisées sur les 52 espèces ligneuses montrent une **variabilité importante entre espèces**, et parfois au sein d'une même espèce en fonction des conditions pédoclimatiques. Cette diversité de valeur nutritive pourra être mise à profit pour compléter au mieux la ration des animaux en fonction des autres fourrages mis à leur disposition et de leurs besoins.

Pour connaître l'intérêt nutritionnel et alimentaire de ces nouveaux fourrages aussi bien que celui des fourrages classiques, il serait nécessaire que des études complémentaires soient réalisées dans plusieurs domaines. Tout d'abord, il est important d'aller plus loin dans la détermination de la valeur nutritive des feuilles de ligneux en réalisant, comme pour les fourrages classiques, des mesures de digestibilité *in vivo* de la matière organique et d'absorption des minéraux, ainsi qu'une estimation de leur valeur protéique réelle afin de fournir aux éleveurs des valeurs UF et PDI pour ces ligneux, permettant de les introduire dans d'éventuels calculs de rations et de mieux adapter les stratégies de complémentation des animaux. Une étude sur d'autres métabolites secondaires que les tanins condensés, comme les saponines ou les huiles essentielles, permettrait aussi de savoir si certains fourrages ligneux des milieux tempérés présentent des risques antinutritionnels voire toxiques ou au contraire un intérêt pour la santé animale. Il serait également important de mieux connaître l'effet des conditions pédoclimatiques, de la conduite de l'arbre et de la saison sur leur valeur nutritive. Nos travaux se sont pour

l'instant concentrés sur les feuilles de ligneux, mais la valeur nutritive des autres organes potentiellement consommés par les ruminants (jeunes tiges, brindilles, fruits voire écorce) mériterait également d'être étudiée.

L'ingestibilité et l'appétence des ligneux pour les ruminants sont également deux éléments déterminants qu'il faudra caractériser pour estimer la part que ces nouveaux fourrages pourront représenter dans la ration. La biomasse produite par les ligneux demande également à être quantifiée, car de très bons ligneux sur le plan nutritionnel mais très peu productifs ou difficiles à pérenniser après exploitation ne seront pas forcément à promouvoir. Enfin il serait intéressant d'étudier l'effet du mode de conduite sur la production de biomasse des ligneux, leur ingestion par les animaux, mais aussi sur leur valeur alimentaire et leurs teneurs en métabolites secondaires.

Ces travaux permettront aux éleveurs des milieux tempérés de mieux utiliser ces nouvelles ressources fourragères pour compléter la ration des ruminants en période estivale.

Remerciements : Les travaux présentés ici synthétisent les résultats acquis dans le cadre de 4 projets de recherche, à savoir le Casdar Arbele, le projet ADEME REACTIF Parasol, le FP7 AgForward et le projet de la Fondation Liséa Biodiversité Ruminarbre. Ces travaux ont également été soutenus par la Fondation de France dans le cadre d'une allocation post-doctorale de deux ans.

Tous nos remerciements vont également à Fabien Bourgoïn et Romain Perceau pour leur participation aux prélèvements et conditionnement des échantillons. Enfin nous remercions les relecteurs dont les remarques nous ont permis d'enrichir cet article.

Article accepté pour publication le 23 juin 2020

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Allen V. G., Batello C., Berretta E. J., Hodgson J., Kothmann M., Li X., McIvor J., Milne J., Morris C., Peeters A., Sanderson M. (2011). "An international terminology for grazing lands and grazing animals." *Grass Forage Sci.*, 66, 2-28.
- Alonso-Díaz M. A., Torres-Acosta J. F. J., Sandoval-Castro C. A., Hoste H., Aguilar-Caballero A. J., Capetillo-Leal C. M. (2008). "Is goats' preference of forage trees affected by their tannin or fiber content when offered in cafeteria experiments?" *Anim. Feed Sci. Technol.*, 141, 36-48.
- Ammar H., López S., and González J. S. (2005). "Assessment of the digestibility of some Mediterranean shrubs by in vitro techniques." *Anim. Feed Sci. Technol.*, 119(3), 323-331.
- Baumont R., Tran G., Chapoutot P., Maxin G., Sauvart D., Heuzé V., Lemosquet A., Lamadon A. (2018). "Tables INRA de la valeur des aliments utilisés en France et dans les régions tempérées." Alimentation des ruminants, Editions Quæ, Versailles (France), pp. 521-616.
- Benavides J. (2000). "Utilisation of Mulberry in Animal Production Systems." FAO Electronic Conference on Mulberry for Animal Production, FAO, ed.
- Carrère P., da S. Pontes L., Andueza D., Louault F., Rosseel D., Taini E., Pons B., Toillon S., Soussana J.-F. (2010). "Évolution de la valeur nutritive de graminées prairiales au cours de leur cycle de développement." *Fourrages*, 201, 27-35.
- Emile J. C., Barre P., Delagarde R., Niderkorn V., Novak S. (2017). "Les arbres, une ressource fourragère au pâturage pour des bovins laitiers ?" *Fourrages*, 230, 155-160.
- Emile J. C., Barre P., Bourgoïn F., Perceau R., Mahieu S., Novak S. (2018). "Effect of season and species on the nutritive value of leaves of high stem trees." 27th EGF General Meeting on "Sustainable meat and milk production from grasslands", B. Horan, D. Hennessy, M. O'Donovan, E. Kennedy, B. McCarthy, J. A. Finn, and B. O'Brien, eds., Teagasc, Cork (Ireland), 179-181.

- Goeritz M., Loges R., Taube F. (2010). "Yields and contents of condensed tannins of some forage legumes and herbs." 23th EGF General Meeting on "Grassland in a changing world", Kiel, Allemagne, 497-499.
- Grabber J. H., Zeller W. E., Mueller-Harvey I. (2013). "Acetone enhances the direct analysis of procyanidin- and prodelphinidin-based condensed tannins in Lotus species by the butanol-HCl-iron assay", *J. Agric. Food Chem.*, 61, 2669-2678.
- Güven I. (2012). "Effect of species on nutritive value of mulberry leaves." *Kafkas Univ Vet Fak Derg.*, 18, 865-869.
- Hermansen J.E., Kongsted A.G., Bestman M., Bondesan V., Gonzalez P., Luske B., Mcadam J., Mosquera-Losada M.R., Novak S., Pottier E., Smith J., Van Eekeren N., Vonk M., Burgess P.J. (2015). "Agroforestry Innovations to be evaluated for Livestock Farmers". Milestone 21 for EU FP7 Research Project: AGFORWARD 613520. 10 pp. <https://www.agforward.eu/index.php/fr/agroforestry-innovations-to-be-evaluated-for-livestock-farmers.html>
- Heuzé V., Thiollet H., Tran G. (2017). « Grape leaves and vine shoots ». Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://www.feedipedia.org/node/512> Last updated on May 10, 2017, 17:17
- Heuzé V., Tran G., Bastianelli D., Lebas F. (2019). "White mulberry (*Morus alba*)". Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://feedipedia.org/node/123> Last updated on November 13, 2019, 17:47
- Hoste H., Jackson F., Athanasiadou S., Thamsborg S.M., Hoskin S.O., 2006. "The effects of tannin-rich plants on parasitic nematodes in ruminants". *Trends Parasitol.*, 22, 253-261.
- INRA (2018). "Alimentation des ruminants", Editions Quæ, Versailles, France, 728 p.
- Jayanegara A., Leiber F., Kreuzer M. (2012). "Meta-analysis of the relationship between dietary tannin level and methane formation in ruminants from in vivo and in vitro experiments". *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 96, 365-375.
- Kandyli K., Hadjigeorgiou I., Harizanis P. (2009). "The nutritive value of mulberry leaves (*Morus alba*) as a feed supplement for sheep." *Trop Anim Health Prod.*, 41, 17-24.
- Legendre A. (2018). "Fourrages complémentaires, méteils, dérobées... de quoi parle-t-on ?" *Fourrages*, 233, 1-5.
- Luske B., van Eekeren N. (2018). "Nutritional potential of fodder trees on clay and sandy soils." *Agrofor. Syst.*, 92, 975-986.
- Mahieu S., Emile J. C., Barre P., Delagarde R., Novak S. (2019). "Effect of species, season and management practice on the nutritive value of fodder tree leaves." 4th world congress of agroforestry, CIRAD-INRA, Montpellier.
- Mebirouk-Boudechiche L., Cherif M., Abidi S., Bouzouraa I. (2015). "Composition chimique et facteurs antinutritionnels de quelques feuilles de ligneux fourragers des zones humides du nord-est de l'Algérie." *Fourrages*, 224, 321-328.
- Meschy F. (2017). Nutrition minérale des ruminants. Coll Savoir-faire, ed quae, 228 p.
- Meuret M. (1986). "Digestibility of holm-oak (*Quercus ilex*) fresh foliage by goats: first results." Proceedings, 2nd Mt., FAO Subnetwork on Goat Nutrition, Nancy, France p.14.
- Mosquera-Losada, M. R., Fernandez-Nunez, S., Rigueiro-Rodriguez, A. (2004). "Shrub and tree potential as animal food in Galicia, NW Spain." Towards the Sustainable Use of Europe's Forests - Forest Ecosystem and Landscape Research: Scientific Challenges and Opportunities, F. Andersson, Y. Birot, R. Paivinen, eds., 285-293.
- Oppong S. K., Kemp P. D., Douglas G. B., Foote A. G. (2001). "Browse yield and nutritive value of two *Salix* species and *Dorycnium rectum* in New Zealand." *Agrofor. Syst.*, 51, 11-21.
- Papachristou T. G., Papanastasis V. P. (1994). "Forage value of Mediterranean deciduous woody fodder species and its implication to management of silvo-pastoral systems for goats." *Agrofor. Syst.*, 27, 269-282.
- Papanastasis V. P., Yiakoulaki M. D., Decandia M., Dini-Papanastasi O. (2008). "Integrating woody species into livestock feeding in the Mediterranean areas of Europe." *Anim. Feed Sci. Technol.*, 140, 1-17.
- Patra A.K. (2010). "Effects of supplementing low-quality roughages with tree foliage on digestibility, nitrogen utilization and rumen characteristics in sheep: a meta-analysis". *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 94, 338-353.
- Penn J.-Y. (2018). "Sécuriser son système d'élevage avec des fourrages complémentaires : témoignage d'un éleveur laitier bio pratiquant l'agroforesterie fourragère." Journées AFPP - Fourrages complémentaires et sécurisation du système d'élevage, AFPP, ed. Paris, 132-133.
- Ramirez-Restrepo C. A., Barry T. N., Marriner A., López-Villalobos N., McWilliam E. L., Lassey K. R., Clark H. (2010). "Effects of grazing willow fodder blocks upon methane production and blood composition in young sheep." *Anim. Feed Sci. Technol.*, 155, 33-43.
- Salam M. M. A., Mohsin M., Kaipiainen E., Villa A., Kuittinen S., Pulkkinen P., Pelkonen P., Pappinen A. (2019). "Biomass growth variation and phytoextraction potential of four *Salix* varieties grown in contaminated soil amended with lime and wood ash." *Int. J. Phytoremediat.*, 21, 1329-1340.
- Sanchez M. D. (2000). "Utilisation of Mulberry in Animal Production Systems." FAO Electronic Conference on Mulberry for Animal Production, FAO, ed.
- Sauvant D., Chapoutot P., Ortigues-Marty I., Nozière P. (2018a). "Digestion et apports en nutriments énergétiques". INRA, 2018. Alimentation des ruminants, Editions Quæ, Versailles (France), pp. 47-64.
- Sauvant D., Lemosquet S., Chapoutot P., Nozière P. (2018b). "Digestion et apports en nutriments protéiques". INRA, 2018. Alimentation des ruminants. Editions Quæ, Versailles (France), pp. 65-83.
- Sigaut F. (1987). "L'arbre fourrager en Europe : rôle et évolution des techniques." *La forêt et l'élevage en région méditerranéenne française*, AFPP, ed., 45-53.
- Smith J., Kuoppala K., Yáñez-Ruiz D., Leach K., Rinne M. (2014). "Nutritional and fermentation quality of ensiled willow from an integrated feed and bioenergy agroforestry system in UK." Maataloustieteen Päivät 2014, M. Hakojärvi, N. Schulman, eds., SUOMEN MAATALOUSTIETEELLISEN SEURAN TIEDOTE Helsinki, 1-9.
- Smith J., Pearce B. D., Wolfe M. S. (2012). "A European perspective for developing modern multifunctional agroforestry systems for sustainable intensification." *Renew. Agr. Food Syst.*, 27, 323-332.
- Smith J., Westaway S., Whistance L. (2018). "Tree fodder in UK livestock systems: opportunities and barriers." 4th European Agroforestry Conference - Agroforestry as Sustainable Land Use, N. Ferreiro-Domínguez, and M. R. Mosquera-Losada, eds., European Agroforestry Federation and the University of Santiago de Compostela in Lugo (Spain), Nijmegen (The Netherlands), 324-327.
- Tozser D., Magura T., Simon E. (2017). "Heavy metal uptake by plant parts of willow species: A meta-analysis." *J. Hazard. Mater.*, 336, 101-109.
- Vu C. C., Verstegen M. W. A., Hendriks W. H., Pham K. C. (2011). "The Nutritive Value of Mulberry Leaves (*Morus alba*) and Partial Replacement of Cotton Seed in Rations on the Performance of Growing Vietnamese Cattle." *Asian Australas. J. Anim. Sci.*, 24, 1233-1242.
- Vandermeulen S., Ramírez-Restrepo C. A., Marche C., Decruyenaere V., Beckers Y., Bindelle J. (2018). "Behaviour and browse species selectivity of heifers grazing in a temperate silvopastoral system." *Agrofor. Syst.*, 92, 705-716.
- Vandermeulen S., Ramírez-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." *Anim. Prod. Sci.*, 58, 767-777.
- Waghorn G. (2008). "Beneficial and detrimental effects of dietary condensed tannins for sustainable sheep and goat production-Progress and challenges." *Anim. Feed Sci. Technol.*, 147, 116-139.

Annexe 1

Espèce	n	TMS	MM	MAT	NDF	ADF	ADL	TANc	DIGz	
		g/kgMB								g/kg MS
Arbres										
érable champêtre	<i>Acer campestre L.</i>	4	494	68	133	412	200	80	19	60,0
érable sycomore	<i>Acer pseudoplatanus L.</i>	12	398	75	129	387	213	93	21	63,8
aulne de Corse	<i>Alnus cordata (Loisel.)</i>	14	387	63	171	423	292	195	13	62,8
aulne glutineux	<i>Alnus glutinosa L.</i>	7	349	56	189	446	286	158	13	64,9
aulne blanc	<i>Alnus incana L.</i>	11	355	63	187	516	361	218	12	61,4
châtaignier	<i>Castaena sativa Mill.</i>	9	413	48	136	405	240	78	3	64,3
noisetier	<i>Coryllus avellana L.</i>	9	443	69	142	458	239	120	72	51,7
hêtre	<i>Fagus sylvatica L.</i>	2	521	40	139	459	242	104	54	44,4
figuier	<i>Ficus carica L.</i>	3	260	147	168	305	185	37	2	81,5
frêne d'Amérique	<i>Fraxinus americana L.</i>	2	372	97	132	333	222	86	6	70,4
frêne commun	<i>Fraxinus excelsior L.</i>	31	396	90	141	361	231	98	2	72,2
févier	<i>Gleditsia triacanthos L.</i>	2	478	83	113	402	261	144	44	54,5
noyer noir	<i>Juglans nigra L.</i>	6	360	119	123	361	235	89	15	71,5
noyer commun	<i>Juglans regia L.</i>	8	337	104	150	357	231	93	21	70,2
noyer hybride	<i>Juglans x intermedia</i>	4	379	102	143	328	204	90	27	70,1
pommier	<i>Malus Mill.</i>	4	394	94	108	290	170	64	-	79,6
mûrier blanc	<i>Morus alba L.</i>	17	365	144	153	274	132	37	2	83,6
paulownia	<i>Paulownia tomentosa L.</i>	9	268	87	128	465	357	161	2	58,4
merisier	<i>Prunus avium L.</i>	6	426	96	117	396	174	79	21	71,9
poirier	<i>Pyrus communis L.</i>	2	453	53	118	340	178	73	23	75,3
chêne vert	<i>Quercus ilex L.</i>	4	546	38	81	580	380	139	40	46,0
chêne rouge d'Amérique	<i>Quercus rubra L.</i>	2	471	40	138	516	275	136	13	58,9
chêne liège	<i>Quercus suber L.</i>	3	525	41	121	550	344	151	14	53,3
robinier	<i>Robinia pseudoacacia L.</i>	9	370	64	219	474	274	133	145	49,0
saule blanc	<i>Salix alba L.</i>	9	325	85	171	393	233	123	43	66,2
saule marsault	<i>Salix caprea L.</i>	5	407	79	160	319	165	77	39	74,4
saule des vanniers	<i>Salix viminalis L.</i>	5	424	62	161	383	216	120	115	58,5
cormier	<i>Sorbus domestica L.</i>	4	504	76	87	329	199	85	47	65,0
tilleul	<i>Tilia platyphyllos Scop.</i>	11	335	119	161	406	190	76	26	59,8
orme Lutèce	<i>Ulmus 'Nanguen'</i>	14	400	123	120	368	144	49	44	61,4
orme champêtre	<i>Ulmus minor Mill.</i>	12	386	125	124	393	139	45	39	59,2
Arbustes										
buis	<i>Buxus sempervirens L.</i>	2	444	65	174	449	300	177	1	63,1
cornouiller sanguin	<i>Cornus sanguinea L.</i>	2	451	126	90	212	115	36	3	89,4
aubépine	<i>Crataegus monogyna Jacq.</i>	3	508	82	126	397	174	85	37	74,5
bourdaine	<i>Frangula alnus Mill.</i>	2	359	90	142	345	149	61	9	82,3
houx	<i>Ilex aquifolium L.</i>	3	413	54	76	506	365	139	1	53,5
troène	<i>Ligustrum L.</i>	1	436	45	112	261	177	121	-	84,1
néflier	<i>Mespilus germanica L.</i>	2	469	74	102	435	222	94	36	68,0
prunellier	<i>Prunus spinosa L.</i>	3	456	85	160	298	147	79	24	84,0
églantine	<i>Rosa canina L.</i>	3	455	68	119	364	162	66	8	82,8
ronce	<i>Rubus fruticosus L.</i>	6	434	53	140	374	186	53	3	70,4
framboisier	<i>Rubus idaeus L.</i>	2	301	101	211	476	243	46	4	69,7
sureau	<i>Sambucus nigra L.</i>	2	257	129	192	253	157	58	5	82,6
lilas	<i>Syringa vulgaris L.</i>	3	317	102	139	285	188	100	2	75,0
viorne lantane	<i>Viburnum lantana L.</i>	2	600	89	82	323	217	106	37	66,8

...

TABLEAU 1 : Composition chimique (en g/kg de MS) et digestibilité enzymatique in vitro des feuilles de ligneux et d'herbacées collectées en août de 2014 à 2017 (valeurs médianes par espèce)

Table 1: Chemical composition (in g/kg of DM) and in vitro enzymatic digestibility of leaves from woody and herbaceous species sampled in August between 2014 and 2017 (median values per species are shown).

Espèce	n	TMS	MM	MAT	NDF	ADF	ADL	TANc	DIGz		
		g/kgMB								g/kg MS	
Lianes											
kiwi		<i>Actinidia deliciosa (A.Chev.)</i>	3	240	122	134	428	245	98	66	64,9
bignone		<i>Campsis radicans Seem.</i>	3	282	62	142	373	239	98	2	66,8
lierre		<i>Hedera helix L.</i>	6	374	65	81	383	286	125	1	72,8
jasmin d'hiver		<i>Jasminum nudiflorum Lindl.</i>	1	376	69	159	289	167	85	-	84,2
chèvrefeuille des bois		<i>Lonicera periclymenum L.</i>	3	355	90	128	342	241	150	2	76,5
grenadille		<i>Passiflora edulis (Sims)</i>	3	266	138	184	270	145	44	4	87,4
vigne		<i>Vitis sp.</i>	25	296	63	112	343	269	185	69	64,5
Herbacées											
chicorée		<i>Cichorium intybus L.</i>	5	147	160	206	234	160	41	2	88,9
dactyle		<i>Dactylis glomerata L.</i>	3	403	86	126	628	303	55	2	65,6
ray-grass anglais		<i>Lolium perenne L.</i>	2	368	90	120	586	308	36	2	62,4
ray-grass hybride		<i>Lolium x hybridum Hausskn.</i>	2	463	89	63	511	280	27	3	64,1
luzerne		<i>Medicago sativa L.</i>	7	349	91	159	431	300	77	1	64,3
sainfoin		<i>Onobrychis viciifolia Scop.</i>	3	324	81	198	240	152	54	99	74,6
plantain		<i>Plantago lanceolata L.</i>	3	182	152	169	299	184	68	4	86,2
rumex		<i>Rumex crispus L.</i>	3	259	111	169	184	139	29	27	78,0

TABLEAU 1 (SUITE) : Composition chimique (en g/kg de MS) et digestibilité enzymatique in vitro des feuilles de ligneux et d'herbacées collectées en août de 2014 à 2017 (valeurs médianes par espèce) n : nombre de prélèvements pour cette espèce

TMS (teneur en matière sèche), MB (matière brute), MS (matière sèche), MM (matières minérales), MAT (matières azotées totales), NDF/ADF (fibres insolubles dans les détergents neutres/acides), ADL (lignines insolubles dans les détergents acides), TANc (tanins condensés), DIGz (digestibilité enzymatique in vitro de la MS)

Table 1 : Chemical composition (in g/kg of DM) and in vitro enzymatic digestibility of leaves from woody and herbaceous species sampled in August between 2014 and 2017 (median values per species are shown).

Annexe 2

Espèce	n	Macro-éléments					Micro-éléments			
		P	Ca	Mg	Na	K	Cu	Fe	Mn	Zn
		g/kg MS					mg/kg MS			
Arbres										
érable champêtre	2	1,86	10,70	2,86	0,05	12,4	7,6	138,0	507,0	70,3
érable sycomore	12	1,84	14,85	1,99	0,11	12,3	7,1	77,8	108,7	27,6
aulne de Corse	12	1,37	15,60	1,76	0,26	11,9	6,9	78,2	205,5	30,4
aulne glutineux	5	1,91	14,90	3,12	0,15	6,2	8,4	102,0	135,0	43,9
aulne blanc	11	1,54	13,20	2,57	0,10	14,9	8,1	110,0	481,0	50,3
châtaignier	6	1,85	6,11	2,28	0,16	12,0	7,9	61,1	275,5	29,4
noisetier	6	2,07	13,65	2,97	0,17	14,4	5,8	79,1	206,6	17,8
hêtre	2	1,41	8,88	1,62	0,42	6,8	5,8	66,1	224,5	37,5
figuier	2	1,61	37,00	7,59	0,24	27,1	4,0	116,0	62,3	24,0
frêne d'Amérique	2	2,75	28,30	4,13	0,12	13,7	8,9	84,0	30,7	22,7
frêne commun	26	1,76	20,10	3,24	0,09	15,6	7,7	84,7	32,9	15,5
févier	2	2,01	25,45	1,08	0,21	10,3	4,5	93,2	27,3	18,8
noyer noir	6	4,89	25,50	4,33	0,11	22,0	9,4	117,0	51,6	25,7
noyer commun	7	1,70	17,80	2,48	0,10	21,4	4,7	103,0	234,0	29,1
noyer hybride	4	1,92	27,90	4,09	0,08	16,8	7,9	80,2	59,9	30,5
mûrier blanc	14	2,42	31,35	2,99	0,10	23,7	4,5	65,8	27,5	22,7
paulownia	9	1,92	16,40	1,85	0,07	17,8	14,9	204,0	47,6	18,4
merisier	6	1,73	22,10	4,27	0,08	17,0	7,6	84,7	27,1	15,2
poirier	2	1,58	11,45	2,38	0,59	10,5	5,9	209,5	35,0	24,0
chêne vert	2	0,97	8,90	1,59	0,08	5,8	4,1	90,4	132,8	21,8
chêne liège	2	1,64	8,93	1,32	0,13	8,4	6,7	99,2	240,0	39,5
robinier	6	1,80	10,50	1,60	0,09	18,3	7,3	72,6	388,5	24,5
saule blanc	9	1,92	19,10	2,74	0,04	19,2	6,6	82,5	58,3	58,8
saule marsault	5	3,54	15,40	1,50	0,12	17,6	6,6	77,0	77,2	200,0
saule des vanniers	5	1,75	9,81	1,74	0,50	14,3	5,5	95,5	94,4	53,8
cormier	4	2,17	18,65	2,64	0,48	12,1	5,2	89,7	23,2	8,4
tilleul	9	3,11	31,60	4,25	0,19	14,0	7,8	92,5	36,5	18,0
orme Lutèce	12	1,98	18,10	2,88	0,25	17,3	5,4	121,5	49,6	16,6
orme champêtre	12	3,06	20,90	2,66	0,29	14,8	4,7	136,5	46,7	16,1

TABEAU 2 : Composition en minéraux des feuilles de ligneux et d'herbacées prélevées en août 2014 à 2017 (valeurs médianes par espèce).

Table 2: Mineral composition of leaves from woody and herbaceous species sampled in August between 2014 and 2017 (median values per species are shown).

Espèce	n	Macro-éléments					Micro-éléments			
		P	Ca	Mg	Na	K	Cu	Fe	Mn	Zn
		g/kg MS					mg/kg MS			
Arbustes										
buis	2	1,35	15,35	3,01	0,18	9,9	3,9	86,2	40,1	11,6
cornouiller sanguin	2	3,19	36,30	3,69	0,04	9,9	3,6	96,3	39,8	9,2
aubépine	2	1,51	18,35	3,39	0,28	13,4	4,8	211,0	116,9	16,8
bourdaine	2	4,93	19,55	3,10	0,08	19,6	3,6	119,9	286,5	23,7
houx	2	2,01	12,55	3,61	0,11	11,6	7,4	44,2	92,1	88,6
néflier	2	5,19	14,45	2,59	0,16	15,8	6,7	82,9	189,5	21,6
prunellier	2	1,38	10,97	2,16	0,19	32,2	4,8	200,0	144,5	19,7
églantine	2	1,77	13,70	3,04	0,14	13,9	4,4	134,5	167,5	13,5
ronce	5	0,91	8,28	4,32	0,12	12,0	6,7	104,0	1090,0	20,8
framboisier	2	2,19	12,80	4,83	0,13	31,9	5,6	170,0	43,4	17,1
sureau	2	2,67	18,65	8,15	0,10	35,1	4,6	91,3	94,5	41,9
lilas	2	2,05	15,65	3,24	0,03	29,5	8,5	88,0	158,0	190,0
viorne lantane	2	4,09	20,35	2,75	0,07	17,75	4,73	168,50	193,00	42,95
Lianes										
kiwi	2	2,72	24,85	3,61	0,06	28,4	8,2	81,7	49,1	21,5
bignone	2	2,54	11,25	2,47	0,05	18,3	30,7	74,1	46,7	25,8
lierre	5	0,96	15,60	3,68	0,83	12,2	4,1	72,0	477,0	61,6
chèvrefeuille des bois	2	1,92	12,80	3,59	0,09	26,5	5,5	74,6	57,1	21,9
grenadille	2	4,30	25,90	1,99	0,21	37,5	10,3	83,2	92,2	160,0
vigne	15	2,09	13,40	2,51	0,15	16,1	5,3	101,0	152,0	30,8
Herbacées										
chicorée	5	4,76	16,10	2,96	3,12	53,5	13,7	92,8	101,0	68,1
dactyle	3	2,43	6,13	1,84	1,38	29,5	4,6	82,8	168,0	21,3
ray-grass anglais										
ray-grass hybride	2	3,43	6,99	1,97	0,22	28,3	3,6	47,0	58,4	11,8
luzerne	5	2,74	18,00	2,67	0,29	24,9	6,9	102,0	71,8	23,8
sainfoin	3	2,22	12,40	2,49	0,10	23,4	6,2	121,0	84,2	29,8
plantain	3	3,01	30,70	1,79	4,94	30,0	11,4	94,4	59,6	35,8
rumex	3	2,08	8,22	6,74	0,23	38,0	3,7	90,9	155,0	18,4

TABLEAU 2 (SUITE) : Composition en minéraux des feuilles de ligneux et d'herbacées prélevées en août 2014 à 2017 (valeurs médianes par espèce)

Table 2 : *Mineral composition of leaves from woody and herbaceous species sampled in August between 2014 and 2017 (median values per species are shown).*

Annexe 3

AU-B	aulne blanc	ER-C	érable champêtre	NEFL	néflier	SA-B	saule blanc
AUBE	aubépine	ER-S	érable sycomore	NO-C	noyer commun		
AU-C	Corse aulne	FEVI	févier	NO-H	noyer hybride	SAIN	sainfoin
AU-G	glutineux	FIGU	figuier	NOIS	noisetier	SA-M	saule marsault
BIGN	bignone	FR-A	frêne d'Amérique	NO-N	noyer noir	SA-V	saule des vanniers
BOUR	bourdaine	FRAM	framboisier	OR-C	orme champêtre	SUR	sureau
BUIS	buis	FR-C	frêne commun	OR-I	orme Lutèce	TILL	tilleul
CHAT	châtaignier	GREN	grenadille	PAUL	paulownia	TROE	troène
CHEV	chèvrefeuille	HETR	hêtre	PLAN	plantain	VIGN	vigne
CHIC	chicorée	HOUX	houx	POIR	poirier	VIOR	viorne lantane
CH-L	chêne liège	JASM	jasmin d'hiver	POMM	pommier		
CH-R	chêne rouge	KIWI	kiwi	PRUN	prunellier		
CH-V	chêne vert	LIER	lierre		ray-grass anglais		
CORM	cormier	LILA	lilas	RGAN	ray-grass hybride		
CO-S	cornouiller	LUZE	luzerne	ROBI	robinier		
DACT	dactyle	MERI	merisier	RONC	ronce		
EGLA	églantine	MU-B	mûrier blanc	RUME	rumex		

TABLEAU 3 (COMPLEMENT DE LA FIGURE 1) : Relation entre les valeurs médianes de teneur en MAT et de DIGz des feuilles de ligneux et d'herbacées prélevées en août 2014 à 2017.

Table 3: Relationship between the median values of CP and DIGz for leaves from woody and herbaceous species sampled in August between 2014 and 2017.