

Aliments protéiques dans les systèmes mixtes intégrés polyculture-élevage en régions tropicales

Harry ARCHIMÈDE¹, Denis BASTIANELLI², Audrey FANCHONE¹, Jean-Luc GOURDINE¹, Louis FAHRASMANE¹

¹ INRA, UR143, Unité de Recherches Zootechniques, Guadeloupe, French West Indies

² SELMET, CIRAD, INRA, Montpellier SupAgro, 34000, Montpellier, France

Courriel : harry.archimede@inra.fr

■ Pour les systèmes d'élevage des régions tropicales la complémentation en protéines des rations est un enjeu peut-être encore plus crucial qu'en régions tempérées. L'utilisation de cultures duales, pouvant être utilisées à la fois pour l'alimentation de l'Homme et des animaux, offre des perspectives intéressantes comme alternative au tourteau de soja.

Introduction

La résilience des agrosystèmes tropicaux face aux changements climatiques et leur potentiel à contribuer à la sécurité alimentaire dépend, en partie, du développement de pratiques agro-écologiques (Archimède *et al.*, 2014). Certaines de ces pratiques sont déjà effectives notamment au sein des Systèmes Mixtes Intégrés Polyculture-Élevage (SMIPE) (Altieri et Nicholls, 2012) qui fournissent plus de 60 % des produits animaux dans ces régions (Herero *et al.*, 2010). Cependant, en régions tropicales, les profils des agrosystèmes incluant de l'élevage sont variés : systèmes agroforestiers alimentaires (ou vivrier), systèmes mixtes polyculture-élevage avec différents niveaux d'intégration, systèmes spécialisés d'élevage, etc. Ils produisent une large gamme de ressources utilisables comme ingrédients énergétiques et/ou protéiques des rations. Les animaux présents dans ces agrosystèmes ont des fonctions diverses et fournissent de nombreux services écosystémiques (MEA, 2005) : production d'aliments protéiques (viande, lait, œufs), force

de travail, production de fumure organique, valorisation de ressources fourragères, lutte contre l'enherbement. Les pondérations entre ces différentes fonctions conduisent à des appréciations différentes de l'intérêt ou non de certaines ressources végétales pour l'alimentation animale. Comme l'animal d'élevage, la ressource végétale peut aussi avoir plusieurs fonctions autres qu'alimentaire : alicament, plante de services (couverture du sol, engrais vert, répulsion des pathogènes...). Parmi ces ressources, les légumineuses, ont en plus la caractéristique de pouvoir fixer l'azote atmosphérique et le phosphore soluble dans le sol, réduisant leur dépendance aux fertilisants et rendant les minéraux disponibles pour les autres plantes (Bossuet et Vadez, 2013 ; Schultze-Kraft *et al.*, 2018).

L'intérêt et la valeur alimentaire de ces ressources protéiques varient avec leurs caractéristiques intrinsèques (phytochimie, teneur et digestibilité des protéines, profil en acides aminés...) et celles des animaux cibles (ruminants vs monogastriques, espèces, stades physiologiques...). Généralement les ressources les moins fibreuses sont réservées aux

monogastriques. Cependant dans certains agrosystèmes l'utilisation de fourrages tant pour les ruminants que pour les monogastriques non herbivores a été développée comme alternative au modèle céréale/tourteau afin : *i*) de valoriser la biodiversité locale; *ii*) de réduire la concurrence entre l'Homme et l'animal pour l'utilisation des ressources alimentaires. Les concepts « food-feed » et « food-feed-fuel » (Preston, 2009) ont émergé avec comme conséquence une évaluation multicritère des ressources végétales et du fractionnement des récoltes de ressources cultivées, en aliment pour l'Homme, aliment pour l'animal et combustible, permettant une valorisation optimale.

Des travaux ont été réalisés en zone tropicale sur la valeur alimentaire de nombreuses ressources riches en protéines : légumineuses herbacées, feuilles d'arbres et arbustes fourragers, coproduits de cultures, légumineuses à graines, coproduits industriels d'oléo-protéagineux et de protéagineux, etc. En plus de ces ressources végétales, d'autres sources protéiques ont été étudiées : levures et micro-organismes, algues, insectes, vers de terre, etc. L'encyclopédie en ligne

des aliments Feedipedia (<https://www.feedipedia.org/>) présente des données qualitatives sur la valeur alimentaire de la plupart de ces ressources.

Cette synthèse porte principalement sur les ressources végétales produites et potentiellement disponibles dans les Systèmes Mixtes Intégrés Polyculture-Élevage (SMIPE), qui permettent une coexistence synergique entre les cultures alimentaires et l'élevage en zone tropicale (Herrero *et al.*, 2010). Notre objectif n'est pas de présenter un panorama exhaustif mais de tenter de dégager des lois générales et des principes d'utilisation pour les familles de ressources les plus utilisées, qui seront illustrées par quelques exemples. Ces ressources ont été choisies car relativement bien documentées et largement utilisées en zone tropicale.

1. Typologie et usage des ressources protéiques

Les ressources protéiques sont souvent comparées au soja qui sert de référence car il est l'une des principales

sources concentrées de protéines, base de la plupart des systèmes intensifs dans le monde. Or, si la culture du soja est efficace dans des régions dont les caractéristiques agronomiques sont favorables et dans lesquelles la disponibilité foncière est élevée, de nombreuses ressources ont un potentiel de production de protéines relativement élevé comparativement au soja comme l'illustre la *figure 1*.

La teneur en fibres (NDF, ADF) est un critère discriminant de l'utilisation efficace des ressources végétales même quand elles sont très riches en protéines. Les fibres affectent différemment la digestibilité de la matière organique des aliments selon qu'ils soient consommés par des ruminants ou des monogastriques non herbivores. Ainsi, les feuillages sont faiblement digérés par les porcs. Les monogastriques non herbivores sont aussi plus sensibles à certains métabolites secondaires aux activités antinutritionnelles. Enfin, il convient d'analyser les ressources végétales au regard de leur profil en acides aminés qui diffère inter- et intra-ressources (*tableau 1*). Sur ce critère, les ruminants sont moins tributaires du

profil en acides aminés des aliments du fait de la synthèse de protéines microbiennes dans leur tube digestif.

Indépendamment de leur valeur nutritionnelle, les ressources protéiques peuvent être classées selon différents critères. Ici, les ressources ont été classées sur la base de leurs contributions aux principaux services écosystémiques rendus par les agrosystèmes. Ces services sont regroupés en quatre catégories (MEA, 2005) : *i*) approvisionnement (production de nourriture, composés biochimiques, matières premières...); *ii*) régulation (régulation des pathogènes et nuisibles, modification du climat...); *iii*) culturel (agrément, (éco) tourisme...); *iv*) auto-entretien (constitution des sols, recyclage des nutriments...). Une pondération de ces services est toutefois nécessaire dans le contexte de la recherche de la souveraineté alimentaire, de lutte contre le réchauffement climatique et de la prise en compte des contraintes inhérentes aux SMIPE des régions tropicales.

La fonction première des SMIPE est de produire des vivres pour l'Homme. Les aliments spécialisés pour l'animal sont des composantes d'ajustement de ces systèmes. Ces systèmes sont plus ou moins complexes et riches en espèces végétales en fonction des contextes historiques, pédoclimatiques, socio-culturels. Les systèmes les plus complexes se composent de plusieurs strates de végétations (arborée, arbustive, herbacée) dont les cycles d'exploitation sont infra-annuels à pluriannuels. La disponibilité des biomasses alimentaires les plus abondantes, valorisables par les animaux, est souvent discontinuée car calée sur les cycles de production des cultures vivrières. L'utilisation optimale des « aliments » pour animaux nécessite donc la mise en place de stratégies de conservation, le séchage généralement, pour les rendre disponibles toute l'année.

Sous la poussée démographique en région tropicale, la disponibilité en terres est devenue un facteur limitant qui conduit à avoir un nouveau regard sur la production de ressources végétales. La production de certains vivres énergétiques (racines et tubercules) et protéiques (légumineuses à graines) s'accompagne de coproduits fibreux

Figure 1. Productivité (protéines et protéines digestibles, t/ha/an) de certaines ressources tropicales (source Feedipedia. www.feedipedia.org).

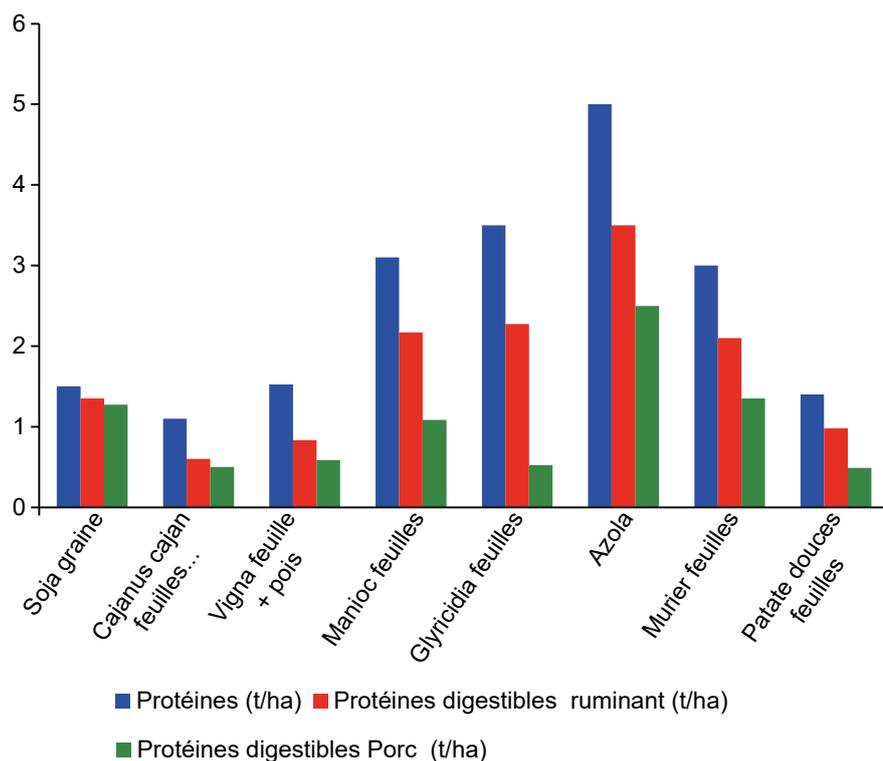


Tableau 1. Composition en matières azotées totales et acides aminés de certains fourrages disponibles dans les régions tropicales.

Réf	Aliment	Acides Aminés (g/kg de protéines brutes)													MAT (% MS)
		Arg	Hist	Isoleu	Leu	Lys	Met	Phen	Threo	Tryp	Val	Cyst	Tyr		
1	Azolla filiculoides	6,1	2,4	4,5	9,2	5,0	1,4	5,2	5,3	1,5	6,0	1,9	3,5	23,2	
10	Feuillage d'arachide, <i>Arachis hypogæa</i>	5,2	1,9	3,7	7,0	4,1	0,9	5,4	4,0	ND	5,1	ND	3,8	17,5	
5	Feuilles de leucène, <i>Leucaena leucocephala</i>	6,4	2,4	4,5	8,0	5,9	2,1	5,5	4,1	ND	5,6	0,5	3,7	25,5	
4	Feuilles de leucène, <i>Leucaena leucocephala</i>	5,0	1,9	3,7	6,2	4,0	ND	4,3	4,2	ND	4,8	ND	ND	27,9	
10	Feuilles de leucène, <i>Leucaena leucocephala</i>	5,7	2,0	4,1	7,9	5,8	1,2	5,6	4,0	ND	5,3	ND	4,3	28,3	
8	Graines de leucène, <i>Leucaena leucocephala</i>	4,0	1,8	9,5	5,8	4,3	1,3	3,9	3,3	ND	4,7	1,4	3,7	25,9	
3	Feuilles de malanga, <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	5,0	1,9	3,7	7,5	5,6	1,8	4,7	4,2	1,3	4,8	1,3	4,9	17,0	
9	Feuilles de malanga, <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	3,0	1,0	2,4	4,2	2,6	0,8	2,6	2,2	1,0	2,9	0,6	2,1	16,3	
3	Tiges de malanga, <i>Xanthosoma sagittifolium</i>	3,1	1,5	2,6	4,9	4	1,1	2,9	2,9	0,8	3,8	1,3	2,9	9,1	
3	Feuilles de murier, <i>Morus alba</i>	5,3	2,1	4,3	8,2	5,7	1,6	5,2	4,6	1,1	5,4	1,3	3,4	16,0	
3	Feuilles de trichanthera, <i>Trichanthera gigantea</i>	4,9	2,2	4,1	7,2	4,3	1,5	4,6	4,3	1,0	5,0	1,4	3,3	16,6	
5	Feuilles de <i>Boehmeria nivea</i>	6,7	3,1	5,0	8,1	6,4	2,7	5,5	4,8	ND	5,9	1,4	3,1	27,6	
4	Feuilles de centrosena, <i>Centrosema pubescens</i>	3,5	1,6	3,2	5,0	3,3	ND	3,6	3,1	ND	4,2	ND	ND	19,8	
5	Feuilles de manioc <i>Manihot esculenta</i>	7,2	2,8	4,5	3,3	5,5	2,3	4,5	3,5	ND	8,6	0,5	4,6	37,6	
4	Feuilles de manioc, <i>Manihot esculenta</i>	5,4	2,1	4,3	7,1	4,3	ND	4,8	4,4	ND	5,4	ND	ND	28,0	
9	Feuilles de manioc, <i>Manihot esculenta</i>	1,9	0,7	1,7	2,9	1,9	0,6	1,9	1,4	0,7	2,0	0,5	1,4	23,1	
6	Feuilles de manioc, <i>Manihot esculenta</i>	ND	2,2	4,1	8,7	5,1	1,6	ND	4,4	ND	5,9	ND	ND	26,4	
10	Feuilles de patates douces, <i>Ipomea batatas</i>	5,9	1,9	4,4	8,8	5,6	1,5	5,7	4,0	ND	5,3	ND	4,0	26,4	
3	Feuilles de patates douces, <i>Ipomea batatas</i>	5,3	2,1	3,9	8,5	4,6	1,4	7,1	5,0	ND	5,7	ND	4,3	28,2	
9	Feuilles de patates douces, <i>Ipomea batatas</i>	2,0	0,8	1,6	2,8	1,7	0,6	1,8	1,6	0,7	2,1	0,4	1,4	22,5	
6	Feuilles de patates douces, <i>Ipomea batatas</i>	5,3	2,1	3,9	8,5	4,3	1,4	7,1	5,0	4,3	5,7	3,2	4,3	28,2	
4	Fanes de patates douces, <i>Ipomea batatas</i>	4,5	1,6	3,9	6,7	3,2	ND	4,3	4,4	ND	5,1	ND	ND	17,6	
9	Feuilles d'erythrina, <i>Erythrina glauca</i>	1,5	0,6	1,1	1,9	1,5	0,4	1,4	1,0	0,5	1,6	0,3	1,1	28,0	
4	Feuilles de moringa, <i>Moringa oleifera</i> .	5,7	1,9	3,8	6,2	3,8	ND	6,6	4,2	ND	4,8	ND	ND	32,0	
5	Feuilles de pois d'Angole, <i>Cajanus cajan</i>	5,7	2,7	5,1	8,8	5,9	2,0	5,5	4,6	ND	6,3	0,4	3,5	20,0	

Réf	Aliment	Acides Aminés (g/kg de protéines brutes)													MAT (% MS)
		Arg	Hist	Isoleu	Leu	Lys	Met	Phen	Threo	Tryp	Val	Cyst	Tyr		
4	Feuilles de pois d'angole, <i>Cajanus cajan</i>	5,6	2,2	4,8	7,8	4,8	ND	5,3	4,6	ND	6,0	ND	ND	21,7	
7	Graines de pois d'angole, <i>Cajanus cajan</i>	13,5	7,9	7,7	16,5	14,8	2,7	22,2	8,2	ND	8,7	5,5	5,5	22,0	
2	Fourrage de glycine jeune, <i>Glycine wightii</i>	5,4	2,2	4,8	8,6	6,0	1,5	5,3	5,1	ND	5,8	ND	3,6	16,9	
2	Fourrage de glycine vieux, <i>Glycine wightii</i>	4,9	2,2	5,0	8,5	5,5	1,5	6,0	5	ND	5,8	ND	3,6	16,6	
2	Fourrage de glycine jeune, <i>Neonotonia wightii</i>	5,4	2,1	4,8	9,0	5,1	0,6	5,1	5,2	ND	6,0	ND	3,5	27,0	
2	Fourrage de glycine vieux, <i>Neonotonia wightii</i>	3,8	2,2	4,9	8,8	5,6	1,1	5,2	5,1	ND	6,0	ND	3,5	24,8	
4	Fourrage de kudzu, <i>Pueraria phaseoloides</i>	4,2	1,9	3,8	6,1	3,4	ND	4,5	4,4	ND	4,8	ND	ND	18,0	
2	Fourrage de siratro jeune, <i>Macroptilium atropurpureum</i>	5,4	2,0	5,1	8,9	5,4	1,5	6,1	5,4	ND	6,0	ND	4,0	17,9	
2	Fourrage de siratro vieux, <i>Macroptilium atropurpureum</i>	5,7	2,1	5,1	8,8	5,4	1,6	6	5,3	ND	6,1	ND	3,7	19,1	
4	Fourrage de mucuna, <i>Mucuna periens</i>	3,7	1,7	3,6	5,6	3,2	ND	3,8	3,6	ND	4,5	ND	ND	22,8	
4	Fourrage de niébé, <i>Vigna unguiculata</i>	3,2	1,4	3,4	5,4	3,2	1,3	3,5	3,6	ND	4,4	ND	1,7	16,6	
4	Fourrage de niébé, <i>Vigna unguiculata</i>	5,1	1,9	3,8	6,4	3,3	ND	4,9	4,9	ND	4,9	ND	ND	27,2	
4	Fourrage de <i>Psophocarpus candes</i>	3,2	1,5	3,2	5,3	3,8	1,4	3,4	3,6	ND	4,1	ND	1,7	20,7	
4	Fourrage de <i>Pueraria phaseoloides</i>	3,2	1,6	3,3	5,3	3,8	1,2	3,4	3,6	ND	4,3	ND	1,7	14,5	
5	Fourrage de soja pérenne	6,0	2,9	4,5	8,0	6,4	2,2	5,3	4,3	ND	5,4	0,5	2,8	26,0	
4	Fourrage de stylosanthes, <i>Stylosanthes guianensis</i>	3,2	1,6	3,0	4,9	3,1	1,2	3,2	3,2	ND	3,9	ND	1,5	15,5	
4	Fourrage de stylosanthes, <i>Stylosanthes guianensis</i>	5,2	2,1	4,0	6,6	3,6	ND	5,1	4,8	ND	4,8	ND	ND	18,2	
7	Graines Canavalia, <i>Canavalia ensiformis</i>	11,9	8,6	9,8	17,0	17,0	2,7	12,9	8,6	ND	11,4	6,8	8,1	20,8	
3	Graines de maïs, <i>Zea mays</i>	3,7	1,0	1,7	3,3	2,8	0,7	2,4	2,8	0,5	3,5	1,5	0,5	8,1	
1	<i>Salvinia molesta</i>	5,5	2,1	4,6	8,8	4,9	1,7	5,5	5,5	1,4	6,1	1,9	3,0	12,9	

Ref: 1) Leterme et al., 2009 ; 2) Tokita et al., 2006 ; 3) Leterme et al., 2006 ; 4) Kambashi et al., 2014 ; 5) Miranda et al., 2012 ; 6) An et al., 2003 ; 7) Ade-Omowaye et al., 2015 ; 8) Ly et al., 1998 ; 9) Régnier et al., 2012 ; 10) Phuc et Lindberg, 2001.

riches en protéines. Ces coproduits de cultures vivrières sont des ressources stratégiques car leur emprise sur le sol est nulle si on fait l'hypothèse que leur vocation première est de produire des aliments pour l'Homme. Ces ressources émergent à la catégorie des plantes duales ou « *feed-food* ». Les arbres et arbustes fourragers ont un autre statut tout aussi important surtout lorsque ce sont des plantes alimentaires. Ils contribuent à toutes les catégories de services écosystémiques. Ils tendent à s'imposer dans les agrosystèmes car, en plus de l'apport d'aliments, ils résistent davantage à la sécheresse et contribuent à recycler les minéraux lessivés dans les horizons inférieurs des sols. Les fruits sont consommés par l'Homme et/ou l'animal, les feuilles sont des fourrages alors que les fractions les plus lignifiées de la biomasse sont des combustibles pour la production d'énergie à la ferme. Cette catégorie de ressource correspond aux « *feed-food-fuel* » ou « aliments vs carburants ».

Les légumineuses fourragères, classées « *feed* », sont peu utilisées en alimentation animale comparativement aux graminées (Shelton *et al.*, 2005). Au sein de ce groupe, la culture de légumineuses fourragères annuelles est peu pratiquée dans les SMIPE alors que les légumineuses pérennes sont présentes dans les agrosystèmes forestiers où elles sont à la fois des plantes de couverture et des aliments (banque protéique) pour les animaux d'élevage. Leur potentiel à être source d'ombrage est alors un atout. Dans les SMIPE, on peut les retrouver sur des jachères longues. Le choix des légumineuses est déterminé à la fois par la production de biomasse et leur valeur alimentaire, mais aussi par leur capacité à enrichir le sol (en azote notamment) pour les cultures à venir. Cette dernière propriété est favorisée par le développement plus ou moins important de rhizobium sur les racines des légumineuses. Les apports d'azote peuvent dépasser 100 kg N/ha (Muhr *et al.*, 1997). La concentration en Matières Azotées Totales (MAT) de la partie consommable varie de 60 à 300 g/kg MS en fonction de l'espèce et du mode de gestion.

Certains métabolites secondaires dont les Tannins Condensés (TC), sont

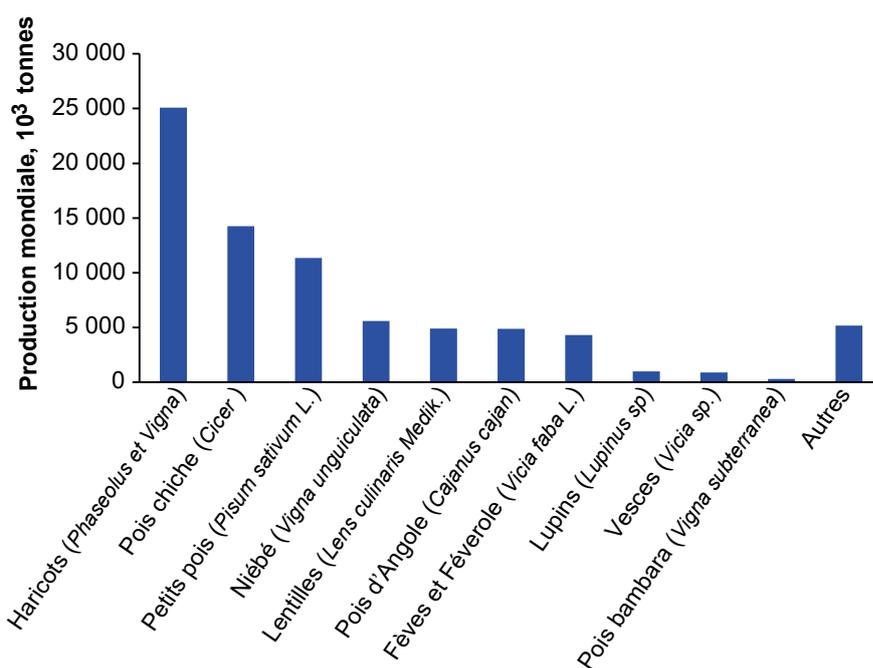
souvent présents à forte concentration dans les légumineuses tropicales. Bien qu'ils soient souvent considérés comme facteurs antinutritionnels, avec une activité plus importante chez les monogastriques non herbivores (Mueller-Harvey, 2006), ils peuvent dans certaines limites avoir des effets bénéfiques chez les ruminants (Fructos *et al.*, 2004). Il est toutefois difficile de définir un seuil de « nocivité » du fait de la diversité des TC. Généralement quand les concentrations en TC n'excèdent pas 5 % de la Matière Sèche (MS) des impacts positifs sont enregistrés sur le plan nutritionnel des ruminants, santé et environnemental (Archimède *et al.*, 2018). Les TC réduisent la solubilité de l'azote d'origine alimentaire dans le rumen et accroissent le flux de protéines digestibles dans l'intestin des ruminants. Ils orientent les fermentations microbiennes dans le rumen avec comme conséquence une réduction de l'émission du méthane entérique. Ils permettent aussi de réduire le stress lié au parasitisme gastro-intestinal chez les petits ruminants en perturbant le parasite à différentes étapes de son cycle de développement et en orientant le profil des nutriments absorbés par l'animal (Archimède *et al.*, 2018).

2. Panorama des ressources

■ 2.1. Les cultures vivrières protéiques : les légumineuses à graines

Une récente publication très détaillée de la FAO consacrée aux légumineuses à graines (Sharasia *et al.*, 2017) désignait ces dernières de manière générique par le terme pois. Les oléo-protéagineux, par exemple le soja (*Glycine max (L.) Merr.*) et l'arachide (*Arachis hypogaea (L.)*), n'intègrent pas cette classification bien que cela fasse débat (Vollmann, 2016). Les légumineuses à graines appartiennent notamment aux genres *Phaseolus* et *Vigna*. En région tropicale les légumineuses à graines, largement cultivées en Afrique, Amérique latine et Asie, sont avant tout des aliments pour l'Homme et ne sont qu'occasionnellement consommées par l'animal. Il y a une grande diversité des légumineuses à graines dont de nombreuses sont des spécificités régionales. L'Inde est le premier producteur mondial avec 24 % de la production et 33 % des surfaces en 2011-2013 (Sharasia *et al.*, 2017). Les principales légumineuses à graines produites sont présentées dans la figure 2.

Figure 2. Principales les légumineuses à graines produites (d'après Sharasia *et al.*, 2017).



Les légumineuses à graines sont généralement des sources d'énergie, d'acides aminés, de minéraux, de vitamines et d'acides gras essentiels. Consommées fraîches, certaines légumineuses à graines peuvent contenir des facteurs antinutritionnels (inhibiteurs de protéases, tannins, lectines, inhibiteurs d'amylases, glycosides, phytates, alcaloïdes) qui limitent leur digestion et ingestion (Mekbungwan, 2007). Ces facteurs antinutritionnels sont généralement détruits par un traitement à la chaleur (cuisson, grillage) ou dans certains cas par macération (Mekbungwan, 2007). La teneur en protéines brutes et le profil en acides aminés de certaines légumineuses à graines sont présentées dans le **tableau 1**. Une récente étude, relativement exhaustive, sur les légumineuses à graines cultivées en régions chaudes, a été réalisée par la FAO (Sharasia *et al.*, 2017). Dans ce paragraphe nous nous limiterons à la présentation quelques légumineuses à graines parmi les plus cultivées en région tropicale et présentes sur les différents continents (**figure 2**). Elles sont de type herbacé (*Phaseolus vulgaris* L., *Vigna unguiculata*), grimpant et/ou buissonnant (*Lablab purpureus*) et arbustif (*Cajanus cajan*). Elles ont des usages diversifiés comme le *Lablab purpureus* qui est une plante duale utilisée indifféremment comme vivre, fourrage pour le bétail, engrais vert. À l'opposé, *Phaseolus vulgaris* L., *Vigna unguiculata* et *Cajanus cajan* plantées principalement comme vivre bien que leurs fanes et feuillages puissent être mobilisés en alimentation animale. Les plages de variation des teneurs en MAT, Matières grasses, amidon et NDF des légumineuses à graines sont 24-32 %, 1-3 %, 40-50 % et 15,5-27 % de la MS respectivement. À titre de comparaison, ces mêmes plages de variation des teneurs en MAT, Matières grasses et carbohydrates solubles sont de 30-43 %, 21-50 % et 12-16 % de la MS pour les deux principaux oléo-protéagineux (arachide, soja). Comparativement aux céréales, les protéines des légumineuses graines sont généralement riches en lysine mais relativement pauvres en acides aminés soufrés (méthionine et cystéine) et en tryptophane. La solubilité des protéines dans le rumen est élevée.

Mis à part quelques espèces de légumineuses à graines, leur consommation en frais par les porcs et les volailles n'est pas recommandée alors qu'elles peuvent être consommées sans restriction par les ruminants (Mekbungwan., 2007). La production de légumineuses à graines s'accompagne de fanes présentant généralement de bonnes qualités alimentaires pour les ruminants (cf. paragraphe 3.2).

a. Le niébé (*Vigna unguiculata*)

Originaire d'Afrique, *Vigna unguiculata*, a été largement propagée dans les régions tropicales et subtropicales. En Afrique, le niébé est la légumineuse à graines la plus consommée par l'Homme. Il est cultivé en rotation ou cultures associées à des céréales. Il s'adapte à une grande diversité de sols à condition qu'ils soient bien drainés. Le niébé est tolérant à l'ombrage. Il y en existe de nombreuses variétés, plus ou moins précoces, sélectionnées pour la production de fourrage, de graines ou mixtes. La productivité de chacune de ces variétés varie avec les itinéraires techniques. Les productions de graines des variétés de niébé mixtes peuvent varier de 536 à 1798, 141 à 717 et 61 à 361 kg/ha/récolte en culture pure avec traitement pesticides, en culture pure sans traitement et en cultures associées respectivement (Tarawali *et al.*, 1997). Des travaux plus récents conduits en Afrique de l'ouest reportent des productions moyennes de graines de 998 et 862 kg/ha/récolte pour des variétés à graines et fourrages respectivement (Samireddypalle *et al.*, 2017).

Bien que la culture du niébé soit principalement motivée par l'alimentation de l'Homme, les ruminants l'utilisent efficacement sous forme de graines crues et de fourrages frais, séchés ou ensilés. Chez le mouton, les graines de niébé crues peuvent se substituer au Tourteau d'Arachide (TA), comme source de protéines, avec un effet positif sur l'ingestion (+ 16 %) et la croissance (+ 28 %) (Singh *et al.*, 2006). La ration mixte était composée d'un foin (50 % de la MSI) de mauvaise qualité (6 % de MAT) et d'un mélange (57 % de céréales, 40 % TA ou niébé). Contrairement aux ruminants, de faibles performances sont observées chez les porcs et volailles consommant du niébé cru à cause de la présence

de facteurs antinutritionnels (lectines, inhibiteurs de trypsine). Le séchage au soleil, le traitement par la chaleur améliorent son utilisation digestive par les animaux monogastriques. Cependant les taux d'incorporation recommandés sont de moins de 20 % de la ration totale (Sherasia *et al.*, 2017).

b. Le pois d'Angole (*Cajanus cajan*)

Cajanus cajan, qui est très répandu dans les régions tropicales et subtropicales, est particulièrement adapté à l'agriculture pluviale dans les zones semi-arides. On le retrouve entre 30° de latitude nord et 30° de latitude sud. Il est adapté à une grande diversité de sol (pH de 4,5 à 8,4) et supporte des températures de 20 à 40°C. C'est une culture annuelle mais sa conduite peut être pluriannuelle.

Le *Cajanus cajan* cru peut remplacer le tourteau de soja dans le concentré des rations de ruminants ou directement pour compléter les fourrages pauvres sans pénaliser l'ingestion et les performances de production (Chevalarakul *et al.*, 1992). Il peut être incorporé jusqu'à 30 % dans les rations de caprins (Ahamefule *et al.*, 2006). Chez le porc en croissance, l'incorporation du *Cajanus cajan* cru ne peut excéder 20 % de la ration. Au-delà, une réduction de l'ingestion et de l'efficacité de l'utilisation de l'aliment sont observées (Amaefule *et al.*, 2016).

c. Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.)

Le haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) est originaire d'Amérique centrale et du sud. En Europe, il est le plus souvent consommé en vert avant la maturation des graines. Dans ses régions d'origine, des haricots secs sont produits avec des cycles de végétation de 50 à 80 jours. Le rendement moyen des haricots secs est de 0,5 à 1,5 tonnes MS/ha avec des valeurs maximales allant jusqu'à 2,8 à 5 tonnes MS/ha/récolte. Les haricots contiennent différents facteurs antinutritionnels détruits par la cuisson. Différents essais ont été conduits chez les ruminants et animaux monogastriques. Des incorporations de haricots jusqu'à 26 % dans des rations de bovins n'ont pas eu d'impacts négatifs sur l'ingestion et les performances

bien que la digestibilité totale de la ration ait été réduite à partir de 13 %, d'où des recommandations d'inclusion inférieures à 15 %. Chez le porc et les volailles il est recommandé de réaliser un traitement thermique (à 102°C pendant 20 min ou à 136°C pendant 1,5 min) avant d'introduire les haricots dans la ration (Sherasia *et al.*, 2017).

d. Le lablab (*Lablab purpureus*)

Le lablab est une plante vivace et une très ancienne culture vivrière. Il est adapté à la sécheresse et peut s'implanter dans des environnements variés (pluviométrie, température, altitude, sol). Le lablab est cultivé en culture pure ou en association. C'est l'une des principales cultures de légumineuses fourragères et d'engrais vert d'Australie (Murphy et Colucci, 1999). Le lablab peut produire jusqu'à 6 tonnes de MS / ha/récolte (Adebisi et Bosch, 2004). En moyenne, en culture pure, le lablab produit 2,5 à 5 tonnes de MS /ha/récolte de gousses vertes, 450 kg/ha/récolte de graines sèches en culture associée (Adebisi et Bosch, 2004). Jusqu'à 1 500 kg/ha/récolte de graines sèches sont produites en culture pure (Adebisi et Bosch, 2004). Le lablab a été substitué au lupin dans des rations composées de fourrage et de paille consommées par des moutons (Garcia *et al.*, 1990). Avec des taux de substitution au lupin de 60 %, de plus faibles digestibilités et croissances ont été enregistrées avec le lablab. Chez le porc, les faibles appétibilité et digestibilité des protéines (50 %) limitent son utilisation (Laswai *et al.*, 1998). Le toastage et la cuisson permettent d'élever la digestibilité de l'azote à 65 et 74 % chez des porcs en croissance-finition (Laswai *et al.*, 1998). L'indice de consommation observé avec la ration à base soja a été de 4,9 contre 18,3, 5,2 et 6,6 avec les rations à base lablab cru, bouilli et toasté respectivement (Laswai *et al.*, 1998).

■ 2.2. Les coproduits des cultures vivrières énergétiques et protéiques

a. Les fanes des légumineuses à graines et d'oléo-protéagineux

Comparativement aux pailles, les fanes sont plus riches en protéines et glucides

solubles, plus pauvres en NDF et plus digestibles, ce qui les rend plus riches en énergie. La valeur alimentaire des fanes varie avec l'espèce et la variété, le stade de maturité à la récolte, la proportion de feuilles, gousses, et tiges. Des facteurs environnementaux, dont le climat, le sol, la saison, etc., affectent aussi tant la production que la composition des graines et des fanes. Les fanes de niébé ou d'arachide peuvent avoir une valeur commerciale élevée sur les marchés urbains africains (Ayantunde *et al.*, 2014). Les productions de fanes des variétés de niébé mixtes ont varié de 1,404 à 2,787, 0,551 à 2,595, et 0,297 à 0,867 tonnes/ha/récolte en culture pure respectivement avec utilisation de pesticides, en culture pure sans utilisation de pesticides et en culture associée (Tarawali *et al.*, 1997). Des études plus récentes rapportent des productions moyennes de fanes de 2,100 et 2,800 tonnes/ha/récolte pour des variétés à graines et fourragères, respectivement (Samireddypalle *et al.*, 2017).

Généralement les fanes sont des fourrages de qualité moyenne qui peuvent être utilisés comme seul fourrage ou supplément à des fourrages pauvres. Des rations mixtes composées à parts égales de *P. purpureum* et de fanes de niébé de différentes variétés ont été évaluées sur des moutons « *West African dwarf* » âgés de 10 mois et pesant en moyenne 9 kg. Des croissances relativement faibles ont été enregistrées (29 à 36 g/j) du fait du faible potentiel des animaux utilisés alors que de bons indices de consommations (6,3 à 10,9 kg fourrage/kg de croît) étaient observés (Anelea *et al.*, 2010). Koralagama *et al.* (2008) rapportent des croissances de 32 et 48 g/j vs 23 et 51 g/j avec des moutons (10 mois, 22 kg de poids vif) consommant des cannes de maïs à volonté associées à 155 et 311 g de fane de niébé de la variété fourragère ou duale. En comparaison, la canne de maïs seule avait entraîné des pertes de poids de 23 g/j alors que 300 g de concentré commercial permettait une croissance de 62 g/j. Les indices de consommation ont été respectivement de 11,1 ; 21,3 ; 14,9 ; 29,6 ; 14,6 pour les rations mixtes avec 311 g concentré commercial, 150 g niébé fourragère, 300 g de niébé fourragère, 150 g de niébé dual et 300 g de niébé dual.

Avec les fanes d'arachide, Prasad *et al.* (2010) comparant 10 génotypes rapportent des croissances d'agneaux variant de 65 à 137 g/j avec des rations composées exclusivement de fanes. Ces croissances ont été associées à des ingestions variant de 55,8 à 107 g MO/kg PV^{0,75}, et des digestibilités de la MO variant de 65,5 à 72,7 %. Les teneurs en MAT, NDF et ADL (« *acid detergent lignin* ») de ces ressources variaient de 11,8 à 19,4, de 35,5 à 43,8 et de 3,8 à 6,4 % MS, respectivement. Les pailles de soja ont, elles, une valeur plus faible et ne peuvent être utilisées que comme fourrage (Heuzé *et al.*, 2016).

b. Les fanes de cultures énergétiques duales

Ce sont des coproduits fibreux de certains fruits et tubercules amyliacés disponibles après leur récolte et/ou prélevés tout au long du cycle de végétation. Ils sont principalement consommés par les ruminants mais des travaux récents ont été consacrés à leur évaluation pour l'alimentation du porc (Kambashi *et al.*, 2014 ; Régnier *et al.*, 2012, 2013 ; Leterme *et al.*, 2005, 2012), (cf. encadré 1 qui résume les principes d'utilisation de ces ressources pour le porc). Parmi ces cultures, aujourd'hui 4 ressources majeures sont relativement bien référencées : *Ipomea batatas* (patates douces), *Manihot esculenta* Crantz (manioc), feuilles de *Colocasia esculenta* (taro) et *Xanthosoma sagittifolium* (malanga).

• Les fanes de patate douce (*Ipomea batatas*)

La production de fanes varie avec la variété et l'itinéraire technique, mais elle est de l'ordre de 4 à 5 tonnes de MS/ha titrant 12 à 17 % de MAT (Ruiz *et al.*, 1980). La composition des fanes est celle de l'association des feuilles (22 à 33 % MAT) et de tiges (10 à 14 % de MAT ; An *et al.*, 2003). Les tiges contribuent pour environ 25 % de la MS. La production de feuilles augmente avec la pratique de défoliation pendant le cycle de culture. La production de tubercules est par contre pénalisée par la défoliation passant de 5,7 à 3,6 tonnes de MS/ha/récolte (Backer *et al.*, 1980). L'ingestion volontaire de feuilles respectivement de patate par les bovins zébus, leur croissance et indice de consommation est de

Encadré 1. Principes d'utilisation des feuillages pour l'alimentation des porcs.

Les aliments riches en fibres sont mieux valorisés par les ruminants. Cependant, la pratique de distribution de feuillage existe dans les élevages porcins moins intensifs et les systèmes mixtes intégrés polyculture-élevage. Différents fourrages ont été testés avec succès dans l'alimentation des porcs en substitution partielle au soja : lentilles d'eau (*Lemna spp.*), manioc (*Manihot esculenta*), patate aquatique (*Lpomoea aquatica*), patate douce (*Lpomoea batatas*), taro (*Colocasia esculenta*), malanga (*Xanthosoma sagittifolium*).

La relative bonne digestibilité de ces fourrages est un important critère pour leur utilisation. Leur relative richesse en protéines doit être appréciée au regard de la part de la fraction soluble et de celle des protéines liées aux parois végétales (6 à 72 %) qui conditionnent leur digestibilité. Les teneurs en acides aminés des feuillages de plantes tropicales varient de 49 à 92 % des MAT. Les digestibilités des protéines de ces fourrages sont généralement faibles (< 65 %), mais le profil en acides aminés est équilibré par rapport aux besoins du porc. La consommation de feuilles garantit l'apport de minéraux en quantité et qualité suffisantes. Les protéines apportées par les fourrages doivent contribuer pour moins de 50 % des protéines totales de la ration. La fraction énergétique de la ration doit être pauvre en fibres et protéines pour limiter d'une part l'encombrement et d'autre part des déséquilibres en acides aminés. Les ingrédients énergétiques à privilégier sont les fruits et tubercules tropicaux, et le jus de canne.

2,37 kg MS/100 kg PV, 650 g/j, et 8,5 kg/kg croit, (Backer *et al.*, 1980). Les fanes de patate ont aussi été étudiées comme alternative au soja pour l'alimentation du porc. Des Gains Moyens Quotidiens (GMQ) de 464 g/j ont été mesurés avec des porcelets croisés « Large White x Mong Cai » de 16 kg consommant des rations à base de farine de manioc et de son de riz (respectivement 14 % et 34 % de la MS de la ration) avec de l'ensilage de feuilles de patate (20 % de la MS de la ration) comme source azotée (An *et al.*, 2003).

- **Les feuilles de manioc (*Manihot esculenta* Crantz)**

Le manioc est d'abord cultivé pour sa production de tubercules qui peut atteindre 10 000 kg MS/ha/récolte soit 15 à 35 tonnes de matière fraîche. Au stade de récolte des tubercules, la biomasse totale de MS produite est composée de 45 % de racines, de 35 % de tiges et de 20 % de feuilles (Ravindran *et al.*, 1993). La production de feuillages (feuilles et jeunes tiges) est d'environ 0,6 tonne de MS/ha/récolte. La quantité de biomasse de feuilles varie avec l'itinéraire technique. Quand des prélèvements sont réalisés tout au long du cycle de développement de la culture, la production de feuillage peut atteindre 4, 5 tonnes de MS/ha/récolte (Khang *et al.*, 2005). La teneur en MAT des feuilles est en moyenne de 21 %, mais elle varie fortement en fonction des variétés et de l'âge (de 15 à 40 % ; Ravindran, 1993).

Elles sont riches en lysine mais pauvres en méthionine. Les feuilles de manioc sont riches en minéraux en particulier calcium, magnésium, fer, manganèse et zinc. La concentration des feuilles en acide cyanidrique libre, potentiellement toxique, est très variable en fonction des variétés, de l'âge des feuilles et de la qualité du sol. L'acide cyanidrique est détruit avec un séchage et de l'ensilage (Ravindran, 1993). Les feuilles peuvent être consommées, fraîches, fanées ou ensilées par les ruminants. Le fanage ou l'ensilage est recommandé pour les variétés les plus riches en acide cyanidrique. Les feuilles contiennent aussi des tannins qui peuvent altérer leur digestibilité chez les ruminants. Les quantités optimales (croissance, ingestion et digestion de la ration, coût) de feuilles de manioc fanées à distribuer à des caprins en croissance varient de 22 à 44 % suivant les auteurs (Hue *et al.*, 2012). Des consommations volontaires d'environ 4,8 % du poids vif ont été enregistrées avec des agneaux en croissance. La farine de feuilles de manioc peut remplacer 30 % des protéines de rations formulées avec de la farine de poisson et du tourteau de soja pour de jeunes porcs en croissance (Diarra *et al.*, 2017).

- **Les feuilles de malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) et de taro (*Colocasia esculenta*)**

La famille des *Araceae* compte deux genres cultivés : *Colocasia* et *Xanthosoma*. Deux espèces de cette

famille sont cultivées pour leurs tubercules : le malanga (*Xanthosoma sagittifolium*) et le taro (*Colocasia esculenta*). La quantité de feuilles produites varie avec les espèces, les variétés et les stratégies de récolte. Des quantités de biomasse de feuilles, de pétioles et de racines respectivement de 1,3, 0,95 et 3,2 tonnes MS/ha ont été rapportées avec le taro (Kaensombatha *et al.*, 2012). Les feuilles prélevées lors de la récolte des tubercules ne représentent que 28 % de la biomasse mesurée avec 3 et 4 récoltes de feuilles tout au long du cycle. La composition chimique des feuilles de taro et malanga varie fortement : entre 16,9 à 25,8 % pour la MAT et entre 18,6 à 37,1 % pour le NDF (Kambashi, 2014). Les feuilles ont été évaluées principalement comme fourrage pour les porcs. La principale limite à leur utilisation fraîche est la présence d'acide oxalique qui limite l'ingestion. Cette contrainte est surmontée avec le séchage et l'ensilage (Hang et Preston, 2010). L'introduction des feuilles de malanga en substitution de 50 % du tourteau de soja dans des rations à base de jus de canne destinées au porc en croissance n'a pas dégradé la croissance des animaux. Kaensombatha et Frankow-Lindberg (2012) rapportent que les protéines de taro peuvent remplacer jusqu'à 50 % des protéines de soja sans effet négatif sur la croissance de porcs « Landrace x Yorkshire » et de porcs indigènes (Moo Lath Lao pigs).

■ 2.3. Les plantes aquatiques

Les plantes aquatiques les plus utilisées pour nourrir les animaux sont la jacinthe d'eau, les lentilles d'eau (*Lemna spp.*), l'azolla (*Azolla sp.*), et les épinards aquatiques (*Lpomea aquatica*). On peut rattacher à cette catégorie les Spirulines (*Arthrospira sp.*) qui sont des cyanobactéries. Nous nous limiterons ici à deux genres bien que la littérature (Preston, 2006 ; Costa *et al.*, 2016 ; Nampoothiri, 2017) rapporte des travaux sur une plus grande diversité de ressources.

a. L'azolla (*Azolla sp.*)

Les azolla sont des fougères aquatiques. Ce genre comprend de nombreuses espèces qui ont une aire de répartition spécifique (www.feedipedia.org). L'azolla a une utilisation très ancienne, comme biofertilisant, dans les rizières en Asie.

Il est généralement cultivé à des températures variant de 20-30°C bien qu'il existe certaines espèces originaires des régions tempérées. Selon les conditions de culture, l'azolla double sa biomasse en 3 à 10 jours. Les rendements atteignent 0,7-0,9 tonnes MS/ha/an dans les rizières asiatiques. Des rendements plus élevés (2,78 tonnes MS/ha/an) sont rapportés avec *Azolla pinnata* (www.feedipedia.org). En Inde, des agriculteurs produisent de l'azolla sur de petits étangs ombragés pour l'alimentation des vaches laitières. Une surface de 4-4,5 m² et 10-15 cm de profondeur produirait environ 2 kg d'azolla frais/j, permettant la complémentation de deux vaches laitières. L'azolla titre entre 18 et 32 %, entre 29 et 57 %, et entre 47 et 62 % de MAT, de matières grasses et de NDF respectivement (Leterme *et al.*, 2009).

b. Les lentilles d'eau (*Lemna spp.*)

Les lentilles d'eau poussent à des températures d'eau comprises entre 6 et 33 °C (Leng *et al.*, 1995). Elles sont riches en eau (92 – 94 % de la MS) et contiennent peu de fibres. Elles sont très digestibles même pour les animaux monogastriques. Dans les régions chaudes, la production varie de 10 à 80 tonnes de MS/ha/an. La composition des lentilles d'eau varie avec les variétés et les conditions de culture. Les variétés rustiques titrent entre 15 et 25 % de protéines et entre 15 et 30 % de cellulose brutes. Les variétés sélectionnées ont entre 35 et 43 % de MAT et entre 5 et 15 % de cellulose brute (Leng *et al.*, 1995).

L'introduction de 10 % de farine de *Lemna spp.*, en substitution partielle au soja dans une ration classique à base de céréales consommées par des porcs *Mong Cai*, a entraîné des GMQ de 260 contre 425 g/j pour la ration témoin (Leng *et al.*, 1995). Des GMQ de 560 g ont été enregistrés avec des porcs « *Yorkshire x Landrace-Baxuyen* » consommant des rations à base de manioc où 25 % de l'apport protéique provenait de la lentille d'eau (Preston *et al.*, 1996).

La culture des plantes aquatiques requiert des compétences techniques importantes notamment quand on

recherche à maximiser la production. Cette production peut se développer sur des effluents de bio-digesteur et d'élevage. Cependant, l'une des principales contraintes du développement des cultures d'algues est la disponibilité en eau. Par ailleurs certaines micro-algues sont utilisées en alimentation humaine.

■ 2.4. Les légumineuses herbacées

De nombreuses légumineuses fourragères ont été étudiées en zone tropicale mais leur adoption par les éleveurs a été relativement faible comparative-ment aux graminées (Graham et Vance, 2003 ; Shelton *et al.*, 2005). L'acidité des sols, l'adaptation à la sécheresse, la prévalence de pathogènes sont des contraintes agronomiques au développement à l'implantation des légumineuses herbacées. Les espèces du genre *Aeschynomene*, *Arachis*, *Centrosema*, *Desmodium*, *Macroptilium*, et *Stylosanthes* sont les plus étudiées en zone tropicale. L'implantation des légumineuses en inter rang avec des cultures augmente l'apport d'azote pour ces dernières (Traill *et al.*, 2018).

Certains genres dont *Arachis*, *Desmodium*, *Stylosanthes* et *Centrosema* sont adaptés au pâturage. Parmi eux, *Centrosema* et *Stylosanthes* sont aussi valorisés sous forme de foin. Les espèces *Pueraria phaseoloides*, *Calopogonium spp.*, *Centrosema molle* (*syn. C. pubescens*), *Desmodium ovalifolium*, *Stylosanthes guianensis* et *Canavalia brasiliensis* sont valorisées comme plantes de couverture tout en étant consommées par les animaux. D'autres légumineuses sont utilisées comme suppléments : *Lablab purpureus* (Pengelly et Maass, 2001), *Vigna unguiculata* (Tarawali *et al.*, 1997), *Centrosema pascuorum* et *Stylosanthes hamata* (Tarawali *et al.*, 1997). Ces fourrages sont principalement destinés aux ruminants bien que certains aient été évalués pour les porcs : *Vigna unguiculata*, *Lablab purpureus*, *Clitoria ternatea* et *Canavalia brasiliensis* (Saria *et al.*, 2010 ; Van der Hoek *et al.*, 2010 ; Heinritz *et al.*, 2012).

Les légumineuses tropicales sont généralement plus riches en protéines

brutes et en lignine et moins pourvues en parois cellulaires que les graminées tropicales. Il existe une grande variabilité interspécifique et intra-spécifique pour les principaux composants chimiques. La composition moyenne des légumineuses tropicales en MAT est de 166 g/kg MS, alors que la plage de variation est de 60 à 300 g/kg MS (Minson, 1990).

Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le genre *Stylosanthes*. *Stylosanthes spp.* qui regroupe plus de 30 espèces et qui est la légumineuse la plus adoptée en région tropicale. On retrouve *Stylosanthes guyanensis* et *Stylosanthes hamata* dans les pâturages « améliorés » d'Australie, de Chine, d'Amérique latine et d'Afrique. Le *Stylosanthes* est aussi la légumineuse fourragère herbacée la plus référencée (Thomas et Sumberg, 1995). Il peut s'implanter dans des régions relativement sèches (pluviométrie de 600-700 mm/an) et des régions plus humides (pluviométrie de 2000 mm/an). Les *Stylosanthes* peuvent être associés avec de nombreuses graminées en culture mixte dont : *Panicum maximum*, *Andropogon gayanus*, *Chloris gayana* et les variétés de *Brachiaria*. *Stylosanthes guianensis* est sensible à l'antracnose une pathologie, qui a une forte prévalence en Amérique du sud, ce qui limite son intégration dans certains assolements.

Le genre *Arachis* renferme environ 80 espèces dont une soixantaine serait originaire d'Amérique du sud. Parmi elles, *Arachis pintoi* est l'espèce la plus répandue dans les prairies d'Amérique du sud. *Arachis pintoi* est une légumineuse stolonifère originaire du Brésil adaptée aux sols acides et pauvres. Il résiste au pâturage et tolère l'ombrage. Cette espèce regroupe plusieurs variétés dont la productivité varie de 1 600 to 4 100 kg MS/ha/an (Assis *et al.*, 2008).

Le genre *Centrosema* regroupe de nombreuses espèces mais la plus étudiée est *Centrosema pubescens*. Bien que les meilleures performances aient été enregistrées dans les régions humides (< 1100 mm d'eau/an avec une faible saison sèche), *Centrosema pubescens* s'adapte à des environnements variés. *Centrosema pubescens* s'associe aussi

à de nombreuses graminées : *Panicum maximum*, *Andropogon gayanus*, *Pennisetum purpureum* et *Cynodon plectostachyus*.

■ 2.5. Les arbres et arbustes fourragers

C'est un groupe hétérogène composé de plus de 250 espèces d'arbres et d'arbustes à usages multiples aux cycles biannuels à pluriannuels, de légumineuses et non légumineuses, des plantes alimentaires et/ou fourragères. Les arbres et arbustes ont été peu étudiés dans les SMIPE, où la ressource idéale devrait, en plus de sa valeur fourragère, contribuer à l'alimentation humaine (produits amylicés substitués des céréales, pois, fruits...), à l'apport d'engrais vert et à la fixation de carbone dans le sol, ainsi qu'à la fourniture de fibres et de carburants (Devendra *in* Speedy et Pugliese, 1992 ; Leng, 1997 ; Boom *et al.*, 2013 ; Debreux *et al.*, 2017). Certaines caractéristiques agronomiques sont aussi attendues : facilité d'établissement, résistance aux pathogènes, l'autonomie en intrants (eau, engrais), productivité élevée et persistance dans des conditions de coupe ou de pâturage répétées, bonne valeur alimentaire pour les animaux (Devendra *in* Speedy et Pugliese, 1992). L'introduction d'arbres et d'arbustes fourragers dans les SMIPE interroge un paradigme issu de régions où la pluviométrie est importante et régulière selon lequel « les monocultures infra-annuelles sont les systèmes les plus productifs » (De Koning et Milthorpe, 2008). Les arbres et arbustes seraient des atouts pour les zones les plus sèches car ils ont une plus grande capacité à utiliser au mieux la pluviométrie et confèreraient une plus grande résilience aux systèmes agricoles (De Koning et Milthorpe, 2008). Par ailleurs, l'intérêt des arbres et arbustes fourragers dans les SMIPE ne se limite pas à la fourniture d'aliments mais aussi à d'autres services écosystémiques : couverture permanente du sol, meilleure utilisation de l'eau, recyclage de minéraux, création de microclimats. Dans les SMIPE, les plantes alimentaires sont privilégiées.

Environ 200 espèces d'arbres et d'arbustes fourragers sont des légu-

mineuses. Parmi ces derniers, les plus utilisés ont été classés en deux groupes par Shelton (2000) :

i) des fourrages à forte valeur alimentaire (*Albizia lebeck*, *Chamaecytisus palmensis*, *Cratylia argentea*, *Desmodium rensonii*, *Desmodium virgatus*, *Gliricidia sepium*, *Leucaena leucocephala*, *Leucaena diversifolia*, *Sesbania grandiflora*, *Sesbania sesban*) ;

ii) des fourrages à faible valeur alimentaire (*Acacia aneura*, *Acacia nilotica*, *Acacia tortilis*, *Albizia chinensis*, *Albizia saman*, *Calliandra calothyrsus*, *Erythrina spp.*, *Faidherbia albida*, *Flemingia macrophylla*, *Prosopis juliflora*). À l'exception de *Morus alba*, moins de données ont été publiées sur des arbres et arbustes fourragers non légumineuses : *Ekebergia capensis*, *Ficus sycomorus*, *Maesa lanceolata*, *Rhus glutinosa*, *Artocarpus heterophyllus*, *Ceiba pentandra*.

La biomasse produite par les arbres et arbustes est hétérogène. Seules les feuilles et jeunes tiges sont consommées par les animaux alors que leur production s'accompagne d'une fraction variable de tiges indigestibles. Dans les régions sèches, Man et Tri (1995) rapportent des productions de feuilles et biomasse totales de 2 300 à 5 800 kg MS/ha/an et 3 700 à 8 700 kg MS/ha/an respectivement pour des arbustes fourragers. Certains arbres fourragers (par exemple *Morus alba*) peuvent être exploités en tant que « banques de protéines », en les plantant à très haute densité (25 000 plants/ha) et en maintenant un port vertical et très bas (environ 0,5 m) permettant une récolte fréquente de jeunes feuilles pour affouragement en vert des animaux (González-García et Martín-Martín, 2016). Les feuillages ont des teneurs en NDF de 200 à 550 g/kg MS qui sont généralement bien digérées par les ruminants (59 à 77 % pour la digestibilité de la MS). La teneur en protéines de ces ressources est généralement élevée : de 100 à 300 g MAT/kg MS. La fraction soluble des protéines varie de 23 à 80 %. Grâce à leur teneur élevée en MAT, les feuillages sont utilisés comme suppléments pour des fourrages pauvres en minéraux et azote nécessaires à l'activité microbienne du rumen. Des méta-analyses (Patra, 2008 ;

2009) ont traité de la valeur nutritive des feuillages pour les ruminants. L'intérêt du feuillage en tant que supplément peut être limité par la présence de métabolites secondaires (10 à 20 % de la MS) susceptibles d'impacter l'appétence, l'ingestion et la digestion de ces feuillages.

Bien que des pratiques d'utilisation de certains feuillages d'arbustes et arbres dans l'alimentation des porcs et des volailles aient été évaluées (Martens *et al.*, 2012), le potentiel de ces ressources à se substituer aux sources classiques de protéines est faible du fait de leur richesse en fibres. Par ailleurs, il y a encore de nombreuses données manquantes pour la connaissance des réponses des animaux monogastriques à l'utilisation des feuillages les moins riches en fibres.

La coproduction d'une fraction ligneuse (tiges indigestibles) plus ou moins importante en fonction de la stratégie de gestion de la plante a conduit à développer des technologies pour leur valorisation sous forme d'énergie selon le concept de « food-feed-fuel ». Cette pratique peut être mise en œuvre en réalisant une pyrolyse des fractions les plus lignifiées dans un gazéificateur avec la production d'énergie et de charbon utilisé comme amendement et fertilisant des sols.

3. Nouveaux aliments et innovations technologiques

■ 3.1. Enrichissement protéique par culture de microorganismes

L'enrichissement protéique d'aliments riches en glucides par fermentation aérobie à l'état solide avec des levures en particulier constitue aussi une option pour l'apport de protéines de très bonne qualité nutritionnelle dans les rations. La technologie peut aller de procédés très rustiques à des procédés industriels. Le principe de base repose sur la croissance de microorganismes riches en protéines sur les ingrédients énergétiques de la ration. Cela nécessite l'apport d'azote minéral.

Phoneyaphon *et al.* (2016) rapporte un enrichissement de tubercules de manioc qui passe de 2 à 7 % de protéines au moyen d'un procédé rustique conduit à la ferme. Le manioc a été cuit à la vapeur pendant 30 minutes, refroidi pendant 15 minutes puis mélangé avec de l'urée (2 % de la MS), du phosphate d'ammonium (0,8 % de la MS) et de la levure (*Saccharomyces cerevisiae*: 2 % de la MS). La durée de l'incubation était d'une semaine. Sengxayalath et Preston (2017) ont enrichi des pelures de racines de manioc, les faisant passer de 2 à 13 % de protéines après 9 jours de fermentation. Le procédé a été identique à celui décrit précédemment. Des essais d'alimentation ont été conduits sur le porc *Moo* alimenté avec des rations à base de pelures de manioc et du tourteau de soja. Plusieurs rations fermentées (manioc/levure) ont été testées permettant de substituer 0 à 100 % de la protéine du tourteau de soja par celle de la levure. Des croissances de 125 vs 33 g/j ont été enregistrées avec du 100 % soja vs 100 % levures. La faible croissance avec la dernière ration s'expliquant principalement par une faible ingestion de la ration. La croissance maximale a été enregistrée quand la protéine des levures représentait 28 % des protéines de la ration. La croissance maximale a été enregistrée quand la protéine des levures représentait 28 % des protéines de la ration. Ce procédé est appliqué avec d'autres tubercules, des fruits amylacés et la canne à sucre.

Les microorganismes, dont les levures, constituent une bonne piste d'amélioration de la teneur en protéines des rations tropicales. Des travaux sont en cours (dont la standardisation des procédés, la mise au point de technologies utilisables à la ferme) pour lever les principaux freins à leur utilisation à grande échelle.

■ 3.2. Les invertébrés : insectes, vers de terre

Les insectes sont consommés par des populations d'Amérique, d'Afrique et d'Asie depuis des siècles. Depuis peu, ces insectes sont testés pour l'alimentation animale (Van Huis *et al.*, 2013). Makkar *et al.* (2014) ont réalisé un état de l'art sur le sujet. Les insectes ont été

identifiés comme atout pour la sécurité alimentaire car un kg de biomasse d'insectes peut être produit à partir d'environ deux kg de biomasse alimentaire. Cinq grands groupes d'insectes (mouche soldat noir et mouche domestique, chrysomèle des vers de farine, sauterelles, criquets ravageurs et vers à soie) sont aujourd'hui utilisés dans des rations des ruminants, des porcs, de la volaille et des poissons. L'élevage de ces insectes est plus ou moins complexe et repose sur des dispositifs plus ou moins sophistiqués. La teneur en protéines brutes de la farine d'insecte varie de 42 à 63 %. L'une des contraintes de l'utilisation de ces farines est leur teneur en lipides qui peut atteindre 36 % ce qui nécessite un dégraissage préalable. Globalement les profils en acides aminés essentiels des farines sont bons relativement aux besoins des animaux d'élevage bien qu'il existe des différences sur les teneurs en acides aminés soufrés entre les espèces d'insectes.

L'utilisation de vers de terre frais ou en farine se pratique aussi en alimentation animale (Barcelo, 1988). Des technologies plus ou moins rustiques ont été expérimentées pour la production de vers de terre mais la séparation des vers des déchets organiques dans lesquels ils croissent est laborieuse. Le profil nutritionnel des vers de terre est comparable à celui d'autres ressources protéiques notamment les farines de poissons utilisées dans l'alimentation des volailles. Les farines de vers de terre sont riches en lysine et ont un bon profil en cystéine et en méthionine. Elles ont le potentiel pour contribuer jusqu'à 100 % aux besoins protéiques des poissons (Edwards, 1985). La farine de vers peut être substituée à des farines de viande dans des rations de volailles chair et pondeuses sans pénaliser la production. Des essais ont aussi été concluants chez le porc (Edwards, 1985).

Bien que les farines d'insectes et de vers de terre aient montré leur potentiel à intégrer les rations d'animaux d'élevage, leur développement et leur appropriation sont conditionnés par des recherches complémentaires visant à connaître leur impact sur la qualité sanitaire des viandes produites et en conséquence sur la santé humaine, en

fonction notamment des substrats de culture. Même si la législation est moins contraignante dans de nombreuses régions tropicales en développement, la mondialisation des échanges (Hommes, marchandises) rend les politiques publiques assez frileuses sur ce sujet.

■ 3.3. Innovations technologiques

Le développement, à l'échelle de l'exploitation agricole, des nouveaux aliments à base d'insectes est tributaire de la mise au point de technologies (ateliers d'élevage d'insectes, de vers) appropriables à l'échelle de la ferme, sécurisées sur le plan sanitaire et environnemental, et qui soit en même temps faiblement consommatrices de main d'œuvre. Plus largement, l'appropriation des ressources non conventionnelles est tributaire de nouvelles biotechnologies intégrant les contraintes des systèmes polyculture-élevage intégrés. Ainsi nous avons identifié des gisements diversifiés de ressources mobilisables pour élaborer des rations efficaces. La disponibilité de ces ressources peut être variable dans le temps et en fonction des saisons. Sur de nombreux points, l'alimentation des animaux dans les systèmes polyculture-élevage se rapproche de celui des élevages hors sol et « *cut and carry* ».

La technologie des blocs alimentaires complets peut être une réponse à la conservation et à l'utilisation optimale de la grande diversité de ressources végétales de composition très différente présentes et dont la disponibilité varie sur l'année. Cette technologie permet d'associer toutes les ressources alimentaires disponibles sur la ferme (résidus fibreux de culture, ressources énergétiques, ressources protéiques à fermentescibilité variable...) dans des proportions souhaitées pour répondre aux besoins spécifiques en nutriments, d'optimiser la production et de minimiser les coûts d'alimentation. Des coproduits de l'agro-industrie peuvent aussi être introduits dans ces rations. Cette pratique est particulièrement développée en Inde où les coproduits de récolte contribuent pour plus de 50 % à l'alimentation des ruminants (Beigh *et al.*, 2017). Des rations complètes sous forme de blocs associent des ingrédients

aussi variés que les coproduits fibreux de céréales, canne à sucre, fanes de légumineuses, coproduits amylicés de céréales, mélasses, etc. Ces technologies permettent à la fois de réduire le temps de travail lié à l'usage de ces ressources et de formuler des rations équilibrées.

Hormis les équipements, l'une des contraintes de cette technologie est le coût énergétique de l'opération appliqué à des ressources qui ont une valeur modeste. Cela plaide pour l'utilisation d'énergie renouvelable produite à la ferme. C'est ce que permettent certaines ressources végétales composées d'une fraction très digestible (feuille) vs une fraction peu digestible (tige). C'est le cas d'arbres et arbustes fourragers (*Erythrina poeppigiana*, *glyricidia sp.*, *leucaena leucocephala*, *morus albus*), certaines cultures vivrières telles *Manihot esculenta* ou *Cajanus cajan* produisent des biomasses fibreuses très lignifiées (tiges) qui représentent de 20 à 50 % de la biomasse totale (feuille + tige) récoltée. La proportion feuille/tige varie avec la plante et sa gestion. Les tiges peuvent être transformées en énergie par pyrolyse. Cette dernière est une décomposition chimique de la matière organique par combustion en absence ou à faible concentration d'oxygène. Avec les matières lignocellulosiques, elle conduit à la production, dans des proportions variables en fonction de différents critères dont la température, d'un gaz combustible, de minéraux recyclables sur les cultures et d'un charbon de bois utilisé comme amendement pour le sol. Preston (2009) rapporte, pour une gamme de sous-produits fibreux évalués dans un système de gazogène-générateur, des productions

de 0,81 à 0,90 KWh d'électricité et de 0,11 à 0,14 kg de cendres et charbon par kg de biomasse sèche. Il n'y avait de différences significatives entre les ressources.

Conclusions et perspectives

Ce panorama des ressources montre une grande richesse et une grande diversité d'alternatives, notamment dans les milieux tropicaux. Les solutions proposées ne sont toutefois pas adaptées à toutes les situations en termes de types d'élevage, de conditions agro-climatiques, de disponibilité foncière, etc.

Les élevages de ruminants ou de monogastriques herbivores peuvent assez aisément être orientés vers des sources protéiques diversifiées et s'intégrant bien dans une perspective agro-écologique, sans concurrence avec l'alimentation humaine. Les coproduits de culture riches en protéines (fanés de légumineuses et de patates...), les « banques de protéines » constituées par l'exploitation d'arbres comme le mûrier en taillis bas de haute densité, l'exploitation d'arbres fourragers dominant des ressources fourragères dans les régions à saison sèche prolongée sont autant de voies dont l'assemblage peut permettre des systèmes efficaces.

Les ressources protéiques alternatives pour les monogastriques non herbivores sont plus difficiles à identifier. Dans des élevages de type intensif de grande ou moyenne échelle, les ressources doivent nécessairement être assez concentrées ; dans ces cas, des

légumineuses à graines produites localement (par exemple le niebé) et des tourteaux locaux (arachide, coton...) peuvent constituer une base de la complémentation, à laquelle pourraient s'associer des feuilles (manioc, légumineuses...) après traitement de séchage pour la conservation et la mise en œuvre. À terme, les farines d'invertébrés pourraient apporter une complémentation intéressante pour peu qu'elles soient produites sur des substrats garantissant à la fois une plus-value écologique (recyclage) et une sécurité sanitaire (contaminants chimiques et biologiques). À petite échelle, les productions monogastriques, et notamment les porcins dont la plasticité alimentaire est supérieure à celle des volailles, peuvent valoriser des ressources plus pondéreuses comme des fourrages frais de bonne qualité (feuilles de mûrier, légumineuses fourragères annuelles...) pouvant les placer dans des systèmes de production intégrés.

De manière générale, les solutions alimentaires dépendront du degré d'intégration entre agriculture et élevage au niveau de l'exploitation ou de la micro-région. L'accès plus ou moins important au foncier et la nécessité de production vivrière au niveau des exploitations sont des déterminants essentiels des choix sur le niveau d'autonomie alimentaire des systèmes.

Remerciements

Cette synthèse est une contribution aux projets ANR_PROTEIN³ AGROECODIV, RITA KARIBIOPOR, RITA TRANS'BOV

Références

- Ade-Omowaye B.I.O., Tucker G.A., Smetanska I., 2015. Nutritional potential of nine underexploited legumes in Southwest Nigeria. IFRJ., 22, 798-806.
- Adebisi A.A., Bosch C.H., 2004. Lablab purpureus (L.) Sweet. Record from PROTA4U, Grubben G.J.H., Denton O.A. (Eds). PROTA (Plant Resources of Tropical Africa/Ressources végétales de l'Afrique tropicale), Wageningen, the Netherlands.
- Ahamefule F.O., Ibeawuchi J.A., Ibe S.N., 2006. Nutrient intake and utilization of pigeonpea-cassava based diets by West African Dwarf (WAD) bucks. Pakistan J. Nutr., 5, 419-424.
- Altieri M.A., Nicholls C.I., 2012. Agroecology scaling up for food sovereignty and resiliency. Sust. Agricult. Rev., 11, 1.
- Amaefule K.U., Ibe S.N., Herbert U., Ugwuene M.C., 2016. Performance of growing pigs fed raw pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) seed meal diets in the humid Tropics. J. Adv. Agricult. Technol., 3, 99-103.
- An L.V., Frankow-Lindberg B.E., Lindberg J.E., 2003. Effect of harvesting interval and defoliation on yield and chemical composition of leaves, stems and tubers of sweet potato (*Ipomoea batata* L. (Lam.)) plant parts. Field Crops Res., 82, 49-38.
- Anelea U.Y., Arigbedeb O.M., Südekuma K.H., Ikeb K.A., Onic A.O., Olaniteb J.A., Amoleb G.A., Deleb P.A., Jolaoshob A.O., 2010. Effects of processed cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) haulms as a feed supplement on voluntary intake, utilization and blood profile of West African dwarf sheep fed a basal diet of *Pennisetum purpureum* in the dry season. Anim. Feed Sci. Technol., 159, 10-17.
- Archimède H., Alexandre G., Mahieu M., Fleury J., Petro D., Garcia G.W., Fanchone A., Bambou J.C., Marie-Magdeleine C., Gourdine J.L., Gonzalez E., Mandonnet N., 2014. Agroecological resources for sustainable livestock farming in the humid tropics.

- Sustainable Agric. Rev. 14. Ozier Lafontaine H., Lesueur-Jannoyer M., Springer Int. Publ. 14, 299-330.
- Archimède H., Marie-Magdeleine C., Boval M., Sauvant D., 2018. Specificities of feed and feeding ruminants livestock in warm area. In: INRA Feeding Syst. Rum. Wageningen Academic Publishers.
- Assis G.M.L., Valentim J.F., Carneiro J.M., Azevedo J.M.A., Ferreira A.S., 2008. Seleção de genótipos de amendoim forrageiro para cobertura do solo e produção de biomassa aérea no período de estabelecimento utilizando-se metodologia de modelos mistos. Rev. Bras. Zootec., 37, 1905-1911.
- Ayantunde A.A., Blummel M., Grings E., Duncan A.J., 2014. Price and quality of livestock feeds in suburban markets of West Africa's Sahel: case study from Bamako, Mali. Rev. Elev. Med. Vet. Pays Trop., 67, 13-21.
- Backer J., Ruiz M.E., Munoz H., Pinchinat A.M., 1980. The use of sweet potato (*Ipomea batatas*, (L.) Lam) in animal feeding. 2. Beef production. Trop. Anim. Prod., 5, 152-160.
- Barcelo P.M., 1988. Production and utilization of earthworms as feeds for broilers in the Philippines. Tropicicultura., 6, 21-24.
- Beigh Y.A., Ganai A.M., Ahmad H.A., 2017. Prospects of complete feed system in ruminant feeding: A review. Vet. World, 10, 424-437.
- Bossuet J., Vadez V., 2013. S'appuyer sur les multiples bénéfices des légumineuses à graines pour une agriculture plus productive et nutritive dans les tropiques semi-arides. Sécheresse, 24, 314-321.
- Costa D.F.A., Quigley S.P., Isherwood P., McLennan S.R., Poppi D.P., 2016. Supplementation of cattle fed tropical grasses with microalgae increases microbial protein production and average daily gain. J. Anim. Sci., 94, 2047-2058.
- De Koning C., Milthorpe P., 2008. Integrating forage shrubs, their potential in mixed-farming enterprises in low rainfall regions. RIRDC Publication No 08/044. RIRDC Project No SAR-51A RIRDC, Canberra, ACT. <https://rirdc.infoservices.com.au/downloads/08-044>
- Diarra S.S., Koroilagilagi M., Tamani S., Maluhola L., Isitolo S., Batibasila J., Vaea T., Rota V., Lupea U., 2017. Evaluation of cassava leaf meal protein in fish and soybean meal-based diets for young pigs. J. Agric. Rural Dev. Trop. Subtrop., 118, 105-112.
- Edwards C.A., 1985. Production of feed protein from animal waste by earthworms. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 310, 299-307.
- Feedipedia: An on-line encyclopedia of animal feeds. <https://www.feedipedia.org>
- García E., Ismartoyo Slocombe R.F., Dixon R.M., Holmes J.H.G., 1990. Nutritive value of *Lablab purpureus* grain for sheep and goats. Proc. Aust. Soc. Anim. Prod., 18, 478.
- Graham P.H., Vance C.P., 2003. Legumes: Importance and Constraints to Greater Use. Plant Physiol., 131, 872-877.
- Hang D.T., Preston T.R., 2010. Effect of processing Taro leaves on oxalate concentrations and using the ensiled leaves as a protein source in pig diets in central Vietnam. Livest. Res. Rural Dev., 22. <http://www.lrrd.org/lrrd22/4/hang22068.htm>
- Heinritz S.N., Hoedtke S., Martens S.D., Peters M., Zeyner A., 2012. Evaluation of ten tropical legume forages for their potential as pig feed supplement. Livest. Res. Rural Dev., 24. <http://lrrd.cipav.org.co/lrrd24/1/hein24007.htm>
- Herrero M., Thornton P.K., Notenbaert A.M., Wood S., Msangi S., Freeman H.A., Bossio D., Dixon J., Peters M., Van de Steeg J., Lynam J., Parthasarathy Rao P., Macmillan S., Gerard B., McDermott J., Seré C., Rosegran M., 2010. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. Science, 327, 822-825.
- Heuzé V., Tran G., Hassoun P., Lebas F., 2016. Soybean forage. Feedipedia, a programme by INRA, CIRAD, AFZ and FAO. <https://feedipedia.org/node/294>
- Hue K.T., Van Thanh D.T., Ledin I., Wredle E., Spöndly E., 2012. Effect of harvesting frequency, variety and leaf maturity on nutrient composition, hydrogen cyanide content and cassava foliage yield. Asian Aust. J. Anim. Sci., 25, 1691-1700.
- Kaensombatha L., Frankow-Lindberg B.E., 2012. Effect of harvesting interval on biomass yield and chemical composition of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) for feeding pigs in Laos. Field Crops Res., 128, 71-75.
- Kambashi B., Boudry C., Picron P., Bindelle J., 2014. Forage plants as an alternative feed resource for sustainable pig production in the tropics: a review. Animal, 8, 1298-1311.
- Khang D.N., Wiktorsson H., Preston T.R., 2005. Yield and chemical composition of cassava foliage and tuber yield as influenced by harvesting height and cutting interval. Asian-Aust. J. Anim. Sci., 18, 1029-1035.
- Koralagama K.D.N., Mould F.L., Fernandez-Rivera S., Hanson J., 2008. The effect of supplementing maize stover with cowpea (*Vigna unguiculata*) haulms on the intake and growth performance of Ethiopian sheep. Animal, 2, 954-961.
- Laswai G.H., Lekule F.P., Kimambo A.E., Sarawatt S.V., Sundstol F., 1998. The effect of processing method of dolichos bean (*Lablab purpureus* L. Sweet) on the digestibility and performance of growing-finishing pigs. Tanzania J. Agric. Sci., 1, 121-130.
- Leng R.A., 1997. Tree foliage in ruminant nutrition. FAO Anim. Prod. Health. Paper 139.
- Leng R.A., Stambolie J.H., Bell R., 1995. Duckweed – a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. Livest. Res. Rural Dev., 7, 11p. <http://www.lrrd.org/lrrd7/1/3.htm>
- Leterme P., Londoño A.M., Estrada F., Souffrant W.B., Buldgen A., 2005. Chemical composition, nutritive value and voluntary intake of tropical tree foliage and cocoyam in pigs. J. Sci. Food. Agric., 85, 1725-1732.
- Leterme P., Londoño A.M., Munoz J.E., Suarez J., Bedoya C.A., Souffrant W.B., Buldgen A., 2009. Nutritional value of aquatic ferns (*Azolla filiculoides* Lam. and *Salvinia molesta* Mitchell) in pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 149, 135-148.
- Ly J., Reyes J.L., Macias M., Martinez V., Dominguez L., Ruiz R., 1998. Ileal and total tract digestibility of leucaena meal (*Leucaena leucocephala* Lam. de Wit) in growing pigs. Anim. Feed Sci. Technol., 70, 265-273.
- Makkar H.P.S., Tran G., Heuzé V., Ankers P., 2014. Review: State-of-the-art on use of insects as animal feed. Anim. Feed Sci. Technol., 1971-1933.
- Martens S.D., Tiemann T.T., Bindelle J., Peters M., Lascano C.E., 2012. Alternative plant protein sources for pigs and chickens in the tropics – nutritional value and constraints: a review. J. Agr. Rural Develop. Trop. Subtrop., 113, 101-123.
- Mekbungwan A., 2007. Application of tropical legumes for pig feed. J. Anim. Sci., 78, 342-350
- Minson D.J., 1990. Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, San Diego, CA.
- Miranda L.F., Rodriguez N.M., Pereira E.S., de Queiroz A.C., Sainz R.A., Pimentel P.G., Marques M., Neto G., 2012. Chemical composition and ruminal degradation kinetics of crude protein and amino acids, and intestinal digestibility of amino acids from tropical forages R. Bras. Zootec., 41, 717-725.
- Mueller-Harvey I., 2006. Review. Unravelling the conundrum of tannins in animal nutrition and health. J. Sci. Food. Agric., 86, 2010-2037
- Muhr L., Tarawali S.A., Peters M., Merkel U., Schultze-Kraft R., Berner D., 1997. Multiple uses of tropical forage legumes for sustainable farming in the moist savannas of Africa. In: Grasslands 2000. Proceedings of the Eighteenth International Grassland Congress, 8-19 June 1997, Saskatoon, Saskatchewan, Canada. Volume 2. <http://www.internationalgrasslands.org/files/igc/publications/1997/2-19-055.pdf>
- Murphy A.M., Colucci P.E., 1999. A tropical forage solution to poor quality ruminant diets: A review of Lablab purpureus. Livest. Res. Rural Dev., 11. <http://www.lrrd.org/lrrd11/2/colu112.htm>
- Nampoothiri V.M., 2017. Aquatic plants and marine waste as animal feed. J. Agric. Vet. Sci., 4, 249-254.
- Patra A.K., 2008. A meta-analysis on effects of supplementing low-quality roughages with foliages from browses and tree fodders on intake and growth in sheep. Livest. Sci., 121, 239-249.
- Patra A.K., 2009. Effects of supplementing low-quality roughages with tree foliages on digestibility, nitrogen utilization and rumen characteristics in sheep: a meta-analysis. J. Anim. Physiol. Anim. Nutr., 94, 338-353.
- Pengelly B., Maass B.L., 2001. Lablab purpureus (L.) Sweet – diversity, potential use and determination of a core collection of this multi-purpose tropical legume. Genet. Resources Crop Evol., 48, 261-272.

- Phoneyaphon V., Manivanh N., Preston T.R., 2016. Effect of fermentation system on protein enrichment of cassava (*Manihot esculenta*) root. *Livest. Res. Rural Dev.*, 28, <http://www.lrrd.org/lrrd28/10/vanh28175.html>
- Prasad K.V.S.V., Khan A.A., Vellaikumar S., Devulapalli R., Ramakrishna Reddy Ch., Nigam S.N., Blümmel M., 2010. Observations on livestock productivity in sheep fed exclusively on haulms from ten different genotypes of groundnut. *Anim. Nut. Feed Technol.*, 10S, 121-126.
- Preston T.R., 2006. Forages as protein sources for pigs in the tropics. Workshop-seminar Forages for Pigs and Rabbits. MEKARNCelAgrid, 22-24 August, 2006. Retrieved, December 19, Phnom Penh, Cambodia, 110. <http://www.mekarn.org/proprf/preston.htm>
- Preston T.R., 2009. Environmentally sustainable production of food, feed and fuel from natural resources in the tropics. *Trop. Anim. Health. Prod.*, 41, 873-882.
- Preston TR., Ly LV., Hieu LT., Ogle B., 1996. Sustainable Livestock Production on Local Feed Resources. Proceedings of National Seminar- workshop. University of Agriculture and Forestry, Ho Chi Minh City. <http://www.fao.org/docrep/004/AC151E/AC151E00.htm#TOC>
- Phuc B.H.N., Lindberg J.E., 2001. Ileal apparent digestibility of amino acids in growing pigs given a cassava root meal diet with inclusion of cassava leaves, leucaena leaves and groundnut foliage. *Anim. Sci.*, 72,511-517.
- Ravindran V., 1993. Cassava leaves as animal feed: potential and limitations. *J. Sci. Food. Agric.*, 61, 141-150.
- Régnier C., Jaguelin Y., Noblet J., Renaudeau D., 2012. Ileal digestibility of amino acids of cassava, sweet potato, cocoyam and erythrina foliages fed to growing pigs. *Animal*, 6, 586-593.
- Ruiz M.E., Pezo D., Martinez L., 1980. The use of sweet potato (*Ipomea batatas*, (L.) Lam) in animal feeding. 1. Agronomics aspects. *Trop. Anim. Prod.*, 5, 144-151.
- Samireddypalle A., Boukar O., Grings E., Fatokun C.A., Kodukula P., Devulapalli R., Okike I., Blümmel M., 2017. Cowpea and groundnut haulms fodder trading and its lessons for multidimensional cowpea Improvement for mixed crop livestock systems in West Africa. *Front. Plant. Sci.*, 8, 1-9.
- Saria P., Montoya C., Yusti L.M., Orejuela I., Guevara M., Cruz A.C., Arredondo J., Londoño A., Peters M., 2010. Valor nutricional de la harina de hoja de caupí (*Vigna unguiculata* (L) walp.) en cerdos en crecimiento. *Livest. Res. Rural Dev.*, 22. <http://www.lrrd.org/lrrd22/6/sarr22110.htm>
- Schultze-Kraft R., Rao I.M., Peters M., Clements R.J., Bai C., Liu G., 2018. Tropical forage legumes for environmental benefits: An overview *Trop. grassl.*, 6, 1-14.
- Sengxayalath P., Preston T.R., 2017. Fermentation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) pulp with yeast, urea and di-ammonium phosphate (DAP). *Livest. Res. Rural Dev.*, 29. <http://www.lrrd.org/lrrd29/9/pom29177.html>
- Sharasia P.L., Garg M.R., Bhandari B.M., 2017. Pulses and their by-products as animal feed. Calles T., Makkar H.P.S. (Eds). Rome, FAO, Italy.
- Shelton H.M., 2000. Légumineuses fourragères tropicales dans les systèmes d'agroforesterie. *Unasylya*, 51. <http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/x3989f/x3989f05.PDF>
- Shelton HM., Franzel S., Peters M., 2005. Adoption of tropical legume technology around the world: analysis of success. *Trop. Grassl.*, 39, 198-209
- Singh S., Kundu S.S., Negi A.S., Singh P.N., 2006. Cowpea (*Vigna unguiculata*) legume grains as protein source in the ration of growing sheep. *Small Rum. Res.*, 64, 247-254.
- Speedy A., Pugliese PL., 1992. Legume trees and other fodder trees as protein sources for livestock. *FAO Anim. Prod. Health*, Paper 102.
- Tarawali S.A., Singh B.B., Peters M., Blade S.F., 1997. Cowpea haulms as fodder. In *Advances in Cowpea Research*. Singh B.B., Mohan Raj D.R., Dashiell K.E., Jackai L.E.N. (Eds). 313-325. http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/pnacb024.pdf
- Thomas D., Sumberg J.E., 1995. A review of the evaluation and use of tropical forage legumes in sub-Saharan Africa. *Agric. Ecosyst. Env.*, 54, 151-163.
- Tokita N., Shimojo M., Masuda Y., 2006. Amino acid profiles of tropical legumes, cooper (*Glycine wightii*), Tinaroo (*Neonotonia wightii*) and Siratro (*Macroptilium atropurpureum*), at pre-blooming and blooming stages. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.*, 19, 651-654.
- Traill S., Bell L.W., Dalgliesh N.P., Wilson A., May Ramony LM., Guppy C., 2018. *Crop and Pasture Sci.*, 69, 183-193.
- Van der Hoek R., Peters M., Schultze-Kraft R., Franco L.H., Schmidt A., Rao I., 2010. La integración de leguminosas y gramíneas en sistemas mixtos para la intensificación sostenible de la producción agropecuaria en Centroamérica y el Caribe. In: III Congr. Prod. Anim. Tropical, 15-19, Habana. <https://biblioteca.ihatuey.cu/link/proyecto/agrodesarrollo/memoriasagrodesarrollo2012.pdf>
- Van Huis A., Van Itterbeeck J., Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G., Vantomme P., 2013. Edible insects: future prospects for food and feed security. *FAO Forestry Paper*, 171.
- Vollmann J., 2016. Soybean versus other food grain legumes: A critical appraisal of the United Nations International Year of Pulses 2016. *J. Land Management, Food Env.*, 67, 17-24.

Résumé

Dans les régions tropicales, où les rations de base sont souvent déficitaires en protéines, la complémentation est cruciale. Des alternatives à l'utilisation de tourteau de soja sont potentiellement disponibles dans les systèmes agroforestiers et les systèmes mixtes polyculture-élevage intégrés, bien que l'offre soit plus importante pour les ruminants que les monogastriques non herbivores. La valeur nutritionnelle des ressources n'est pas la seule règle de décision : l'évaluation des stratégies alimentaires, dans une approche multicritère, doit considérer les différents services productifs et non productifs. Elle doit en outre prendre en compte la compétition possible entre l'utilisation des ressources par l'Homme et l'animal. Dans le cadre des systèmes mixtes polyculture-élevage intégrés, les ressources duales, dont la valorisation intégrale concilie les besoins de l'Homme et de l'animal, occupent une place stratégique : graines et fanes de légumineuses, feuilles et tubercules de manioc ou de patate douce etc. Les légumineuses annuelles, pérennes ou arbustives présentent des atouts agronomiques et environnementaux importants dans les systèmes intégrés par leur capacité à fixer l'azote. Le rôle de recyclage et la faible emprise sur le foncier agricole des nouvelles sources d'aliments (plantes aquatiques, microorganismes, insectes, vers de terre) sont aussi un atout pour leur développement. La mise au point de technologies adaptées pour lever les verrous (facteurs antinutritionnels, conservation...) permettra de valoriser pleinement le potentiel de nombreuses ressources protéiques.

Abstract

Protein feeds in integrated mixed crop-livestock farming systems in tropical areas

In tropical regions, where rations are often deficient in protein, supplementation is crucial. Alternatives to the use of soybean meal are potentially available in integrated agroforestry systems and mixed crop-livestock systems, although the choice is wider for ruminants than for non-herbivorous monogastrics. The nutritional value of resources is not the only aspect for decision: the evaluation of feeding strategies, in a multi-criteria approach, has to consider their different productive and non-productive services. It should also take into account the possible competition between the use

of resources by humans and animals. In the context of integrated mixed crop-livestock systems, the dual resources, which overall valorization satisfies the needs of human and animal, are strategic: seeds and vines of legumes, leaves and tubers of cassava or sweet potato, etc. Annual, perennial or tree legumes have important agronomic and environmental benefits in integrated systems by their ability to fix nitrogen. The role of recycling and the low influence on agricultural land of new sources of feed (aquatic plants, microorganisms, insects, earthworms) is also an asset for their development. The development of appropriate technologies to outweigh the limitations (antinutritional factors, feed preservation...) will fully value the potential of many protein resources.

ARCHIMÈDE H., BASTIANELLI D., FANCHONE A. GOURDINE J.-L., FAHRASMANE L., 2018. Aliments protéiques dans les systèmes mixtes intégrés polycultures-élevage en régions tropicales. In : Ressources alimentaires pour les animaux d'élevage. Baumont R. (Ed). Dossier, INRA Prod. Anim., 31, 221-236.

<https://doi.org/10.20870/productions-animales.2018.31.3.2338>

