

POTENTIEL DE *MORINGA OLEIFERA* EN AGRICULTURE ET DANS L'INDUSTRIE

Foidl N., Makkar H.P.S. et Becker K.

Nikolaus Foidl, P.B. 432, carr. Sur Km 11, casa N°5, Managua, (Nicaragua)
tel : +505 2 265 85 88 email : Biomasa@ibw.com.ni

INTRODUCTION

Moringa oleifera Lam. (Synonyme: *Moringa pterigosprema* Gaertner) appartient à une famille monogénérique d'arbres et arbustes, les Moringacées. Il semble être originaire des régions d'Agra et de Oudh, au nord-est de l'Inde, au sud de la chaîne de montagne de l'Himalaya. *Moringa oleifera* est mentionné dans le « Shushruta Sanhita », écrit au début du premier siècle avant J-C, sous le nom de « Shigon ». Mais il semble que la culture de cet arbre en Inde ait en fait été établie il y a plusieurs milliers d'années. Les Indiens savaient que les graines, qu'ils utilisaient en médecine, contenaient de l'huile comestible. Il semblerait également que la plupart des gens connaissaient sa valeur en tant que fourrage ou comme légume. Cet arbre se rencontre à l'état naturel jusqu'à 1000 m d'altitude, il pousse relativement bien sur les versants mais est plus répandu dans les zones de pâturages et les bassins des rivières. Il pousse rapidement, jusqu'à 6 ou 7 mètres en un an, même dans des zones recevant moins de 400 mm de précipitations annuelles (Odee, 1998).

Dans la langue Dravidienne, on trouve diverses appellations locales pour désigner cet arbre, mais la plupart dérivent du nom générique « Morunga ». En anglais, on le connaît sous les noms de « Horseradish tree », « Drumstick tree », « Never die tree », « West Indian Ben tree », ou encore « Radish tree ».

Moringa oleifera est aujourd'hui cultivé à travers le Moyen-Orient, ainsi que tout le long de la ceinture tropicale. Il a été introduit en Afrique de l'Est au début du 20^{ème} siècle. Au Nicaragua, le « Marango » (nom local de *Moringa oleifera*) a été introduit dans les années 1920 comme plante ornementale et utilisé dans les haies vives. Bien qu'étant répertorié dans les inventaires forestiers à travers tout le pays, c'est dans la partie occidentale qu'il est le plus répandu et qu'il se développe le mieux. Il n'est pas cultivé mais on le connaît pour ses capacités de résistance à la sécheresse et aux maladies. Du fait de ses nombreuses utilisations potentielles, nous avons conduit ces 10 dernières années un programme de recherche extensive sur cet arbre, avec le soutien financier du gouvernement autrichien et de l'Université de Hohenheim, Stuttgart. Les nombreuses propriétés valorisables de cette plante en font un sujet d'étude très intéressant. En voici quelques exemples : la forte teneur en protéines des feuilles, des brindilles et du tronc ; la forte teneur en protéines et en huile des graines ; la forte teneur des graines en polypeptides ayant la capacité de former des agrégats avec diverses particules en suspension dans l'eau ; la présence dans les feuilles de facteurs de croissance ; et enfin la forte teneur en sucres et en amidon de la plante en elle-même. De plus, la plupart des organes de l'arbre ne contiennent pas de toxines qui pourraient restreindre leur utilisation dans l'alimentation humaine ou animale. Pour la simplicité et la clarté du texte, le terme « Moringa » sera utilisé pour désigner *Moringa oleifera* dans la suite de cet article.

IMPORTANCE SOCIO-ÉCONOMIQUE

Moringa est l'un des arbres tropicaux les plus utiles. Il se propage relativement facilement, aussi bien de manière végétative que sexuée, et il est peu exigeant en eau et matières minérales. Ainsi, sa production et son entretien sont aisés. L'introduction de cette plante au sein d'une ferme dans un environnement riche en biodiversité peut être bénéfique à la fois pour l'exploitant et pour l'écosystème environnant.

MORPHOLOGIE ET CARACTÉRISTIQUES PHYSIOLOGIQUES

Moringa est un arbre pérenne, à croissance rapide, qui peut atteindre 7 à 12 mètres de hauteur et dont le tronc mesure 20 à 40 cm de diamètre.

Tronc

Le tronc est généralement droit, mais il est parfois très peu développé. En général, il atteint 1,5 à 2 mètres de haut avant de se ramifier, bien qu'il puisse parfois atteindre les 3 mètres.

Branches

Les branches poussent de manière désorganisée et la canopée est en forme de parasol.

Feuilles

Les feuilles, alternes et bi ou tripennées, se développent principalement dans la partie terminale des branches. Elles mesurent 20 à 70 cm de long, sont recouvertes d'un duvet gris lorsqu'elles sont jeunes, ont un long pétiole avec 8 à 10 paires de pennes composées chacune de deux paires de folioles opposés, plus un à l'apex, ovales ou en forme d'ellipse, et mesurant 1 à 2 cm de long (Morton, 1991).

Fleurs

Les fleurs mesurent 2,5 cm de large et se présentent sous forme de panicules axillaires et tombants de 10 à 25 cm. Elles sont généralement abondantes et dégagent une odeur agréable. Elles sont blanches ou couleur crème, avec des points jaunes à la base. Les sépales, au nombre de cinq, sont symétriques et lancéolés. Les cinq pétales sont minces et spatulés, symétriques à l'exception du pétale inférieur, et entourent cinq étamines.

Fruits

Les fruits forment des gousses à trois lobes, mesurant 20 à 60 cm de long, qui pendent des branches. Lorsqu'ils sont secs, ils s'ouvrent en trois parties. Chaque gousse contient entre 12 et 35 graines.

Graines

Les graines sont rondes, avec une coque marron semi-perméable. La coque présente trois ailes blanches qui s'étendent de la base au sommet à 120 degrés d'intervalle. Un arbre peut produire 15000 à 25000 graines par an. Une graine pèse en moyenne 0,3 g et la coque représente 25% du poids de la graine (Makkar et Becker, 1997). Les caractéristiques physiques des gousses et des graines sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Propriétés physiques des gousses et des graines de Moringa

Détermination	1	2	3
Poids moyen des gousses (g)	7,60	-	7,95
Poids moyen des graines par gousse (g)	3,59	5,03	4,83
Nombre moyen de graines par gousse	12,00	17,00	16,00
Poids moyen de 100 graines (g)	29,90	29,60	30,20
Poids moyen de 100 amandes (g)	21,20	-	22,50
Poids de l'amande par rapport au poids de la graine (%)	72,50	-	74,50
Poids de la coque par rapport au poids de la graine (%)	27,50	-	25,50
Teneur en eau de l'amande (%)	4,50	-	6,50
Teneur en eau de la coque (%)	9,20	-	12,90
Teneur en eau de la graine (%)	5,80	-	7,50

1. Ferrao et Ferrao (1970) ; 2. Foletti (communication personnelle) ; 3. Biomasa

UTILISATION DU MORINGA

La figure 1 indique les principales utilisations des différents organes de la plante, qui seront présentées en détail dans la suite de l'article.

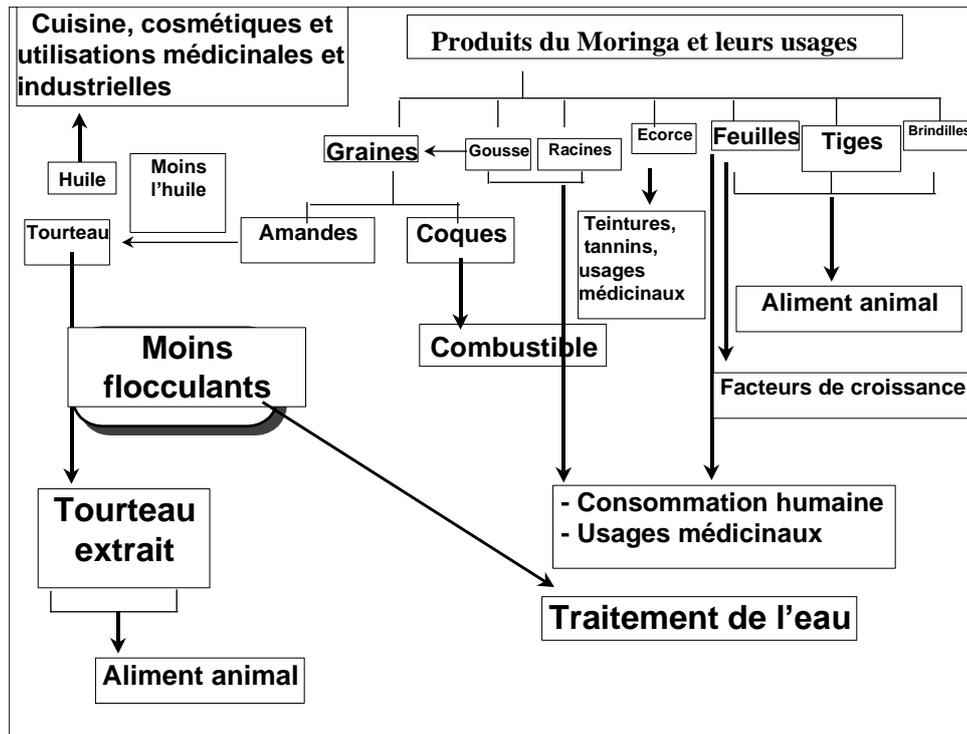


Figure 1 : Utilisations des différents organes de Moringa.

Consommation humaine

Les jeunes feuilles sont comestibles et sont couramment consommées cuites, comme des épinards, ou préparées en soupe ou en salade. Elle sont exceptionnellement riches en provitamine A, en vitamines du groupe B et C, en minéraux (et en particulier en fer) et en acides aminés méthionine et cystéine, sources de soufre. La composition en acides aminés des protéines contenues dans les feuilles est équilibrée pour l'alimentation humaine.

Tableau 2 : Teneur en minéraux de feuilles de Moringa issues d'arbres de différentes origines agroclimatiques (Becker et Makkar, données non publiées)

Minéral	Nicaragua	Inde	Niger
Macro-éléments (g.kg⁻¹ MS)			
Calcium	17,50	26,40	13,90
Phosphore	1,16	1,36	1,22
Magnésium	0,11	0,11	0,11
Sodium	1,16	2,73	2,61
Potassium	19,10	21,70	18,40
Micro-éléments (mg.kg⁻¹ MS)			
Fer	582,0	175,0	347,0
Manganèse	47,1	51,8	113,9
Zinc	13,5	13,7	24,2
Cuivre	11,2	7,1	10,6

Les jeunes gousses vertes sont très goûteuses et peuvent être consommées bouillies comme des haricots. C'est lorsque l'on peut facilement les casser sans laisser de fibres apparentes que les gousses sont les meilleures pour la consommation humaine. Elles sont riches en leucine libre. Avant d'être consommées, les graines doivent d'abord être bouillies quelques minutes et égouttées, et la fine pellicule transparente qui les recouvre ôtée car celle-ci procure un goût amer. Les graines doivent être consommées vertes, avant qu'elles ne virent au jaune.

Les graines sèches peuvent être réduites en poudre et utilisées pour assaisonner les sauces. Les racines des jeunes plants peuvent également être séchées et réduites en poudre pour relever l'assaisonnement, avec un goût proche de celui du raifort. C'est pour cette raison que Moringa a été appelé « Horseradish tree » en anglais (Delaveau et Boiteau, 1980). Une sauce épicée et goûteuse peut aussi être préparée en les cuisinant au vinaigre. Les fleurs peuvent être consommées après avoir été blanchies ou crues comme ingrédient d'une salade. La résine issue du tronc peut encore être utilisée pour épaissir les sauces.

Tableau 3 : Teneur en caroténoïdes de différents organes de Moringa (Becker et Makkar, données non publiées)

Caroténoïde	Organe		
	Feuilles	Branches	Graines
	mg.kg ⁻¹ MS		
Alpha-carotène	6,5	n.d.	n.d.
Beta-carotène	401	n.d.	3,8
Echinénone (?)	n.d.	n.d.	n.d.
Fucoxanthine	n.d.	n.d.	n.d.
Lutéine	702	21,8	4,0
Myxoxanthophylle	n.d.	n.d.	n.d.
Néoxanthine	219	5,9	n.d.
Violaxanthine	76,5	1,3	n.d.
Zéaxanthine	19,4	n.d.	n.d.
Xanthophylles	83,1	1,6	n.d.
Caroténoïdes	1508	34,4	4,0
Chlorophylle	6890	271,1	n.d.

n.d. : non détecté

Tableau 4 : Teneur en vitamine C de feuilles de Moringa de trois provenances, et de plantes cultivées à Hohenheim à partir de graines du Nicaragua (Becker et Siddhuraju, données non publiées)

Provenance	Teneur en vitamine C (g.kg ⁻¹ MS)
Nicaragua*	9,18
Inde*	8,36
Niger*	6,78
Nicaragua* (cultivé à Hohenheim)	7,09
Nicaragua** (cultivé à Hohenheim)	9,67

*analysé à partir de feuilles lyophilisées

**analysé à partir de feuilles fraîches

Utilisations industrielles de l'huile de Moringa

La teneur en huile des graines décortiquées, c'est-à-dire des amandes, est d'environ 42%. L'huile est d'un jaune brillant. Elle est utilisée comme lubrifiant dans la machinerie fine, comme l'horlogerie, pour sa faible tendance à se détériorer et devenir rance et collante (Ferroa et Mendez Ferroa, 1970 ; Ramachandran *et al.*, 1980). Elle est également utilisable comme huile de cuisine. Grâce à sa capacité à absorber et à retenir les substances volatiles, elle est également intéressante dans l'industrie des parfums pour stabiliser les senteurs. La teneur en acides gras libres varie de 0,5 à 3%.

L'huile des graines de Moringa contient environ 13% d'acides gras saturés et 82% d'acides gras insaturés. Elle est particulièrement riche en acide oléique (70%) (Tableau 5). Les huiles végétales classiques contiennent généralement de l'ordre de 40% d'acide oléique.

Tableau 5 : Propriétés physico-chimiques et composition en acides gras de l'huile des graines de Moringa

Propriété	Valeur	
	1	2
Point de saponification	182,9	
Indice d'iode	66,4	
Densité à 20°C (g.mL ⁻¹)	0,89737	
Indice de réfraction à 20°C	1,4670	
Point de solidification* (°C)	6	
Acides gras libres	Jusqu'à 2,98	
Composition an acides gras (%)		
Acide laurique	Traces	n.d.
Acide myristique	0,08	0,05
Acide pentadécanoïque	Traces	n.d.
Acide palmitique	5,45	4,75
Acide palmitoléique	1,48	1,22
Acide margarique	0,08	-
Acide margaroléique	0,05	-
Acide stéarique	5,42	5,66
Acide oléique (C18-1)	72,9	71,0
Acide linoléique	0,76	0,46
Acide linoléinique	0,14	0,09
Acide arachidique	3,39	4,01
Acide gadoléique	2,2	2,24
Acide éicosadiéroïque	-	n.d.
Acide béhénique	6,88	9,03
Acide érucique	0,14	0,13
Acide lignocérique	0,92	1,12
Acide nurvonique	Traces	-
Acide cérotique	-	n.d.
Autres acides gras	0,10	0,2

*Méthode D-97

n.d. : non détecté

1. Thionville Laboratories Inc., New Orleans, USA (March 1994)

2. Becker et Siddhuraju (données non publiées)

Purification de l'eau

Les graines de Moringa contiennent 30 à 42 % d'huile, et le tourteau obtenu comme sous-produit lors de l'extraction de l'huile est très riche en protéines. Certaines de ces protéines (environ 1 %) sont des polyélectrolytes cationiques actifs d'un poids moléculaire de 7-17 kDalton. Les polyélectrolytes cationiques neutralisent les matières colloïdales dans les eaux boueuses ou sales, puisque la majorité de ces matières ont une charge électrique négative. Cette protéine peut donc être utilisée comme polypeptide naturel non toxique pour provoquer la sédimentation des particules minérales et organiques dans les processus de purification de l'eau potable, de filtration de l'huile végétale ou de sédimentation des fibres dans la production de bière et de jus de fruits. Elle agit donc comme un coagulant primaire en créant en permanence des ponts naturels entre les particules colloïdales, contrairement aux coagulants industriels qui sont parfois toxiques, si bien que leur utilisation correcte exige une main d'œuvre qualifiée. La majorité des pays en développement n'a pas les moyens de produire ces coagulants industriels, qui sont chers et grèvent lourdement les réserves en devises de ces pays.

Les propriétés des polypeptides naturels obtenus à partir des graines de Moringa sont connues depuis des siècles en Chine. Lors de la colonisation de l'Inde par les Britanniques, ces connaissances ont été disséminées ailleurs dans le monde. Elles ont été mises à profit très efficacement en Egypte et au Soudan, notamment, pour purifier l'eau du Nil pour la consommation humaine. Les graines séchées sont d'abord débarrassées de leurs ailes, puis broyées pour obtenir une poudre que l'on mélange avec de l'eau. On agite le mélange pendant cinq minutes, puis on le laisse reposer pendant une heure avant de le filtrer sur un tissu pour obtenir de l'eau pure. Une autre méthode consiste à suspendre dans l'eau une poche en tissu contenant la poudre de graines, généralement pendant une nuit, pour faire coaguler les impuretés. On enlève ensuite la poche de poudre, et l'eau purifiée est décantée pour laisser les particules coagulées au fond du récipient. Il est possible d'éliminer ainsi jusqu'à 99 % des matières colloïdales. Il suffit d'une seule graine pour purifier un litre d'eau légèrement contaminée, et de deux pour un litre d'eau très sale.

A l'université technique de Biomasa, des études ont été menées sur l'utilisation de graines de Moringa pour le traitement final dans des unités d'épuration des eaux usées. Dans les lagons d'oxydation, 80 % de la DBO de l'eau provient d'algues monocellulaires. De plus, ces algues renferment 40 à 60 % de l'azote et du phosphore contenus dans les eaux usées avant traitement. Pour éviter l'eutrophisation des cours d'eau et des lacs par l'écoulement de charges importantes de phosphore et d'azote, les graines peuvent être utilisées pour coaguler les algues et les éliminer par sédimentation. Ce traitement permet d'éliminer jusqu'à 98 % des algues présentes. Après sédimentation, les eaux résiduelles deviennent claires et transparentes. Ce traitement réduit d'autre part la DBO de l'eau d'environ 70%, et sa teneur en phosphore et en azote de 60 %. Les algues récupérées après sédimentation puis séchées et pulvérisées contiennent environ 46 % de protéines et peuvent être utilisées pour compléter les rations protéiques des bovins, des porcs, des poulets et même des crevettes, ce qui réduit considérablement les coûts de leur alimentation. Sous les tropiques, les eaux usées dans un lagon d'oxydation d'un hectare peuvent donner jusqu'à 80 tonnes d'algues sèches par an.

Pour assurer le traitement final des eaux usées d'une ville de 10 000 habitants, il faut environ 960 kg de tourteau de Moringa par jour. Une plantation d'environ 105 hectares à 1100 arbres/hectare permettrait donc de produire assez de graines pour traiter les eaux usées de la ville. Cependant, le volume et le poids importants de la tourteau de Moringa pose des problèmes de stockage et de gestion. Le département de Biomasa a donc développé un processus permettant de concentrer les polypeptides par ultrafiltration après leur extraction à l'eau et à l'alcool. Cette forme post-concentrée élimine 80 % du poids total tout en conservant les caractéristiques physico-chimiques utiles du produit. La forme pré-concentrée présente d'autre part un goût amer qui doit être éliminé avant incorporation dans des produits alimentaires. Notre expérience suggère que la capacité de clarification/floculation des graines de *M. oleifera* varie selon la saison, et les résultats des comparaisons entre *M. stenepetala* et *M. oleifera* doivent donc être interprétés avec prudence.



Photo 1 : Une plantation de Moringa pour la production de graines (Foidl)

Accélérateurs de croissance végétale

L'extrait à l'éthanol à 80 % obtenu à partir des feuilles de Moringa contient des facteurs de croissance (hormones du type cytokinine). Cet extrait peut être utilisé en aspersion sur les feuilles pour accélérer la croissance des jeunes plants. Ce traitement aux hormones de croissance augmente aussi la robustesse des plants et leur résistance aux maladies. De plus, les fruits sont plus abondants et plus gros, ce qui augmente le rendement des arbres lors de la récolte. L'extrait s'obtient soit par pressage, soit à l'aide d'un ultra-turrax avec filtration de 20 g de feuilles tendres dans un volume total de 675 ml d'éthanol aq. à 80 % (Makkar et Becker, 1996).

L'aspersion des feuilles avec l'extrait de Moringa préparé avec de l'éthanol à 80 % puis dilué dans de l'eau produit des effets significatifs : croissance plus vigoureuse sur un cycle de vie plus long ; racines, tiges et feuilles plus robustes, fruits plus gros, teneur plus élevée en sucres, etc. L'utilisation de cet extrait permet d'augmenter globalement les rendements de 20 à 35 % (chiffres obtenus à partir de données sur le diamètre des tiges, le nombre de nodules, de bourgeons axillaires, de bourgeons floraux et de fruits par bourgeon floral- voir Tableaux 6 et 7).

Tableau 6 : Effets de l'application d'un extrait de feuilles de Moringa préparé à l'éthanol sur les nodules, les bourgeons et les racines de la légumineuse *Vigna mungo* L

Concentration de l'extrait à l'éthanol (%)	Poids moyens frais de différents organes de la plante (mg/plante)		
	Nodules	Bourgeons	Racines
0	16.4	600	350
0.08	54.0	1 100	403
0.16	49.6	990	550
0.24	35.0	890	660
0.32	30.0	800	800
0.40	25.4	700	700

Source : Bendona Bose, département de Botanique, Université de Gorekhpur

Une expérience menée pour tester la rétention de chlorophylle a révélé que des concentrations de 0,08 à 0,16 % donnent les taux de rétention les plus élevés.

Tableau 7 : Quelques résultats obtenus par aspersion foliaire d'une phytohormone naturelle extraite du Moringa.

Culture	Effets de l'hormone du Moringa	Rendement avec hormone (kg/manzana*)	Rendement sans hormone (kg/manzana*)
Arachide (traçante)	Flleurs plus grandes MS plus élevée Rendement amélioré Fruits de meilleure qualité	3 750	2 954
Soja CEA-CH 86	Flleurs plus grandes Biomasse plus élevée Rendement amélioré	2 182	1 591
Maïs NB-6	Rendement amélioré	6 045	4 454
Sorgho H887-V2	Rendement amélioré	3 234	2 787
Oignon (sondeo)	Poids moyen plus important	2 954	2 591
Granex	Floraison améliorée	-	-
Tomate (sondeo)			
Santa Clara			
Cantaloup	Moins de chutes de fleurs après pollinisation Pourcentages plus élevés en sucres et minéraux	11 592 (melons)**	8 820 (melons)**
Poivron	MS plus élevée	17 380	11 752
Yolo Wonder	Fruits plus lourds		
Café	Grains plus gros Formation des fèves améliorée	1 682 (partiellement nettoyés)	1 409 (partiellement nettoyés)
Canne à sucre	Plus de pousses par souche plantée Pourcentages de sucres et minéraux plus élevés	82 400	77 320
Haricot noir Dor-364	Rendement amélioré	1 125	945
Haricot noir Esteli 150	Rendement amélioré	841	886

* 1 manzana = 0,705 hectares ou 7 050 m²

** fruit individuel

Données du projet Biomasa (1999)

Le Moringa comme source de biogaz

Des plants de Moringa (âgés de 30 jours environ) sont broyés avec de l'eau. Les fibres sont séparées par filtration sur des mailles de 5 mm. La fraction liquide est ensuite ajoutée à un réacteur à biogaz. Pour une alimentation moyenne de 5,7 g de matières solides volatiles, la production de gaz s'élève à 580 litres/kg de solides volatils. La teneur moyenne en méthane du gaz produit est de 81%.

Le Moringa comme essence fourragère

Les qualités nutritives du Moringa sont excellentes, ce qui en fait une source de fourrage de très bonne qualité pour les bovins et facilement accessible. Les feuilles sont riches en protéines, en carotène, en fer et en acide ascorbique, et les gousses ont une teneur élevée en lysine, un acide aminé (CSIR, 1962 ; Chawla *et al.*, 1998; Dogra *et al.*, 1975). D'autre part, le Moringa présente le net avantage de produire une grande quantité de matière fraîche à l'unité de surface par rapport à d'autres plantes fourragères (voir ci-dessous : productivité des plantations de Moringa). Le Moringa est une source de fourrage particulièrement intéressante tant en termes économiques qu'en termes de productivité, compte tenu des problèmes que connaissent les éleveurs (les petits élevages représentent 70 % du cheptel national du Nicaragua). Les principaux problèmes sont les suivants :

- a) Fourrage rare en saison sèche, qui s'étend de décembre à mai.
- b) Manque de pâturage, du fait que les paysans sont propriétaires de petites superficies généralement peu entretenues et mal gérées.
- c) Déséquilibres alimentaires en raison du manque de protéines, de féculents et de minéraux.
- d) Faible maîtrise de la reproduction des troupeaux, qu'il s'agisse de la planification dans le temps des accouplements ou de la qualité des reproducteurs.

Constituants chimiques

La teneur en protéines des feuilles fraîches ne varie guère en fonction de la provenance (Tableau 8).

Tableau 8 : Composition chimique (% MS) des feuilles fraîches et des fruits de Moringa

Fraction	MS (%)	PB	FB	EE	Ca	P
Feuilles fraîches ¹	18,7	29,0	19,1	5,2	2,06	0,24
Feuilles fraîches ²	-	25,1	-	5,4	-	-
Feuilles fraîches ³	-	26,4	-	6,5	-	-
Fruits	10,7	20,7	27,0	1,0	-	-

MS : Matière sèche ; PB : Protéines brutes (Nx6,25) ; FB : Fibres Brutes ; Ca : Calcium ; P : Phosphore
¹Bengladesh ; ²Nicaragua ; ³Inde ; ⁴Sri Lanka

Nous avons montré précédemment que l'application d'un extrait de Moringa dans l'éthanol à 80% augmentait la nodulation et la production de plusieurs espèces cultivées. Des cultures de Moringa à grande échelle ont été mises en place dans plusieurs pays, tels que le Malawi, le Kenya, l'Inde, la Tanzanie et le Nicaragua. Une grande quantité de résidus foliaires est obtenue après l'extraction des accélérateurs de croissance des feuilles, qu'il faut valoriser au mieux. Dans l'objectif d'utiliser les feuilles, fraîches ou après extraction, dans l'alimentation du bétail, nous avons donc analysé celles-ci pour leur teneur en nutriments et en facteurs anti-nutritionnels (Makkar et Becker, 1996). La composition chimique des feuilles, fraîches et après extraction, est donnée dans le tableau 8. La teneur brute en protéines des feuilles fraîches et après extraction est respectivement de 25,1 et 43,5%, suggérant que dans les deux cas, les feuilles constituent une bonne source de protéines pour l'alimentation du bétail. La teneur brute en protéines et en fibres est, comme on pouvait l'attendre, supérieure dans les feuilles après extraction. En effet, une certaine quantité de composés cellulaires solubles et de lipides sont éliminés lors du traitement à l'éthanol à 80%. En accord avec nos données, Gupta *et al.* (1989) ont rapporté des teneurs brutes en protéines, lipides et minéraux de 26,4%, 6,5% et 12%, respectivement, dans les feuilles fraîches. En revanche, les mêmes auteurs ont rapporté des teneurs plus élevées en fibres extraites au détergent neutre (28,8 contre 21,9%) et au détergent acide (13,9 contre 11,4%). Ces variations peuvent s'expliquer par des différences de conditions agro-climatiques ou d'âge des arbres, mais probablement pas par différents stades de maturité, des feuilles vertes et tendres ayant été utilisées dans les deux études.

Tableau 9 : Composition chimique des feuilles de Moringa, après extraction à l'éthanol à 80% ou fraîches

Type de feuilles	Protéines brutes	Lipides	Minéraux	FDN	FDA	LDA	Energie brute (MJ.kg ⁻¹ MS)
Après extraction	43,5	1,4	10,0	47,4	16,3	2,2	17,7
Fraîches	25,1	5,4	11,5	21,9	11,4	1,8	18,7

Toutes les valeurs, sauf l'énergie brute, sont exprimées en % de la matière sèche.

FDN : fibres extraites au détergent neutre ; FDA : fibres extraites au détergent acide ; LDA : lignine extraite au détergent acide

Composition en acides aminés des feuilles de Moringa

Le profil d'acides aminés des feuilles de Moringa est présenté dans le tableau 10. La teneur en acides aminés (en g/16g N) des feuilles fraîches est plus faible que celle des feuilles après extraction. Ceci est dû à une quantité plus importante d'azote non protéique dans les feuilles fraîches (4,7% contre 2,7%). La valeur alimentaire potentielle des protéines (comme source d'acides aminés) peut être évaluée par comparaison avec le profil de référence de la FAO (Zarkadas *et al.*, 1995). Tous les acides aminés essentiels sont présents à une concentration supérieure par rapport à celle préconisée par la FAO, l'OMS et l'ONU, pour les enfants de 2 à 5 ans, dans la protéine de référence. La comparaison de la teneur en acides aminés essentiels entre les feuilles après extraction, fraîches et le soja donne des valeurs comparables pour tous les acides aminés (Bau *et al.*, 1994 ; Srakar et Peace, 1994).

Tableau 10 : Composition en acides aminés des feuilles de Moringa après extraction et fraîches

Acide aminé	Composition en acides aminés des feuilles après extraction		Composition en acides aminés des feuilles fraîches		Composition en acides aminés de la protéine de référence de la FAO*
	g/16 g N	g/kg MS	g/16 g N	g/kg MS	g/16 g N
Lysine	6,61	26,77	5,60	14,06	5,80
Leucine	9,86	42,89	8,70	21,84	6,60
Isoleucine	5,18	22,53	4,50	11,30	2,80
Méthionine	2,06	8,96	1,98	4,97	2,50
Cystine	1,19	5,18	1,35	3,39	2,50
Phénylalanine	6,24	27,14	6,18	15,51	6,30
Tyrosine	4,34	18,88	3,87	9,71	6,30
Valine	6,34	27,58	5,68	14,26	3,50
Histidine	3,12	13,57	2,99	7,50	1,90
Thréonine	5,05	21,97	4,66	11,70	3,40
Sérine	4,78	20,79	4,12	10,34	-
Acide glutamique	11,69	50,85	10,22	25,65	-
Acide aspartique	10,60	46,11	8,83	22,16	-
Proline	5,92	25,75	5,43	13,63	-
Glycine	6,12	26,62	5,47	13,73	-
Alanine	6,59	28,67	7,32	18,37	-
Arginine	6,96	30,28	6,23	15,64	1,10
Tryptophane	2,13	9,26	2,10	5,27	-

*Données tirées de Zarkadas *et al.* (1995)

Energie métabolisable (EM) et digestibilité de la matière organique (DMO)

L'énergie métabolisable (EM) et la digestibilité de la matière organique (DMO) des échantillons ont été prédits à l'aide de la méthode de Menke *et al.* (1979) (plus la valeur numérique est élevée, plus la valeur nutritionnelle de l'échantillon est bonne). L'EM et la DMO ont été calculées d'après les teneurs en constituants chimiques (protéines brutes, lipides et minéraux) données dans le tableau 8, et la production de gaz observée après 24 h de fermentation dans des tubes clos tel que décrit dans Mencke *et al.* (1979). Les valeurs de l'EM et de la DMO sont respectivement de 9,5 MJ.kg⁻¹ et

74% pour les feuilles fraîches, et de 9,2 MJ.kg⁻¹ et 75,7% pour les feuilles après extraction. Ces valeurs sont légèrement inférieures à celles observées dans les aliments couramment utilisés pour l'alimentation du bétail. Pour les deux types de feuilles, l'EM est du même ordre de grandeur que celle des fourrages frais, tandis que la DMO est supérieure d'environ 5% (Tableau 11).

Tableau 11 : Teneurs brutes en protéines (PB) et en fibres (FB), énergie métabolisable (EM) et digestibilité de la matière organique (DMO) de tourteaux d'oléagineux couramment utilisées dans l'alimentation animale (par rapport à la matière sèche) (d'après Close et Mencke, 1986)

Aliments	PB (%)	FB (%)	EM (MJ.kg ⁻¹)	DMO (%)
Tourteaux				
Tourteau de ricin, <i>Ricinus</i> , (préparation commerciale)	38,5	32,3	6,9	47
Tourteau de noix de coco, <i>Cocos nucifera</i>	23,7	16,2	11,9	81
Tourteau de graines de coton, <i>Gossypium</i> spp., décortiquées	51,5	8,8	10,6	73
Tourteau de graines de coton, <i>Gossypium</i> spp., partiellement décortiquées	41,7	19,2	10,5	74
Tourteau d'arachides, <i>Arachis hypogaea</i> , décortiquées	56,3	6,4	12,5	86
Tourteau d'arachides, <i>Arachis hypogaea</i> , partiellement décortiquées	51,3	10,7	12,0	83
Tourteau de graines de lin, <i>Linum usitatissim</i>	38,7	10,3	12,2	79
Tourteau de graines de moutarde, <i>Sinapis alba</i>	42,2	10,8	11,9	83
Tourteau de graines de colza, <i>Brassica napus</i>	39,4	14,0	10,9	77
Tourteau de graines de soja, <i>Glycine max</i>	51,4	6,7	13,0	92
Tourteau de graines de tournesol, <i>Helianthus annuus</i>	42,0	15,1	10,6	75
Fourrages frais				
Luzerne, avant floraison	22,1	23,7	10,0	70
Trèfle rouge, en fleur	17,5	24,3	9,6	70
Trèfle blanc, en fleur	21,5	20,3	9,7	70
Lupin blanc	22,0	23,9	10,9	79
Mûrier*	Jusqu'à 27,6	48,0	11,3	64
Feuilles de <i>Moringa oleifera</i>				
Après extraction	43,5	47,4	9,2	75,7
Fraîches	25,1	21,9	9,5	74,1

*Fibres extraites au détergent neutre (et non fibres brutes)

Dégradabilité des protéines

Le test *in vitro* de dégradabilité des protéines brutes dans le rumen (DPBR), après 24 h d'incubation, donne des valeurs de 44,8 et 48,6% respectivement pour les feuilles de Moringa après extraction et fraîches. Des valeurs beaucoup plus élevées de dégradabilité des protéines sont rapportées pour les tourteaux de graines (Krishnamoorthy *et al.*, 1995). Negi *et al.* (1989) ont trouvé des valeurs faibles de dégradabilité des protéines dans le rumen (16 à 40%) pour des fourrages issus d'arbres contenant des tannins. La teneur en fibres extraites au détergent acide (FDA) est respectivement de 16,3 et 11,4% pour les feuilles de Moringa après extraction et fraîches, et la teneur en protéines de la fraction FDA (PIDA, protéines insolubles extraites au détergent acide) est respectivement de 13,2 et 9,8%. La fraction PIDA représente respectivement 5 et 4,4% des protéines brutes totales pour les feuilles de Moringa après extraction et fraîches. Ces protéines ne sont pas disponibles pour l'animal. La plus forte teneur en protéines de la fraction FDA obtenue dans les feuilles après extraction par rapport aux feuilles fraîches peut s'expliquer par la précipitation de protéines solubles lors de l'extraction à l'éthanol à 80% (l'éthanol à 80% est en effet utilisé pour précipiter les protéines en solution). Ces protéines précipitées restent dans le

résidu (que l'on désigne par «feuilles après extraction») après le traitement à l'éthanol. En général, ces protéines sont solubles dans les solutions au détergent acide, mais le traitement à la chaleur (80°C) utilisé pour sécher le résidu après l'extraction à l'éthanol peut rendre ces protéines insolubles dans la solution acide (Van Soest, 1965). Nous avons trouvé qu'environ 95% de l'azote total des feuilles de Moringa est disponible, soit dans le rumen, soit dans le post-rumen (Tableau 12). Cette valeur est proche de celle de la digestibilité par la pepsine qui est de 92% (Makkar et Becker, 1997). Respectivement 50 et 47% des protéines totales des feuilles après extraction et fraîches sont potentiellement digestibles dans l'intestin ($PDI = \text{protéines brutes totales} - [\text{DPRB} + \text{PIDA}]$). Dans les compléments alimentaires protéiques (tourteaux de noix de coco, de graines de coton, d'arachides, de sésame, de graines de tournesol, et son de blé) cette valeur varie entre 0 et 26%, et atteint la valeur exceptionnelle de 45% pour le son de riz. Parmi les fourrages, la plus forte valeur de PDI est trouvée pour *Leucaena* (41 à 58%), suivi de *Gliricidia* (34%), et de *Centromesa pubescens* (32%). Dans les pailles de céréales, la valeur de PDI varie de 0 à 35% (Krishnamoorthy *et al.*, 1995). Negi *et al.* (1988) ont rapporté des valeurs de 11% pour la paille de blé et de 46% pour la paille de riz. Les PDI sont disponibles pour l'animal dans un objectif de production. Les fortes valeurs de teneur en protéines et de PDI observées dans les feuilles de Moringa après extraction (50%) et fraîches (47%) suggèrent que celles-ci constituent une bonne source de complément protéique pour l'alimentation des ruminants.

Tableau 12 : Niveaux de protéines brutes (PB), protéines brutes dégradables dans le rumen (PBDR), protéines insolubles au détergent acide (PIDA), et protéines potentiellement digestibles dans l'intestin (PDI) dans les feuilles de Moringa fraîches et après extraction

Échantillon	g PB/100 g a	g PBDR/100 g b	g PIDA/100 g c	g PDI/100 g a - (b + c)
Feuilles fraîches	25,1	12,2 (48,6)	1,1 (4,4)	11,8 (47,0)
Feuilles après extraction	43,5	19,5 (44,8)	2,2 (5,1)	21,8 (49,9)

(Les valeurs entre parenthèses représentent le pourcentage des protéines totales).

Azote non-protéique et azote total soluble

Le taux d'azote non-protéique (ANP) dans les feuilles de Moringa après extraction et fraîches est respectivement de 4,7 et 2,7%. On considère que l'ANP est totalement dégradé dans le rumen. Le taux d'ANP des tourteaux de jojoba, de soja, de tournesol et de colza est respectivement de 21-30%, 2,9-7,8%, 5,0% et 6,9% (Wolf *et al.*, 1994). La quantité de protéines par rapport à la matière sèche dans les feuilles après extraction et fraîches est respectivement de 20,4 et 40,8%. Le taux d'azote soluble dans une solution tampon (pH 7,0) est respectivement de 3,1 et 5,9% pour les feuilles après extraction et fraîches (soit 7,1 et 23,5% des protéines brutes totales), suggérant que la solubilité des protéines dans les feuilles de Moringa est très faible. Des résultats similaires ont été obtenus avec *M. peregrina* (Al-Khatani et Abou-Arab, 1993). Cette faible solubilité pourrait être l'un des facteurs responsable de la faible dégradabilité des protéines dans le rumen (voir plus haut).

Cinétique de la digestion

Le tableau 13 présente, pour les feuilles de Moringa après extraction et fraîches, le taux de production (c) et la production potentielle (b) de gaz selon la méthode de Menke *et al.* (1979), la quantité de fibres extraites au détergent neutre (FDN), ainsi que d'autres paramètres. Le taux de production de gaz est un indice de la rapidité avec laquelle la matière organique fermente dans le rumen. Des valeurs élevées de taux de digestion et de FDN des feuilles de Moringa indiquent une absorption efficace par les animaux. Le taux de dégradation des fibres des feuilles après extraction est plus bas que celui des feuilles fraîches, ce qui peut être attribué à la forte température (80°C) subie par les feuilles lors du séchage après le traitement à l'éthanol à 80%. La température de séchage peut diminuer significativement la dégradabilité des fibres, rendant les protéines indisponibles pour l'animal. Afin de faire le meilleur usage possible des feuilles après extraction, les feuilles devraient être séchées à faible température après le traitement à l'éthanol à 80%. Les paramètres de la cinétique de digestion (Tableau 13) suggèrent que la valeur nutritive des feuilles de Moringa est aussi bonne que celle d'autres ressources alimentaires communes telles que *Leucaena* ou le mûrier.

Tableau 13 : Taux de production (c) et production potentielle (b) de gaz selon le modèle exponentiel

Echantillon	c (par heure)	b (mL.g ⁻¹ d'échantillon)
Feuilles / pailles		
Feuilles de Moringa		
- Fraîches	0,0852	247,5
- Après extraction	0,0489	268,3
Feuilles de mûrier		
- Jeunes*	0,0703	303,0
- Matures	0,0624	177,0
<i>Leucaena</i> *	0,0578	186,0
Paille de sorgho	0,0648	252,1
Paille d'orge	0,0417	286,7
FDN		
Feuilles de Moringa		
- Fraîches	0,0753	267,8
- Après extraction	0,0648	260,3
Paille de sorgho	0,0299	272,5
Paille d'orge	0,0340	302,1

*Données d'après Singh et Makkar (2000)

Tannins et autres facteurs anti-nutritionnels

De nombreuses plantes, en particulier des régions tropicales, contiennent des polyphénols (ou tannins). Leur consommation par les animaux provoque des effets négatifs sur la productivité et affecte leur état sanitaire. Des tannins sont présents dans de nombreux sous-produits agro-industriels tels que les gousses d'*Acacia nilotica*, les tourteaux de *Madhuca indica*, les amandes des graines de *Mangifera indica*, la cire de *Panicum miliaceum*, les tourteaux de *Garcinia indica*, les gousses de *Theobroma cacao* (Makkar *et al.*, 1990 ; Makkar et Becker, 1998). Les feuilles fraîches de Moringa contiennent des quantités négligeables de tannins (1,4%), tandis que les tannins condensés sont indétectables. La teneur en phénols totaux est de 3,4% (Tableau 14). Gupta *et al.* (1989) ont rapporté une teneur en phénol totaux de 2,7% pour les feuilles fraîches. A de telles concentrations, ces phénols simples ne produisent pas d'effets négatifs lorsqu'ils sont consommés par les animaux. Dans les feuilles après extraction, on ne détecte pas de tannins, et la teneur en phénols est très faible (1,6%). Les tannins sont solubles dans les solvants organiques aqueux tels que l'éthanol, le méthanol, l'acétone, etc.. (Makkar et Singh, 1992). Ainsi, les tannins sont susceptibles d'être présents dans la préparation hormonale obtenue par extraction à l'éthanol à 80%. L'absence d'augmentation de la production de gaz suivant l'addition de polyéthylène glycol (un test biologique de la présence de tannins, basé sur l'incubation d'un aliment dans un milieu tamponné contenant des microorganismes du rumen, (Makkar *et al.*, 1995) montre également l'absence de tannins dans les feuilles après extraction et fraîches.

Un autre groupe de facteurs anti-nutritionnels dont la présence a été mentionnée dans les feuilles de Moringa sont les sucres raffinose et stachyose qui produisent des flatulences chez les monogastriques. Selon Gupta *et al.* (1989), ces composés représentent 5,6% de la matière sèche dans les feuilles fraîches de Moringa et plus encore dans les légumineuses. Toutefois, il peuvent être largement éliminés par trempage et cuisson dans l'eau (Bianchi *et al.*, 1983). Ces facteurs de flatulence sont dosés après extraction dans l'éthanol à 80% (Williams, 1984), et devraient donc être absent des feuilles de Moringa après extraction. Les autres facteurs anti-nutritionnels présents dans les feuilles fraîches de Moringa sont les nitrates (0,5 mmol/100 g), l'oxalate (4,1%), les saponines (1,2%) et les phytates (3,1%). Gupta *et al.* (1989) n'ont pas détecté d'activité d'inhibiteur de trypsine. Les phytates sont présents à raison de 1 à 5% dans les légumineuses, et sont connus pour diminuer la bio-disponibilité des minéraux chez les monogastriques (Reddy *et al.*, 1982). Les feuilles de Moringa sont relativement riches en minéraux, et la présence d'oxalates et de phytates à des taux de 4,1 et 3,1% respectivement est susceptible de diminuer la bio-disponibilité des minéraux. Les saponines de certaines plantes ont un effet négatif sur la croissance des animaux mais celles présentes dans les feuilles de Moringa apparaissent inoffensives (elles ne présentent pas d'activité hémolytique), et ces feuilles sont consommées par l'homme apparemment sans effet négatif. Makkar et Becker (1997) n'ont pas détecté de glucosides cyanogènes ni de glucosinates dans les feuilles de Moringa. La plupart des facteurs anti-nutritionnels cités ci-dessus sont solubles dans l'éthanol aqueux, et sont donc certainement absents des feuilles après extraction.

Tableau 14 : Teneurs en phénols totaux, tannins, tannins condensés, saponines, phytates, lectine et inhibiteurs de trypsine dans les feuilles de Moringa fraîches et après extraction

Échantillon	Phénols totaux (%)	Tannins ^a (%)	Tannins condensés (%)	Saponines ^b (%)	Phytates ^c (%)
Feuilles après extraction	1,6	0,0	0,0	0,2	2,5
Feuilles fraîches	3,4	1,4	0,0	5,0	3,1

Les tannins condensés, la lectine et les inhibiteurs de trypsine ne sont pas détectés dans les deux types d'échantillons.

^aen équivalent d'acides taniques

^ben équivalent de diosgénine

^cen équivalent d'acide phytique

Essais d'engraissement des bovins à l'aide de Moringa

Des essais ont été menés avec un troupeau de 24 animaux. Pendant la journée, le troupeau se nourrissait de *gamba* (pâturage qui contient quelques plantes légumineuses). La nuit, 12 animaux (en 3 groupes de 4) se nourrissaient à satiété d'herbe de pâturage fraîchement coupée, tandis que les 12 autres se nourrissaient à satiété de Moringa haché vieux de 35 jours.

Tableau 15 : Gains de poids chez des bovins nourris à satiété pendant la nuit d'herbe de pâturage fraîchement coupée ou de Moringa haché de 35 jours

Groupe	Gains (g/jour)	Gain moyen (g/jour)
Herbe (3 x 4 animaux)	750 - 980	950
Moringa (3 x 4 animaux)	1150 - 1450	1250

Le gain de poids est très supérieur dans le groupe expérimental nourri au Moringa par rapport au groupe témoin nourri d'herbe de pâturage (Tableau 15). Les autres conditions (sels minéraux, eau etc.) sont identiques pour les deux groupes.

Taux de production de matières végétales fraîches dans les plantations de Moringa

Une étude comprenant de nombreux essais a été menée pour définir la densité optimale de plantation du Moringa pour obtenir un maximum de matière végétale fraîche (tiges, branches et feuilles de la plante coupée à 20-25 cm du sol). Les espacements sont compris entre 1m x 1m soit 10 000 plants à l'hectare et 2,5 cm x 2,5 cm soit 16 millions de plants à l'hectare. Ayant pris en compte un certain nombre de facteurs ayant une incidence sur les résultats d'ensemble, comme le coût des semences, la perte de plants lors des premières coupes (sélection par manque de lumière, les plus rapides faisant de l'ombre aux plus lents) ou le coût de la préparation du sol, nous avons constaté que la densité optimale dans un sol sableux, fertile et bien drainé est de 10 cm x 10 cm ou 1 million de plants à l'hectare (Tableau 16).

La densité choisie et donc le nombre de plantes éliminées dépend des objectifs de production. Si l'on souhaite par exemple produire du fourrage vert avec une teneur maximale en protéines et une teneur minimale en lignine, les coupes doivent se faire tous les 33 à 40 jours. Si l'objectif est de produire un maximum de fibres lignocellulosiques pour la production de pâte à papier, la coupe doit intervenir dans l'idéal après 6 à 8 mois de croissance. Ce laps de temps permet d'obtenir des troncs du diamètre requis avec une proportion plus réduite de feuilles, de petites branches et d'écorce afin de maximiser le pourcentage de matières ligneuses.

Le Moringa poursuit sa croissance entre les coupes, et le nombre de plants à l'hectare diminue alors très fortement à cause des différences entre leurs rythmes de croissance. En cherchant la lumière, les plantes de plus grande taille l'emportent progressivement sur les plantes plus petites ou à croissance plus lente. 35 jours après la plantation, la hauteur moyenne des plantes est de 1,6 à 2 mètres et la concurrence n'est pas encore très forte. Les différences de hauteurs entre les arbres à ce stade varient de 10 à 40 cm (les pertes dues au manque de lumière sont compensées par les pousses qui se développent sur les souches, généralement 6 à 10 par tige suivant la taille de celle-ci).



Photo 2 : Production intensive de Moringa pour le fourrage (Foidl)

Tableau 16 : Paramètres de production du Moringa lors de la première coupe

Densité de plantation (Plants/ha)	Matières fraîches (t/ha/coupe)	Matières sèches (t/ha)	Protéines (kg/ha)	Pertes de plants après la première coupe
95 000	19,6	3,33	566	n.d
350 000	29,7	5,05	859	n.d.
900 000	52,6	8,94	1 520	n.d.
1 000 000	78,0	13,26	2 254	Environ 2%

n.d. = non déterminé

Suite aux premiers essais, seul celui à 1 million de plants à l'hectare (espacement optimal) a été poursuivi. La plantation a été observée pendant quatre ans, 9 coupes étant pratiquées chaque année. Il convient de noter que ce rythme de coupe élevé n'est possible qu'avec un régime de fertilisation et d'irrigation rigoureux. Cependant, même en irriguant de façon régulière et systématique tout au long de l'année, le rendement des coupes présente des variations significatives entre la saison sèche et la saison des pluies. Le rendement des coupes en saison sèche peut ne pas dépasser les 45 tonnes/ha, tandis qu'en saison des pluies, il atteint parfois 115 tonnes/ha.

Dans les petites zones d'essai (10 m²), nous avons essayé des densités de 4 millions de plants/ha et de 16 millions de plants/ha. Les résultats de ces essais sont indiqués dans le Tableau 17.

Tableau 17 : Paramètres de production du Moringa lors de la première coupe sur les parcelles expérimentales plantées à haute densité.

Densité (Plants / ha)	Matières fraîches (tonnes / ha)	Matières sèches (tonnes / ha)	Protéines (kg / ha)	Perte de plants après la première coupe
4 millions	97,4	16,56	2 815	Environ 25 %
16 millions	259,0	44,03	7 485	Environ 40 %

Les pertes sont toujours très élevées lors de la coupe suivante. Un calcul par interpolation montre qu'au bout de 4-6 coupes il ne resterait de toute façon qu'environ 1 million de plants à l'hectare. Compte tenu du coût élevé des semences et des difficultés liées au maintien d'un espacement régulier de 2.5 cm x 2.5 cm sur des superficies plus importantes, nous avons abandonné ce modèle. Toutefois, nous sommes de l'avis que si le producteur a pour unique objectif de maximiser la production de biomasse, racines comprises, les semis à haute densité entretenus à l'aide de technologies hydroponiques sont susceptibles de donner des très grandes quantités de biomasse à l'hectare (jusqu'à 1 000 tonnes/ha par an).

Les essais avec 1 million de plants à l'hectare et 9 coupes par an sur 4 ans donnent une production moyenne de matières fraîches de 580 tonnes/ha/an, soit environ 99 tonnes de matières sèches. Cette quantité de matière sèche contient en moyenne 16,8 tonnes de protéines, 9,9 tonnes de glucides, 7,9 tonnes d'amidon et 4,9 tonnes de lipides.

Du fait de la très faible teneur en lignine (environ 5 %), la fraction hémicellulosique et cellulosique est très élevée. En procédant à la co-fermentation de l'amidon, de l'hémicellulose et de la cellulose pour les transformer en sucres puis en alcool, le potentiel de production d'alcool est de plus de 20 000 litres à l'hectare et par an.

Au bout de quelques années, la masse racinaire du Moringa représente une proportion importante de la masse globale de la plante. D'après nos connaissances, la productivité du Moringa en plantation dépasse celle de toutes les autres essences de plantation. Il serait nécessaire de poursuivre ces expériences pour déterminer si un tel rythme de production peut réellement être maintenu sur le long terme, et à quel prix. De gros apports de minéraux à l'hectare seraient nécessaires pour maintenir ce niveau de productivité sur une densité de 1 million de plants à l'hectare. Une évaluation systématique des besoins en engrais est nécessaire.

Conclusion sur l'utilisation de Moringa comme fourrage

La teneur en matières azotées totales (MAT) des feuilles de Moringa après extraction ou fraîches est élevée (respectivement 43,5 % et 25,1 %), la teneur en matières azotées apparemment digestibles (MAD) s'élevant à plus de 95 %. Nous avons constaté qu'environ 95 % des protéines brutes totales sont disponibles au niveau du rumen ou du post-rumen. Ces données suggèrent que les feuilles de Moringa, avant ou après extraction, représentent une bonne source de protéines supplémentaires pour les vaches très productives.

Des taux de digestion des FDN (indice de rapidité de la fermentation d'un aliment ou de fibres dans le rumen) plus élevés sont observés tant pour les feuilles fraîches de *M. oleifera* que pour les feuilles après extraction, ce qui suggère une bonne qualité de fibres également. Il est intéressant de noter que le taux de dégradation des fibres des feuilles après extraction est nettement plus faible que pour les feuilles fraîches, ce qui pourrait s'expliquer par la température élevée (80°C) subie par les feuilles pendant leur séchage suite au traitement à l'éthanol aqueux à 80%. Puisque notre but consiste à optimiser l'utilisation des feuilles de Moringa après extraction, de nouvelles études sont indispensables pour trouver une température de séchage adéquate après le traitement à l'éthanol qui ne produit pas ces effets négatifs.

Les feuilles de Moringa ont une teneur négligeable en tannins et en saponines, à peu près semblable à celle du tourteau de soja. Nous n'avons détecté ni inhibiteur de trypsine ni lectine. La teneur en phytates de 3,1 % pourrait réduire la disponibilité des sels minéraux chez les animaux monogastriques. Les extraits de feuilles à 80% d'éthanol aqueux représentent une meilleure source de fourrage encore (supplément protéique) puisque ces substances sont exemptes de tannins (lectines, inhibiteurs de trypsine, glucosides cyanogènes, glucosinolates et facteurs de flatulences) et présentent de faibles taux de saponines et de phytates.

Pour les rachis et les tiges, la teneur en protéines brutes est faible (respectivement 7 et 6%, dont 40 et 48 % sont composés d'azote non protéique) de même que la disponibilité des protéines au niveau du post rumen (Makkar et Becker, 1997), c'est à dire la partie inférieure de l'intestin où les acides aminés, non dégradés au niveau du rumen, sont absorbés. Cette fraction protéique est importante pour la production de lait et s'obtient normalement par la consommation de protéines concentrées dans les tourteaux de presse, non dégradées par l'activité bactérienne du rumen.

Tous les acides aminés essentiels, y compris ceux qui contiennent du soufre, présentent dans les feuilles des concentrations supérieures aux schémas FAO/OMS recommandés dans la protéine de référence pour les enfants de 2 à 5 ans. La composition des acides aminés essentiels dans ces feuilles est semblable à celle des fèves de soja. Ces données suggèrent que le Moringa représente une bonne source de protéines pour les animaux monogastriques également.

Les amandes et le tourteau de Moringa pour l'alimentation du bétail

Les amandes de Moringa peuvent être broyées et l'extrait aqueux utilisé pour purifier l'eau. Cet extrait aqueux peut substituer de façon viable les coagulants chimiques tels que le sulfate d'aluminium dans les pays en développement. L'huile de Moringa est comestible, et l'extrait aqueux du tourteau de graines (obtenu après extraction de l'huile) peut être utilisé à des fins de purification de l'eau. Nous avons cherché à caractériser le résidu obtenu pour sa valorisation dans l'alimentation du bétail. Nous avons analysé les constituants chimiques, la digestibilité de la matière organique, l'énergie brute et métabolisable, l'azote dégradable dans le rumen, l'azote non

protéique, la dégradabilité des protéines à la pepsine et enfin les facteurs anti-nutritionnels présents dans les amandes, le tourteau de graines (amandes broyées après extraction de l'huile) et les résidus obtenus après en avoir éliminé les coagulants solubles dans l'eau. Les résultats, associés aux données déjà exposées sur les utilisations fourragères du Moringa, devraient ouvrir la voie vers une meilleure valorisation fourragère des fractions et résidus obtenus par l'extraction d'huile, d'hormones de croissance et de coagulants.

Solubilité des amandes et du tourteau dans l'eau

La perte de matière sèche des amandes et du tourteau subséquente à l'extraction aqueuse est respectivement de 20,5 et 41,8%. Si l'on considère ces valeurs de solubilité et la teneur en protéines brutes des amandes, des amandes après extraction, du tourteau et du tourteau après extraction, il s'avère que 23,7 et 33,4% des protéines brutes présentes dans les amandes et dans le tourteau respectivement passent dans l'extrait aqueux.

Constituants chimiques

Les amandes contiennent 36,8% de protéines brutes et 41,7% de lipides. Les résidus restants après l'extraction aqueuse des amandes et du tourteau contiennent respectivement 35,3 et 70,3% de protéines brutes. L'azote non protéique des amandes et du tourteau constitue seulement environ 9% des protéines brutes totales, et n'est pas détecté dans les échantillons après extraction, suggérant que ces échantillons contiennent des quantités importantes de protéines.

Dégradabilité des protéines

La DPBR des amandes et du tourteau est respectivement de 64 et 61%. Des valeurs similaires ont été obtenues avec d'autres tourteaux de presse (Krishnamoorthy *et al.*, 1995). La DPBR des amandes et du tourteau après extraction est beaucoup plus faible (36 et 28%). La teneur en protéines solubles déterminée par digestion à la pepsine varie entre 82 et 91%, et la fraction PIDA ne représente que 1 à 2% (Makkar et Backer, 1997). La faible valeur de DPRB, la forte concentration en azote soluble sensible à la dégradation par la pepsine, et la faible proportion de PIDA suggèrent que la plupart des protéines dans les amandes et le tourteau après extraction doit être disponible pour l'animal post-rumen (les PDI représentant 62 à 69% des protéines brutes). Rappelons que les PDI sont disponibles pour l'animal dans un objectif de production. Dans les compléments alimentaires protéiques tels que les tourteaux de noix de coco, de graines de coton, d'arachide, de sésame, de tournesol et de son de blé, les valeurs de PDI varient de 0 à 26%, seul le son de riz présentant une valeur exceptionnelle de 45% (Krishnamoorthy *et al.*, 1995).

Composition en acides aminés

Parmi les acides aminés essentiels, la lysine, la leucine, la phénylalanine, la tyrosine et la thréonine sont présents en quantité insuffisante dans les amandes, le tourteau et leur extrait aqueux par rapport à la protéine standard de la FAO. En revanche, les acides aminés soufrés sont plus abondants (Tableau 16). La composition en acides aminés des amandes et du tourteau de Moringa est telle qu'on pouvait l'attendre. A la fois pour les amandes et le tourteau, les valeurs augmentent après extraction. Cette plus forte concentration en acides aminés après l'extraction aqueuse peut s'expliquer en partie par une perte d'azote non protéique lors de l'extraction. Il apparaît dans le tableau 18 que la composition en acides aminés des protéines solubles et insolubles est similaire.

Facteurs anti-nutritionnels dans les amandes, le tourteau et l'extrait aqueux

Dans les amandes ayant subi ou non l'extraction aqueuse, on ne détecte pas de tannins, ni d'inhibiteurs de trypsine et d'amylase. Le taux de saponines est également faible, s'élevant respectivement à 1,1, 1,4, 0,5 et 0,6% dans les amandes et le tourteau, avant et après extraction. Le traitement à l'eau des amandes et du tourteau afin d'extraire les composés solubles actifs pour la purification de l'eau entraîne une perte de 50% des saponines. Seuls les amandes, avant et après extraction, présentent une activité hémolytique.

Le teneur en phytates dans les amandes est supérieure à celle trouvée dans les parties végétatives (Tableau 19). Le taux de phytates est supérieur dans les amandes après l'extraction, suggérant que les phytates ne passent pas dans l'extrait aqueux. Des taux de phytates de 3,0 et 6,7% observés dans les amandes et le tourteau après extraction sont susceptibles de diminuer la bio-disponibilité des minéraux, en particulier du Zn et du Ca. Ce taux de phytates est du même ordre de grandeur que celui observé dans les compléments protéiques conventionnels (tourteau de soja : 3,2 à 3,8%, tourteau de colza : 6,0 à 7,3%, tournesol : 6,2 à 9,2%, tourteau d'arachide : 3,2 à 4,3% (Pointillard, 1993)). Des taux de phytates de 1 à 6% sont suffisants pour réduire la bio-

disponibilité des minéraux chez les monogastriques (Reddy *et al.*, 1982). Les phytates provoquent également une diminution de la digestibilité de l'amidon et des protéines (Thompson, 1993).

Les teneurs en glucosides cyanogènes sont respectivement, dans les amandes et le tourteau, avant et après extraction, de 5,2, 13,1, 15,3 et 31,2 mg équivalent HCN/kg (Tableau 19). Ces données ont été obtenues en utilisant de la β -glucosidase exogène pour l'hydrolyse des glucosides. En utilisant la méthode d'auto-hydrolyse, on trouve dans les amandes 5,0 mg équivalent HCN/kg. Les taux de glucosides cyanogènes rencontrés dans les amandes avant et après extraction sont largement en-deçà des limites fixées par la réglementation européenne (moins de 100 mg équivalent HCN/kg pour les tourteaux de manioc et d'amandes et moins de 250 mg équivalent HCN/kg pour la tourteau de lin). De plus, selon la réglementation européenne sur l'alimentation animale, la teneur en glucosides cyanogènes pour une ration complète ne doit pas excéder 50 mg équivalent HCN/kg, et 10 mg équivalent HCN/kg pour les poulets. Pour la consommation humaine, la valeur limite fixée par la FAO et l'OMS est de 10 mg équivalent HCN/kg de tourteau (FAO/OMS, 1991).

Tableau 18 : Composition en acides aminés (en g/16 g N) de la tourteau de Moringa, avant et après extraction

Acide aminé	Tourteau avant extraction	Tourteau après extraction
Lysine	1,47	1,48
Leucine	5,27	5,84
Isoleucine	3,05	3,49
Méthionine	1,90	2,13
Cystine	4,22	4,72
Phénylalanine	3,97	4,29
Tyrosine	1,50	1,41
Valine	3,47	3,63
Histidine	2,27	2,28
Thréonine	2,25	2,28
Sérine	2,75	2,85
Acide glutamique	19,35	19,63
Acide aspartique	3,97	3,76
Proline	5,52	6,04
Glycine	4,90	4,40
Alanine	3,77	4,05
Arginine	11,63	16,68
Tryptophane	Non déterminé	Non déterminé

Les teneurs en glucosinates (glycosides contenant du soufre) dans les amandes, le tourteau, et les amandes après extraction, sont respectivement de 46,4, 65,5 et 4,4 $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}$. Dans le tourteau après extraction, on ne détecte pas de glucosinates (Tableau 19). Les niveaux de glucosinates observés dans les amandes et le tourteau sont du même ordre de grandeur que ceux rencontrés dans le tourteau de colza (Saini et Wratten, 1987 ; Smith et Dacombe, 1987), et dans les graines de *Camelina sativa* (Lange *et al.*, 1995). Bien que certains glucosinates contribuent en grande partie à la saveur et aux arômes des aliments, d'autres sont potentiellement nocifs pour la santé, et il est communément admis que des niveaux élevés de glucosinates dans les aliments les rendent impropres à la consommation (Heaney *et al.*, 1981). Ces glucosinates peuvent subir des hydrolyses chimiques ou enzymatiques provoquant l'apparition de produits ayant des propriétés anti-nutritionnelles altérant la croissance et la reproduction du bétail. Chez le porc, la fertilité de la truie est altérée au-delà de 4 μmol de glucosinates totaux/g de nourriture, et 8 mmol d'ingestion quotidienne. Chez le rat, un régime alimentaire contenant plus de 2,7 μmol de glucosinates/g d'aliment augmente la mortalité des petits, probablement à cause du transfert des produits nocifs dans le lait maternel. Enfin chez la vache, suite à une ingestion quotidienne de 75 mmol de glucosinates par individu femelle, on observe une augmentation considérable de nombre de jours entre la vélotion et la première reproduction des génisses (Mawson *et al.*, 1994).

Tableau 19 : Teneur en phénols totaux, tannins, tannins condensés, saponines, phytates, et glucosides dans les échantillons de Moringa

Échantillon	Phénols totaux ^a (%)	Saponines ^b (%)	Phytates ^c (%)	Glucosides cyanogènes (mg.kg ⁻¹)	Glucosinates (□ mol.kg ⁻¹)
Amandes	0,02	1,1	2,6	5,2	46,4
Tourteau	0,04	1,4	4,1	13,1	65,5
Amandes après extraction	0,07	0,5	3,0	15,3	4,4
Tourteau après extraction	0,07	0,6	6,7	31,2	Non détecté

Les tannins ne sont pas détectables.

^aéquivalent acide tannique, ^béquivalent diosgénine, ^céquivalent acide phytique

Dans les amandes et les amandes après extraction, on n'observe pas de spot positif correspondant à la présence d'alcaloïdes, par contre, on en observe dans les amandes dégraissées. Ceci pourrait s'expliquer par une absence d'extraction des alcaloïdes en présence de lipides. Dans les amandes dégraissées, on observe trois spots positifs correspondant à la présence d'alcaloïdes, avec des valeurs de R_f de (moyenne \pm déviation standard (n)) : $0,227 \pm 0,011$ (4) ; $0,69 \pm 0,008$ (4) et $0,798 \pm 0,021$ (5). L'intensité colorimétrique du spot ayant une valeur de R_f de 0,69 est la plus forte, suivie de ceux de $R_f=0,227$ et de $R_f=0,798$. Dans le tourteau après extraction, un seul spot de valeur de R_f $0,78 \pm 0,01$ est observé, dont l'intensité est similaire à celle observée pour le tourteau sans extraction. Une quantité substantielle d'alcaloïdes est donc éliminée de le tourteau par le traitement à l'eau.

Conclusions sur l'utilisation des amandes pour l'alimentation du bétail

Le tourteau présente une teneur plus élevée en PB que les amandes, et les protéines sont plus solubles, ce qui suggère que les coagulants protéiques utilisés pour purifier l'eau peuvent aussi être récupérés du tourteau. Un meilleur taux de récupération des coagulants protéiques présents dans le tourteau améliorerait l'économie globale du système. L'huile ainsi récupérée peut être valorisée pour la consommation humaine mais aussi pour d'autres besoins comme l'éclairage ou la lubrification. Les résidus obtenus après extraction des coagulants du tourteau peuvent offrir une bonne source de suppléments protéiques, en raison de : i) leur teneur élevée en protéines brutes (environ 70 %), toutes sous forme de protéines apparemment digestibles, ii) la disponibilité élevée de protéines au stade post-ruminal (69 % de l'ensemble des protéines) et la bonne digestibilité des protéines par la pepsine, iii) la présence quasi nulle ou négligeable de facteurs anti-nutritionnels comme les tannins, les saponines, les alcaloïdes, les inhibiteurs de trypsine et d'amylase, la lectine, les glucosides cyanogènes et les glucosinolates, et iv) les concentrations en acides aminés soufrés supérieures à celles de la protéine de référence recommandée par la FAO et l'OMS pour les enfants de 2 à 5 ans. La présence de phytates à environ 6,7% a probablement pour effet de diminuer la bio-disponibilité des minéraux. Le résidu obtenu après extraction des coagulants des amandes de Moringa dégraissées (tourteau) peut remplacer certains tourteaux de graines classiques. Celle-ci pourrait constituer une bonne source d'acides aminés soufrés pour les animaux produisant des fibres (par exemple les lapins Angora, les moutons et les chèvres), dans un régime alimentaire mixte contenant des niveaux suffisants en autres acides aminés essentiels.

Cependant, avant de formuler des recommandations pour les agriculteurs, des expériences *in vivo* sont nécessaires pour étudier les différents paramètres de performance et les éventuelles manifestations de toxicité dues à des facteurs non pris en compte dans cette étude. Il est à noter que la présence d'acides aminés soufrés en quantité importante devrait apporter aux animaux une certaine protection contre certains facteurs toxiques, ces acides aminés étant connus pour améliorer les processus de détoxification, en agissant comme donneurs de groupements méthyl dans plusieurs organes.

Les amandes de la variété *M. oleifera* utilisées dans nos essais sont amères, mais le goût amer est quasiment absent dans le résidu après extraction des coagulants des amandes dégraissées. Ce goût amer est généralement attribué aux alcaloïdes, aux saponines et aux glucosides cyanogènes et glucosinates qui ont été éliminés lors du traitement aqueux (Tableau 19), suggérant que ce goût amer n'est pas un frein à l'utilisation des ces tourteaux dans l'alimentation animale. Il existe une diversité génétique considérable entre les espèces *M. oleifera* et *M. stenopetala*, ainsi qu'au sein de chaque espèce (Muluvi *et al.*, 1999). D'après la bibliographie, il existe de nombreuses variétés dont le goût des amandes varie entre doux et très amer (CSIR, 1962 ; Dogra *et al.*, 1975). Notre étude montre que les composantes anti-nutritionnelles des amandes ou leurs produits dégradés, par exemple les glucosinolates dont on sait qu'ils sont à l'origine de différents effets adverses (Mawson

et al. 1994, 1995), sont ingérés par les humains dans l'eau potable, ce qui est susceptible de produire des modifications cliniques ou subcliniques des organes internes. Ceux qui travaillent dans ce domaine sont conscients du problème, et il existe des études qui montrent que des rats et des souris ont ingéré ces amandes sans manifester de symptômes toxiques apparents (Barth *et al.*, 1982; Berger *et al.*, 1984). Cependant, des études approfondies sont nécessaires dans cette optique, compte tenu du fait que plusieurs variétés de *M. oleifera* sont actuellement utilisées.

Remerciements: Nous souhaitons remercier en particulier Sucher et Holzer, Autriche, et l'Université de Hohenheim a Stuttgart pour leur concours financier qui a permis la réalisation de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

AL-KAHTANI, H.A. & ABOU-ARAB, A.A. (1993). Comparison of physical, chemical, and functional properties of *Moringa peregrina* (Al-Yassar or Aö-Ban) and soyabean proteins. *Cereal Chemistry* **70**, 619-626.

BARTH, V.H., HABS, M., KLUTE, R., MÜLLER, S. & TAUSCHER, B. (1982). Trinkwasseraufbereitung mit Samen von *Moringa oleifera* Lam. *Chemiker-Zeitung* **106**, 75-78.

BAU, H-M., VILLAUME, C., LIN, C-F., EVRARD, J., QUEMENER, B., NICOLAS, J-P. & MÉJEAN, L. (1994). Effect of a solid-state fermentation using *Rhizopus oligosporus* sp. T-3 on elimination of antinutritional substances and modification of biochemical constituents of defatted rapeseed meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **65**, 315-322.

BERGER, M.R., HABS, M., JAHN, S.A.A. & SCHMAHL, D. (1984). Toxicological assessment of seeds from *Moringa oleifera* and *Moringa stenopetala*, two highly efficient primary coagulants for domestic water treatment of tropical raw waters. *East African Medical Journal* **61**, 712-716.

BIANCHI, M.L.P., SILVA, H.C. & CAMPOS, M.A.D. (1983). Effect of several treatments on the oligosaccharide content of a Brazilian soybean variety. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. **31**, 1364-1366.

CHAWLA, S., SAXENA, A. & SESHADRI, S. (1988). In-vitro availability of iron in various green leafy vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **46**, 125-127.

CLOSE, W. & MENKE, K.H. (1986). Selected Topics in Animal Nutrition: a manual. Institute for Animal Nutrition, University of Hohenheim, Stuttgart, Germany.

COUNCIL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH (1962). *The wealth of India. A dictionary of Indian raw materials and industrial products. Raw materials, Volume 6, L-M*, New Delhi, CSIR, India.

DELAVEAU, P. & BOITEAU, P. (1980). Huiles à intérêt pharmacologique, cosmétologique et diététique. IV. Huiles de *Moringa oleifera* Lamk. et de *M. Drouhardii* Jumelle. *Plantes médicinales et phytothérapie*. **14**, 29-33.

DOGRA, P.D., SINGH, B.P. & TANDON, S. (1975). Vitamin content in *Moringa* pod vegetable. *Current Science* **44**, 31.

FAO/WHO (1991), *Joint FAO/WHO Food Standard Programme, Codex Alimentarius Commission, XII, supplement 4*, FAO/WHO, Rome.

FERRAO, A.M.B.C. & MENDEZ FERRAO, J.E. (1970). Acidos gordos em oleo de Moringueiro (*Moringa oleifera* Lam.). *Agronomia Angolana*. **8**, 3-16.

GUPTA, K., BARAT, G.K., WAGLE, D.S. & CHAWLA, H.K.L. (1989). Nutrient contents and antinutritional factors in conventional and non-conventional leafy vegetables. *Food Chemistry* **31**, 105-116.

HEANEY, R.K., SPINKS, E.A. & FENWICK, G.R. (1981). A micro-column method for the rapid determination of total glucosinolate content of cruciferous material. *Zeitschrift fuer Pflanzenzuechtung* **87**, 89-95.

KRISHNAMOORTHY, U., SOLLER, H., STEINGASS, H. & MENKE, K.H. (1995). Energy and protein evaluation of tropical feedstuffs for whole tract and ruminal digestion by chemical analyses and rumen inoculum studies in vitro. *Animal Feed Science and Technology* **52**, 177-188.

LANGE, R., SCHUMANN, W., PETRZIKA, M., BUSCH, H. & MARQUARD, R. (1995). Glucosinolate in Leindottersamen. *Fat Science Technology* **4**, 146-152.

MAKKAR, H.P.S., SINGH, B. & NEGI, S.S. (1990). Tannin levels and their degree of polymerization and specific activity in some agro-industrial by-products. *Biological Wastes* **31**, 137-144.

MAKKAR, H.P.S. & SINGH, B. (1992). Detanninification of oak leaves: treatments and their optimization. *Animal Feed Science Technology* **36**, 113.

- MAKKAR, H.P.S., BLUEMMELE, M. & BECKER, K. (1995). Formation of complexes between polyvinyl pyrrolidones or polyethylene glycols and tannins, and their implications in gas production and true digestibility in in vitro techniques. *British Journal of Nutrition* **73**, 897-913.
- MAKKAR, H.P.S. & BECKER, K. (1996). Nutritional value and antinutritional components of whole and ethanol extracted *Moringa oleifera* leaves. *Animal Feed Science and Technology* **63**, 211-228.
- MAKKAR, H.P.S. & BECKER, K. (1997). Nutrients and antiquality factors in different morphological parts of the *Moringa oleifera* tree. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* **128**, 311-322.
- MAKKAR, H.P.S. & BECKER, K. (1998). Plant toxins and detoxification methods to improve feed quality of tropical seeds. *Asian-Australian Journal of Animal Science* **12**, 467-480.
- MAWSON, R., HEANEY, R.K., ZDUNCZYK & KOZLOWSKA, H. (1994). Rapeseed meal-glucosinolates and their antinutritional effects Part 5. Animal reproduction. *Die Nahrung* **38**, 588-598.
- MAWSON, R., HEANEY, R.K., ZDUNCZYK & KOZLOWSKA, H. (1995). Rapeseed meal-glucosinolates and their antinutritional effects Part 6. Taint in end-products. *Die Nahrung* **39**, 21-31.
- MENKE, K.H., RAAB, L., SALEWSKI, A., STEINGASS, H., FRITZ, D. & SCHNEIDER, W. (1979). The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor. *Journal of Agricultural Food Science*. **93**, 217-222.
- MORTON, J.F. (1991). The Horseradish Tree, *Moringa Pterygosperma* (Moringaceae) - A Boon to Arid Lands? *Economic Botany* **45**, 318-333.
- MULUJI, G.M., SPRENT, J.I., SORANZO, N., PROVAN, J., ODEE, D., FOLKLAND, G., McNICOL, J.W. & POWELL, W. (1999). Amplified fragment length polymorphism (AFLP) analysis of genetic variation in *Moringa oleifera* Lam. *Molecular Ecology* **8**, 463-470.
- NEGI, S.S., SINGH, B. & MAKKAR, H.P.S. (1988). An approach to determination of rumen degradability of nitrogen in low grade roughages and partition of nitrogen therein. *Journal of Agricultural Science* **111**, 487-494.
- NEGI, S.S., SINGH, B. & MAKKAR, H.P.S. (1989). Influence of method of calculation and length of period of rumen fermentation on the effective degradability of dry matter and nitrogen in some tree forages. *Animal Feed Science and Technology* **26**, 309-322.
- ODEE, D. (1998). Forest biotechnology research in drylands of Kenya: the development of *Moringa* species. *Dryland Biodiversity* **2**, 7 - 8.
- POINTILLART, A. (1993). Importance of phytate and cereal phytates in the feeding of pigs. In *Enzymes in Animal Nutrition* (Eds C. Wenk & M. Boessinger), pp. 192-198. Proceedings of the first Symposium, Karauze Ittingen, Switzerland, 13-16 October, ETH-Zuerich.
- PROYECTO BIOMASA (1996). *Internal Report*, UNI Managua.
- PROYECTO BIOMASA (1999). *Internal Report*, UNI Managua.
- RAMACHANDRAN, C., PETER, K.V. & GOPALAKRISHNAN, P.K. (1980). Drumstick (*Moringa oleifera*): a multipurpose Indian vegetable. *Economic Botany* **34**, 276-283.
- REDDY, N.R., SATHE, S.K. & SALUNKHE, D.K. (1982). Phytates in legumes and cereals. *Advances in Food Research* **28**, 1-92.
- SAINI, H.S. & WRATTEN, N. (1987). Quantitative determination of total glucosinolates in rapeseed and meal digests. *Journal of the Association of Official Analytical Chemistry* **70**, 141-145.
- SARKAR, G. & PEACE, R.W. (1994). The protein quality of some enteral products is inferior to that of casein as assessed by rat growth methods and digestibility-corrected amino acid scores. *Journal of Nutrition* **124**, 2223-2232.
- SINGH, B. & MAKKAR, H.P.S. (2000). The potential of mulberry tree foliage as an animal feed supplement in India. FAO Electronic Conference on Mulberry for Animal Production, April 2000, Rome, Italy.
- SMITH, C.A. & DACOMBE, C. (1987). Rapid method for determining total glucosinolates in rapeseed by measurement of enzymatically released glucose. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **38**, 141-150.
- THOMPSON, L.U. (1993). Potential health benefits and problems associated with antinutrients with foods. *Food Research International* **26**, 131-149.
- VAN SOEST, P.J. (1965). Use of detergents in analysis of fibrous feeds. III. Study of effects of heating and drying on yield of fiber and lignin in forages. *Journal of the Association of Analytical Chemistry* **48**, 785-790
- WILLIAMS, S., 1984. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. AOAC, Virginia, USA.
- WOLF, W.J., SCHAER, M.L. & ABBOTT, T.P. (1994). Nonprotein nitrogen content of defatted jojoba meals. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **65**, 277-288.
- ZARKADAS, C.G., YU, Z. & BURROWS, V.D. (1995). Protein quality of three new Canadian-developed naked oat cultivars using amino acid compositional data. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **43**, 415-421.