



HAL
open science

Valorisation des ressources alimentaires tropicales (feuilles et tubercules) chez le porc

Carole Regnier

► **To cite this version:**

Carole Regnier. Valorisation des ressources alimentaires tropicales (feuilles et tubercules) chez le porc. Autre [q-bio.OT]. Université des Antilles et de la Guyane, 2011. Français. NNT : . tel-02809655

HAL Id: tel-02809655

<https://hal.inrae.fr/tel-02809655>

Submitted on 6 Jun 2020

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

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

N° d'ordre :

N° de série :

THESE

présentée devant

L'UNIVERSITE des ANTILLES et de la GUYANE

Pour obtenir le titre de DOCTEUR

Discipline : Science de la vie

par

Carole REGNIER

Valorisation des ressources alimentaires tropicales

(feuilles et tubercules) chez le porc

Préparée sous la direction de **David Renaudeau**

Soutenue le 17 Mars 2011 devant le jury constitué de

Pr. D. Sauvart, AgroParisTech (Paris, France)

Rapporteur

Dr. P. Leterme, Cargill R&D (Vilvoorde, Belgique)

Rapporteur

Pr. S. Gaspard, Université Antilles Guyane (Pointe à Pitre, France)

Examinateur

Dr. J. Noblet, INRA (Rennes, France)

Examinateur

Dr. D. Renaudeau, INRA Antilles Guyane (Petit Bourg, France)

Examinateur

N° d'ordre :

N° de série :

THESE
présentée devant
L'UNIVERSITE des ANTILLES et de la GUYANE

Pour obtenir le titre de DOCTEUR

Disciple : Science de la vie
par

Carole REGNIER

**Valorisation des ressources alimentaires tropicales
(feuilles et tubercules) chez le porc**

Préparée sous la direction de **David Renaudeau**

Soutenue le 17 Mars 2011 devant le jury constitué de

Pr. D. Sauvart, AgroParisTech (Paris, France)	Rapporteur
Dr. P. Leterme, Cargill R&D (Vilvoorde, Belgique)	Rapporteur
Pr. S. Gaspard, Université Antilles Guyane (Pointe à Pitre, France)	Examineur
Dr. J. Noblet, INRA (Rennes, France)	Examineur
Dr. D. Renaudeau, INRA Antilles Guyane (Petit Bourg, France)	Examineur

REMERCIEMENTS

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué à l'Unité de Recherches Zootechniques (URZ) du Centre de Recherches Agronomiques des Antilles et de la Guyane (CRAAG).

Je voudrais tout d'abord adresser mes remerciements à Messieurs D. SAUVANT et P. LETERME pour avoir accepté de siéger dans ce jury en tant que rapporteurs, ainsi que Madame S. GASPARD d'avoir bien voulu participer à cette soutenance en tant qu'examinatrice.

Je suis particulièrement reconnaissante à Monsieur J. NOBLET pour sa participation à ce jury, ainsi que d'avoir accepté de m'accueillir pendant 3 mois au sein de son équipe dans l'UMR Systèmes d'élevage, Nutrition Animale et Humaine, où j'ai pu bénéficier de ses conseils et de son expérience avisée.

Je tiens à remercier chaleureusement Monsieur D. RENAUDEAU, pour avoir été tout d'abord mon maître de stage, puis mon directeur de thèse. Merci pour son encadrement, sa rigueur scientifique, et sa disponibilité jusqu'aux derniers moments. Vous m'avez ainsi suivie, encouragée et soutenue pendant près de 4 années. Je pense en ressortir « grandie », alors un encore un grand merci pour tout ça.

Je tiens également à remercier Monsieur Harry Archimède et Madame Maryline Boval, directeurs successifs de l'URZ, pour m'avoir accueillie au sein de la station. Merci à Monsieur Harry Archimède pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour ses encouragements et ses conseils.

Je remercie les responsables de la Station PTEA, M. Jérôme Fleury et Mme Caroline Anaïs pour m'avoir accueillie chaleureusement et soutenue dans la mise en place de mes protocoles.

Merci, évidemment à tout le personnel de la station, en particulier ceux de l'équipe « porc » Katia, Bruno, David, Félix, Mario, Mélain. Merci pour leur bonne humeur, leur investissement dans ce travail aussi bien la nuit que le jour, à l'élevage comme dans les champs. Leur soutien au quotidien est pour beaucoup dans la réussite de ce travail.

Merci aussi à toute l'équipe du laboratoire d'analyse des aliments de l'URZ, Carine, Lucien, Tatiana et Suzitte, pour le dosage de mes nombreux échantillons.

Je tiens également à remercier tous les chercheurs pour leur appui scientifique et leurs conseils : Gisèle, Maurice, Michel Nathalie, Jean-Christophe, Jean-Luc, Audrey. Merci d'avoir pris le temps de troquer l'ordinateur contre une paire de bottes pour des moments de cueillette. Merci aussi à tout le personnel de l'URZ, Mélanie, Marie-José, Lubert, Elain, et Hugues pour leur disponibilité et leur gentillesse.

Un merci tout particulier à Jean-Christophe Bambou pour son humour et son sens de la repartie, et à Jean-Luc Gourdine pour tous les « Fos » matinaux !!! Merci à Maurice pour son aide et sa patience dans les dernières corrections.

Je tiens à remercier aussi toute l'équipe de St Gilles, l'équipe du 'Métabo' et du 'labo', pour leur accueil très chaleureux. Merci à Francis, Alain et Régis pour m'avoir initiée aux techniques opératoires. Merci à Yolande, Anne, et Nadine pour leur patience lors de mon initiation à la bombe calorimétrique, NIRS et pose de taquets ! Porter la blouse à vos côtés a été pour moi un vrai plaisir. Je remercie tout particulièrement Yolande pour son aide à l'analyse des résultats obtenus sur les digestibilités iléales, merci pour son soutien qui n'a pas cessé depuis.

Je remercie tous les stagiaires et « bambouleurs » qui ont participé de près ou de loin à ce travail de thèse, en particulier Sylvie, Julia et Nicoloc pour m'avoir accompagnée durant les transits nocturnes ; toute l'équipe des 'effeuilleurs', P'tit Bouchon, et Franck qui a su prendre en charge le côté technique des protocoles quand le côté rédactionnel devenait plus présent. Merci aux doctorants et VCAT, Claudia, Mélanie, Séverine, Axelle et Willy pour leur sympathie, leur aide dans les moments forts (In English for example) et leur bonne humeur au travail.

Je tiens aussi à exprimer toute ma gratitude à mon collègue, Fabien Stark, compagnon de galère jusqu'aux dernières heures. Merci pour sa complicité et son soutien sans faille depuis déjà plus de 2 ans. Merci aussi à Marion Petit-Sinturel d'avoir assuré la « beauté » de ce mémoire, merci pour son soutien et ses encouragements.

Je tiens à remercier mes amis et ma famille qui de près comme de loin m'ont soutenue et encouragée. Merci à Jérémie pour sa présence au quotidien, pour ses heures passées au téléphone où tu as toujours su me redonner confiance. Merci à mon petit frère, pour sa patience et sa générosité, merci pour tous ces moments de complicité depuis ces 25 années ! Une spéciale dédicace à notre Mémé Basket, à nos appels du dimanche et nos franches parties de rigolade qui ont su me redonner le sourire quand la fatigue se faisait sentir. Et un grand

merci à ma mère pour avoir toujours été à mes côtés, pour m'avoir soutenue et poussée à ne jamais abandonner.

LISTE DES PUBLICATIONS

Les résultats de ce travail de thèse, réalisé à l'INRA – Guadeloupe, ont donné lieu à cinq publications qui ont été incluses dans ce mémoire.

Publications dans les périodiques à comité de lecture

- Régnier C.**, Bocage, B., Archimède, H., Renaudeau, D (2010). Effects of processing methods on the digestibility and palatability of cassava root in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. 162 (3-4), 135-143.
- Régnier, C.**, Archimède, H., González-García, E., Renaudeau, D. (2010). Effect of age at harvesting on the nutritional value of cassava roots in pigs. *Livestock Research for Rural Development*. Soumis pour publication.
- Régnier C.**, Bocage, B., Archimède, H. Noblet, J., Renaudeau, D. (2010). Digestive utilization of tropical foliages of cassava, sweet potatoes, wild cocoyam and erythrina in growing pigs. *Animal Feed Science and Technology*. Soumis pour publication.
- Régnier C.**, Jaguelin, Y., Noblet, J., and Renaudeau, D. (2011). Ileal digestibility of amino acids of cassava, sweet potatoes, cocoyam and erythrina foliages fed to growing pigs. *Animal*. Soumis pour publication.
- Xandé, X., **Régnier, C.**, Archimède, H., Bocage, B., Noblet, J. and Renaudeau, D. (2010). Sugarcane products in local Caribbean growing pigs. *Animal*, 4:5, pp 745-754. (article soumis dans le cadre de mon stage de maîtrise en production animale en régions chaudes).

Articles en préparation

- Régnier C.**, Bocage, B., Renaudeau D. (2011). Assessment of the ingestibility of tropical foliages in pigs. En preparation pour *Animal Feed Science and Technology*.
- Régnier C.**, Bocage, B., Renaudeau, D. (2011). Association of tubers and leaves from sweet potatoes in pig feeding. En preparation pour *Livestock Research for Rural Development*.

Autres Publications

- Régnier, C.**, Gourdine, J.L., Xandé, X., Renaudeau, D., Archimède, H. (2010). Association between a local breed and local feed resources: example of the Creole pigs in Guadeloupe (FWI). *Revista Computadorizada de Producción Porcina*. Volumen 17 (suplemento 1) Nb de pages
- Régnier, C.** Bocage, B., Archimède, H., Renaudeau, D. (2010). Palatability of tropical foliages for pigs. *Advances in Animal Biosciences*, 1:2, poster.
- Régnier, C.** Bocage, B., Archimède, H., Renaudeau, D. (2010). Nutritional and energetic values of tropical foliages in pigs. *Advances in Animal Biosciences*, 1:2, pp 421-422.
- Renaudeau, D., Xandé, X., Gourdine, J. L., **Régnier, C.**, Bocage, B., Archimède, H. (2008) Détermination de la valeur nutritionnelle des produits de la canne à sucre chez le porc. 4ème Rencontre Internationale Francophone de l'Association Française de la Canne à Sucre. Gosier, Guadeloupe.

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES	19
LISTE DES ABREVIATIONS	25
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	31
I- LES RESSOURCES PROTEIQUES DANS LES MILIEUX TROPICAUX	31
A- Les feuillages des plantes arbustives.....	15
1- <i>Leucaena (Leucaena leucocephala)</i>	15
a- Description.....	15
b- Composition.....	15
c- Modalités d'utilisation des feuilles de <i>Leucaena</i>	17
2- Erythrine (<i>Erythrina, sp.</i>).....	18
a- Description.....	18
b- Composition.....	18
c- Modalités d'utilisation des feuilles d'Erythrine	18
3- Le mûrier (<i>Morus sp.</i>)	21
a- Description.....	21
b- Composition.....	21
c- Modalités d'utilisation des feuilles de <i>Morus</i>	21
4- <i>Trichanthera (Trichanthera gigantea)</i>	21
a- Description.....	21
b- Composition.....	21
c- Modalités d'utilisation des feuilles <i>Thrighantera</i>	22
5- Conclusion.....	25
B- Les plantes aquatiques.....	25
1- Le liseron d'eau (<i>Ipomea aquatica</i>)	16
a- Description.....	16
b- Composition chimique.....	16
c- Modalité d'utilisation d' <i>Ipomea aquatica</i>	16
2- Les lentilles d'eau (<i>Lemna sp.</i>)	16
a- Description.....	16
b- Composition chimique.....	26
c- Modalité d'utilisation de <i>Lemna sp.</i>	26
3- <i>Azolla (Azolla sp.)</i>	26
a- Description.....	26
b- Composition chimique.....	26
c- Modalité d'utilisation d' <i>Azolla</i>	26
4- Conclusion.....	26
II-LES RESSOURCES DUALES	26
A- Le manioc (<i>Manihot esculenta Crantz</i>).....	26
1- Description	26
2- Composition chimique	30
3- Modalités d'utilisation du manioc	31
B- La patate douce (<i>Ipomea batatas</i>)	33
1- Description	33
2- Composition chimique	34
3- Modalités d'utilisation de la patate douce.....	34
C- Le madère (<i>Colocasia esculenta</i> ou <i>Xantosoma</i>).....	34
1- Description	34
2- Composition chimique	34

3- Modalités d'utilisation des feuilles de madère	34
D- Conclusion.....	39
TRAVAIL EXPERIMENTAL.....	40
INTRODUCTION A LA PUBLICATION 1 & 2	40
PUBLICATION 1	42
Etude de la digestibilité des feuillages tropicaux de manioc, patate douce, madère sauvage et érythrine chez les porcs en croissance.....	42
PUBLICATION 2	56
Etude sur la digestibilité iléale des acides aminés de feuilles de manioc, patate douce, madère et érythrine chez le porc en croissance	56
INTRODUCTION A LA PUBLICATION 3 & 4	81
PUBLICATION 3	83
Etude des effets du traitement sur la digestibilité et l'appétence des racines de manioc chez les porcs Créoles en croissance.....	83
PUBLICATION 4	95
Etude de l'effet du stade de récolte sur la valeur nutritionnelle des racines de manioc chez les porcs	95
DISCUSSION GENERALE	99
I- INTRODUCTION	99
II-CARACTERISATION DE L'INGESTION DES PRODUITS DE L'ERYTHRINE, DU MADERE, DU MANIOC ET DE LA PATATE DOUCE.....	99
A- Ingestion des feuilles	100
B- Ingestion des tubercules	103
III- CARACTERISATION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES PRODUITS DE L'ERYTHRINE, DU MADERE, DU MANIOC ET DE LA PATATE DOUCE	103
A- Feuilles	103
B- Tubercules	106
IV- CARACTERISATION DE LA VALEUR PROTEIQUE DES PRODUITS DE L'ERYTHRINE, DU MADERE, DU MANIOC ET DE LA PATATE.....	106
V-MODALITES D'UTILISATION DES MATIERES PREMIERES TROPICALES POUR L'ALIMENTATION DU PORC.....	106
CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	114
ANNEXE 1	118
ANNEXE 2	120
ANNEXE 3	122
ANNEXE 4	124
ANNEXE 5	126
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	128
RESUME.....	172
ABSTRACT	174
RAKOUSI	175

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Etude bibliographique

- Tableau 1.** Composition chimique des quatre principaux arbres et arbustes utilisés en alimentation porcine : *Leucaena*, *Morus*, *Thrinchantera*, *Erytrina* (% de la matière sèche)
- Tableau 2.** Profil en acides aminés des feuilles des quatre principaux arbres et arbustes utilisés en alimentation porcine : *Leucaena*, *Morus*, *Thrinchantera* en comparaison avec celui du Tourteau de soja
- Tableau 3.** Synthèse des résultats de la bibliographie sur les effets de l'utilisation des feuillages arbustifs sur les performances de croissance du porc
- Tableau 4.** Composition chimique de trois espèces de plantes aquatiques utilisées dans l'alimentation porcine : *Ipomea aquatica*, *Lemna minor*, *Azolla* (% de la matière sèche)
- Tableau 5.** Profil en acides aminés de trois plantes aquatiques utilisées dans l'alimentation porcine : *Ipomea aquatica*, *Lemna minor*, *Azolla* en comparaison avec celui du Tourteau de soja
- Tableau 6.** Synthèse des résultats de la bibliographie sur l'utilisation des plantes aquatiques utilisées dans l'alimentation porcine
- Tableau 7.** Composition chimique des tubercules et feuilles des plantes duales : *Manihot esculenta*, *Ipomea batatas*, *Colocassia esculenta*
- Tableau 8.** Profils en acides aminés des tubercules et feuilles des plantes duales : *Manihot esculenta*, *Ipomea batatas*, *Colocassia esculenta* en comparaison avec celui du Tourteau de soja
- Tableau 9.** Efficacité des différents moyens de détoxification de l'acide cyanhydrique présent dans les racines et feuilles de manioc (*Manihot esculenta*)
- Tableau 10.** Synthèse des résultats de la bibliographie sur l'utilisation des racines de manioc (*Manihot esculenta*) pour l'alimentation du porc
- Tableau 11.** Synthèse bibliographique sur les effets des feuilles de madères (*Colocasia esculenta*) sur les performances du porc en croissance
- Figure 1.** Cinétique de l'hydrolyse par l' α -amylase bactérienne d'amidons crus de différentes origines

Publication 1

- Table 1.** Experimental design
- Table 2.** Chemical characteristics of the tropical foliage meals
- Table 3.** Phytochemicals in cassava (CA_L), sweet potatoes (SP_L), erythrina (ER_L) and cocoyam (CO_L) leaves
- Table 4.** Chemical characteristics of the diets
- Table 5.** Digestive utilization of the diets
- Table 6.** Rate of passage parameters of the diets in growing pigs
- Table 7.** Activity time budget in pigs fed different tropical foliages (percentage of time between 7:00 and 19:00)
- Table 8.** Apparent fecal digestibility coefficients¹ of crude protein and energy, and energy content of tropical foliages in growing pigs
- Table 9.** Chemical composition and digestibility coefficients of tropical foliages in the literature

Figure 1. Description of the cassava, cocoyam, erythrina and sweet potatoes foliages used in the present experiment

Figure 2. Relationship between dietary tannins content and apparent digestibility coefficient (DC) of crude protein in diets with foliages

Publication 2

Table 1. Nutrient composition (g.kg⁻¹ dry matter) and amino acids profile (g.kg⁻¹ crude protein) of casein and tropical leaves

Table 2. Composition and analysis of casein and foliage diets

Table 3. Performance and nitrogen balance in IRA pigs fed casein or foliage diets

Table 4. Basal endogenous amino acid (AA) losses (g/kg dry matter feed intake)

Table 5. Apparent ileal digestibility coefficients (%) of crude protein, organic matter, energy and amino acids (AA) of the diets

Table 6. Standardized ileal digestibility coefficient¹ (%) of amino acid (AA) in casein and tropical leaves

Publication 3

Table 1. Chemical compositions of the control diet and the cassava root forms

Table 2. Digestive utilisation of experimental diets including different processing forms of cassava root dried during 6h (Experiment 2)

Table 3. Time budgets (percentage of time) between 7:00 to 19:00 h in pigs fed with different processing forms of cassava roots (Experiment 2)

Table 4. Effect of different level of ground cassava root dried during 6h in the experimental diet on digestive utilisation of energy and main components in the diets (Experiment 3)

Table 5. The estimated gross energy (GE), the CTTAD of energy and the digestible energy (DE) and metabolizable energy (ME) contents of cassava roots products dried during 6h according to the difference (Experiment 2) or regression (Experiment 3) method

Figure 1. Effect of drying time on the hydrocyanic acid content (HCN) in ground (●) and chopped (▲) cassava root (CR), (Experiment 1)

Figure 2. Effect of variation of in dry matter (DM) content in CR products on the hydrocyanic acid (HCN) content in ground (●) and chopped (▲) CR, (Experiment 1)

Figure 3. Frequency of spontaneous diet preference of pigs between feeders containing the control and feeders containing the cassava diet

Figure 4. Effect of the hydrocyanic acid content (HCN) in ground, chopped and meal cassava root dried root 3 or 6 h (each point is the average of two values) on consumption (g) for different cassava distribution forms tested during 15 days and distributed *ad libitum* (each column is the mean of 15 values for two weeks)

Publication 4

Table 1. Chemical composition of dried ground cassava roots according to the age at harvesting

Table 2. Chemical composition of the experimental diets

Table 3. Digestibility coefficients of nutrients and energy values of the experimental diets

Table 4. Effect of age at harvesting on digestive and metabolic utilization of cassava roots

Discussion

Tableau 12. Synthèse des résultats sur la valeur nutritionnelle des nutriments et de l'énergie des feuilles de manioc, patate douce, madère et érythrine étudiées chez le porc Créole en comparaison du Tourteau de soja

Tableau 13. Synthèse des résultats sur la valeur nutritionnelle des nutriments et de l'énergie des tubercules de manioc et la patate douce étudiés chez le porc Créole en comparaison du maïs

Tableau 14. Effet du taux d'incorporation de farine de feuilles sur la consommation d'aliment des porcs en croissance

Tableau 15. Estimation des besoins protéiques pour un porc Créole et apport protéique selon les différentes feuilles

Tableau 16. Effet d'un régime alimentaire à base de patate douce (tubercules + feuilles) sur les performances de croissance du porc Créole

Figure 2. Capacité maximale d'ingestion exprimée en matière sèche (MS, g/j) pour les feuilles de manioc, de patate douce, de madère et d'érythrine distribuées sous forme de farine ou de feuilles fraîches

Figure 3. Effet du taux d'incorporation des feuilles dans le régime sur le coefficient d'utilisation digestive des matières azotées totale (CUDmat) chez le porc en croissance (étude N°5 sur l'ingestion)

Figure 4. Effet du taux d'incorporation des feuilles de manioc et d'érythrine sur l'ingestion des porcs selon un modèle linéaire

Figure 5. Effet du taux d'incorporation des feuilles de manioc et d'érythrine sur l'ingestion des porcs selon un modèle quadratique

Figure 6. Effet de la teneur en fibres alimentaires (NDF) sur le coefficient d'utilisation digestive de l'énergie (CUDe) chez le porc en croissance

LISTE DES ABREVIATIONS

AA	Acide aminé
ADF	Acid detergent fiber
ADL	Acid detergent lignin
Ala	Alanine
Arg	Arginine
Ash = MM	Ash=cendres=matière minérale
Asp	Acide aspartique
Ca	Calcium
CB	Cellulose brute
CF	Crude Fiber = cellose brute
CUD	Coefficient utilisation digestive
CUDe	Coefficient d'utilisation digestive de l'énergie
CUDmat	Coefficient utilisation digestive de la matière azotée
Cys	Cystéine
EB	Energie brute
ED	Energie digestible
EM	Energie métabolisable
ETR	Ecart type résiduel
Glu	Acide glutamique
Gly	Glycine
GMQ	Gain moyen quotidien
HCN	Acide cyanhydrique
His	Histidine
Ile	Isoleucine
Leu	Leucine
Lys	Lysine
MAT	Matières azotées totales
Met	Méthionine
MO	Matière organique
MS	Matière sèche
N	Nitrogène, azote
NDF	Neutral Detergent Fiber
PAE	Pertes azotées endogènes
Phe	Phénylalanine
Pro	Proline
PV	Poids vif
Ser	Sérine
Thr	Thréonine
Trp	Tryptophane
Tyr	Tyrosine
Val	Valine
WHC	Water holding capacity = capacité de rétention d'eau

INTRODUCTION GENERALE

Dans les régions tropicales, il existe une grande diversité d'élevages pour la production de porcs avec une coexistence de structures spécialisées de type industriel et d'une agriculture paysanne composée de petites exploitations. Ces petites exploitations, dépendantes de la diversité de leur environnement, mettent en place des systèmes de production de type polyculture-élevage. De par leur grande diversité, ces systèmes complexes sont très difficiles à étudier, mais ont généralement pour caractéristique commune un fonctionnement basé sur une association plus ou moins intégrée des productions végétales et animales. L'élevage dans de nombreuses régions valorise les ressources alimentaires disponibles sur l'exploitation.

Aux Antilles, ces systèmes polyculture élevage sont très importants d'un point de vue économique, social et culturel, la production porcine y jouant un rôle majeur comme pourvoyeur de fumure et recycleur de résidus végétaux. Les efforts de la recherche portent actuellement sur une meilleure compréhension du fonctionnement de ces systèmes dans le but de mettre à la disposition des agriculteurs des modèles biotechniques d'aide aux décisions pertinentes et adaptés. Compte tenu de la place des aliments dans ces systèmes, il est nécessaire de caractériser la valeur alimentaire des ressources végétales locales et de définir leurs modalités d'utilisation pour une valorisation optimale par l'animal.

En Guadeloupe, de nombreuses matières premières locales peuvent être utilisées dans l'alimentation du porc. Dans ce domaine, d'importants travaux ont déjà été réalisés sur les matières, sources d'énergie, comme la banane ou la canne à sucre qui sont les principales cultures d'exportation des Antilles et de ce fait les plus étudiées. Ces matières premières présentent l'avantage d'être disponibles localement en grande quantité et d'être relativement riche en énergie mais pauvres en protéines. Or dans les systèmes de production tels que nous pouvons les rencontrer dans les régions tropicales, un des premiers facteurs limitants est l'approvisionnement en protéines.

Il existe pourtant différentes ressources tropicales riches en protéines qui peuvent être utilisées dans l'alimentation du porc.

Les graines de légumineuses tropicales (pois) sont des ressources très intéressantes du point de vue de leur teneur et de leur composition en acides aminés (AA). Cependant, ils présentent le désavantage d'être produits en quantité faible aux Antilles, d'entrer directement en concurrence avec l'alimentation humaine et de nécessiter des traitements coûteux pour être utilisés en alimentation animale. De ce fait, l'alimentation porcine à base de pois n'est que très rarement mise en œuvre au sein des exploitations antillaises.

Les régions tropicales sont aussi caractérisées par la présence d'une grande variabilité de feuillages tropicaux. Ces feuillages sont réputés pour être riches en matières azotées et ont l'avantage de pouvoir être produits en grande quantité sur les exploitations. Ces fourrages pourraient donc représenter une alternative intéressante pour la complémentation en protéines des rations des porcs. Cependant, à notre connaissance, peu de données existent sur l'utilisation des feuillages tropicaux chez le porc. En particulier, la valeur énergétique et protéique de ces produits mérite d'être caractérisée de manière plus fine, pour envisager la formulation de rations à base de fourrages tropicaux. De plus, l'on relève dans la pratique que de nombreux éleveurs antillais les valorisent déjà de manière empirique.

Ce travail de thèse s'insère dans le contexte de l'agriculture guadeloupéenne. Cependant, il a une portée plus générale, car les ressources étudiées et les problématiques développées existent dans de nombreuses régions tropicales.

Ce manuscrit est structuré en trois parties. La première partie sera consacrée à la synthèse des connaissances sur les principales ressources tropicales non-conventionnelles pouvant être utilisées dans l'alimentation du porc. Dans une seconde partie, les résultats expérimentaux seront présentés sous la forme de 4 articles scientifiques. Ces derniers feront finalement l'objet d'une discussion générale dans une troisième partie.

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I- LES RESSOURCES PROTEIQUES DANS LES MILIEUX TROPICAUX

L'abondante biodiversité des régions tropicales met à disposition de nombreuses ressources végétales locales pouvant être valorisées en alimentation animale. Parmi ces ressources locales dites non conventionnelles, on retrouve la canne à sucre, les tubercules ou racines (manioc, patate, igname...), les fruits (banane et autres), mais également les produits issus de l'agro-transformation (sons divers, pulpes...). Ces ressources non conventionnelles ont joué un rôle important dans le développement de l'élevage, permettant une forte augmentation de la production de viande (Figuroa and Ly, 1990). La composition de certains produits ainsi que leurs utilisations ont déjà fait l'objet de nombreuses études et revues. Leur valeur nutritionnelle est aujourd'hui relativement bien décrite (Preston, 1995). Les ressources alimentaires locales produites dans les régions tropicales sont souvent considérées comme 'non conventionnelles' du fait de leur composition chimique considérée comme atypique par rapport aux matières premières 'classiquement' utilisées chez le porc (céréales, tourteaux, co-produits, etc.). Le plus souvent, ces matières premières tropicales sont riches en eau, en sucres simples ou complexes et/ou en parois végétales et plus généralement riches en énergie mais pauvres en protéines. Ainsi, l'utilisation de ces ressources locales requiert le plus souvent une complémentation protéique apportée par du tourteau de soja, de la farine de poisson. L'importation d'une source extérieure de protéines représente un poste de dépenses coûteux pour une petite exploitation augmentant sa vulnérabilité. La recherche d'alternatives pour diminuer la part de la protéine importée au profit de sources azotées locales est donc une priorité pour assurer la survie économique des systèmes de production de type polyculture-élevage.

Parmi ces ressources azotées disponibles dans les régions tropicales, les pois sont une source de protéines de choix pour l'alimentation du porc. Si les pois tropicaux et des milieux tempérés sont très riches en protéines, ils présentent l'inconvénient majeur de rentrer en compétition avec l'alimentation humaine. Une autre alternative serait d'utiliser des ressources fibreuses (fourrages, feuillages...) comme source de protéines chez le porc. Ces produits sont déjà couramment utilisés pour l'alimentation des ruminants (Archimede et al., 2001) mais leur utilisation dans l'alimentation du porc est moins développée et décrite. Ainsi, les feuilles de manioc (*Manihot esculenta*), patates douces (*Ipomea batatas*), ou de madère (*Colocasia esculenta*) sont couramment utilisées, notamment en Asie et en Amérique du Sud, comme sources de protéines dans la ration du porc. A un degré moindre, d'autres produits comme les

Tableau 1. Composition chimique des quatre principaux arbres et arbustes utilisés en alimentation porcine : *Leucaena*, *Morus*, *Trichanthera*, *Erythrina* (% de la matière sèche)¹

	<i>Leucaena</i>		<i>Morus</i>				<i>Trichanthera</i>			<i>Erythrina</i>		
	feuille		feuille	feuille +tige	tige	feuille	feuille +tige	tige	feuille	tige		
	Moy.	(min-max)	Moy.	(min-max)	Moy.	Moy	Moy.	(min-max)	Moy.	Moy.	Moy.	Moy.
MS, %			27,2	(19,4-30,4)			14,9	(12,6-17,3)	19,1	17,0	23,7	23,3
Composition chimique, % MS												
Macroéléments												
MM	8,1	(6,6-9,5)	15,1	(12,8-17,3)	13,9	9,32	17,9	(15,1-23,9)	22,2		13,2	
MAT	20,7	(14,9-25,1)	18,2	(16,7-19,7)	11,0	11,5	19,4	(15,6-21,6)	22,3	8,7	24,8	9,4
NDF	52,3	(38,1-60,0)	33,6	(32,3-35)	22,0		39,6	(32,2-46,8)			57,8	
ADF	36,1	(36,1-36,1)	17,4	(8,5-18,9)	20,6		23,2	(21,9-24,5)				
ADL	10,8	(10,8-10,8)	4,2	(1,3-5,1)			7,9	(7,5-8,9)				
CB	20,1	(12,2-32,9)	11,3		10,0	34,0			44,0	26,1	31,7	
Microéléments												
Ca	1,4	(1,3-1,4)	1,8	(1,6-3,0)	3,13	1,56	5,9	(4,8-6,9)		6,4		
Phosphore	0,4	(0,3-0,6)	0,14	(2,2-4,8)	0,37	0,2		(1,5-1,4)		0,2		
Mimosine	2,1	(0,1-3,1)										
Tannin	1,6		1,8									
EB, MJ/kg MS	17,8	(16,5-19,0)										
Références	1, 2, 3, 4, 5, 6		7, 8,9		10	12	8,12,14,11,16		17	11	18,19,20,21	21,22

Références bibliographiques: 1 (Hulman et al., 1977), 2 (Ly et al., 1997), 3 (Phuc and Lindberg, 2000), 4 (Zakayo et al., 2000), 5 (Echeverria et al., 2002), 6 (Laswai et al., 1997), 7 (Leterme et al., 2006), 8 (Trigueros and Villalta, 1997b), 9 (Singh and Makkar), 10 (Subba Rao et al., 1971), 11 (Leterme et al., 2005), 12 (Gomez and Murgueitio, 1991), 13 (Araque et al., 2005), 14 (Rosales, 1997a), 15 (Rosales, 1997b), 16 (Solarte, 1994), 17 (Nhan et al., 1996), 18 (Larbi et al., 1993), 19 (McDowell et al., 1974), 20 (Samur, 1984), 21 (Budowski et al., 1985)

¹ Si plusieurs études sont disponibles pour un produit, les valeurs minimales (min) et maximales (max) sont rapportées. Dans le cas contraire, seules les moyennes (Moy.) sont rapportées dans le tableau.

plantes aquatiques et certaines légumineuses peuvent également être utilisées pour l'alimentation du porc.

Dans cette partie bibliographique, sont présentées les ressources de protéines locales utilisables dans l'alimentation du porc, en décrivant pour chaque matière première (quand l'information est disponible), la composition chimique, la valeur nutritionnelle et les modalités d'utilisation.

A- Les feuillages des plantes arbustives

Contrairement aux ruminants, l'utilisation des feuillages de plantes arbustives pour l'alimentation du porc est beaucoup moins bien décrite. Parmi ces feuillages, certains comme ceux de *Leucaena*, *Morus*, *Erythrina* et *Trichanthera* sont cités comme potentiellement intéressants pour l'alimentation des porcs (Preston, 2006), pour leur teneur en protéines et leur productivité en terme de biomasse.

1- *Leucaena* (*Leucaena leucocephala*)

a- Description

Le *Leucaena* est une légumineuse à feuilles persistantes pouvant atteindre 5 à 20 m de haut (type géant hawaïen) (FAO, 2001). Ses jeunes pousses et ses graines peuvent être utilisées en tant que légume dans l'alimentation humaine ou animale (Ecoport, 2009). Le rendement en feuilles varie de 3 à 6 t de MS/ha/an en fonction du sol, de la température et de l'humidité (Le Houérou, 1980). Pour un rendement optimal, la récolte se fait entre 6 et 8 semaines (Cook et al., 2005).

b- Composition

La composition chimique des feuilles de *Leucaena* est très variable d'une étude à l'autre (Tableau 1). Cette variabilité peut s'expliquer par l'âge de récolte, donnée généralement non disponible dans les publications. Les feuilles de *Leucaena* sont caractérisées par une forte teneur en parois végétales (natural detergent fiber (NDF) : 38,0 à 60,0% de la MS) et une teneur moyenne en protéines (15,6 à 23,6% de la MS). D'après Ly et al. (1997), environ 50% des protéines de la feuille de *Leucaena* sont liées au NDF. La

Tableau 2. Profil en acides aminés des feuilles des quatre principaux arbres et arbustes utilisés en alimentation porcine : *Leucaena*, *Morus*, *Trichanthera* en comparaison avec celui du tourteau de soja

	Tourteau de soja¹	<i>Leucaena</i> ²	<i>Morus</i> ³	<i>Trichanthera</i> ³
MAT, % MS	51,6	28,3	27,5	18,1
AA, % MAT	97,2	-	86,9	77,9
Lysine, % MAT	6,10	5,10	5,70	4,30
AA, % lysine				
Arginine	1,21	0,98	0,93	1,14
Histidine	0,44	0,34	0,37	0,51
Isoleucine	0,75	0,71	0,75	0,95
Leucine	1,21	1,36	1,45	1,67
Méthionine	0,23	0,21	0,28	0,35
Phénylalanine	0,82	0,96	0,91	1,07
Thréonine	0,64	0,69	0,81	1,0
Tyrosine	0,54	0,74	0,19	0,23
Valine	0,79	0,91	0,95	1,16

1 (Sauvant et al., 2004), 2 (Phuc and Lindberg, 2000), 3 (Leterme et al., 2005)

protéine de la feuille de *Leucaena* contient environ 20 % d'azote non protéique et une concentration en lysine brute (en % de la MAT) comparable à celle du tourteau de soja (Tableau 2). Le profil des AA essentiels par rapport à la lysine est semblable à celui du tourteau de soja. Les feuilles de *Leucaena* contiennent des tanins, caractéristique commune à beaucoup de feuillages tropicaux. D'après Zakayo et al. (2000), la teneur en tanins condensés est en moyenne de 2 g/100 g MS. La capacité de rétention en eau des feuilles de *Leucaena* est assez forte (10,5 g d'eau/g MS), ce qui en fait potentiellement une matière première peu ingestible chez le porc (Ly et al., 2004).

c- Modalités d'utilisation des feuilles de *Leucaena*

L'utilisation des feuilles de *Leucaena* pour l'alimentation du porc est peu décrite dans la bibliographie, mais peut s'avérer intéressante compte tenu de sa forte teneur en protéines et sa grande disponibilité dans certaines régions tropicales. D'après Ly et al. (1997), seulement 25% de la protéine ingérée est effectivement digérée par le porc. La forte teneur en parois végétales lignifiées, en tanins et la proportion élevée d'azote lié au NDF expliquent cette faible utilisation digestive de la protéine. En général, l'incorporation de feuilles de *Leucaena* sous forme de farine dans la ration a un effet négatif sur les performances de croissance (Tableau 3). L'addition de 20% de farine de feuilles de *Leucaena* entraîne une réduction de 16% de la vitesse de croissance (327 vs. 389 g/j) entre 20 et 60 kg (Laswai et al., 1997). Les effets du *Leucaena* sur la croissance varient en fonction du poids vif (PV) des animaux. L'introduction de 20% de feuilles de *Leucaena* dans la ration diminue de 27% le gain moyen quotidien (GMQ) des porcs entre 20 et 50 kg mais n'a pas d'effet significatif sur les performances mesurées entre 50 et 90 kg (Tableau 5) (Zakayo et al., 2000).

Une partie des faibles performances observées avec les feuilles de *Leucaena* pourrait être attribuée à la présence de mimosine. En effet, les feuilles de *Leucaena* ont la particularité d'avoir une teneur élevée en mimosine, (AA non protéiques de la famille des alcaloïdes) qui diminue fortement l'appétence de la feuille. Son ingestion provoque à court terme la perte des soies des porcs et s'avère toxique à long terme pour l'animal (Sethi and Kulkarni, 1993). Pour réduire la teneur en mimosine et améliorer la valeur nutritionnelle du *Leucaena*, le trempage (avant séchage) semble être plus efficace que le rinçage ou la fabrication d'ensilage (Kassuma, 1987). Les effets de la mimosine peuvent être également partiellement

Tableau 3. Synthèse des résultats de la bibliographie sur les effets de l'utilisation des feuillages arbustifs sur les performances de croissance du porc

Plantes	Forme	Incorporation, % MS	Poids vif, kg	GMQ, g/jour	IC, kg/kg	Références		
<i>Leucaena</i>	Séchée	15	30-60	770	2,71	(Kassuma, 1987)		
	Trempée	15	30-60	680	2,81			
	Fraîche	15	30-60	540	3,06			
	<i>Leucaena</i>	Séchée	0	20-50	829	2,52	(Zakayo et al., 2000)	
			20	20-50	603	3,03		
			0	50-90	741	3,12		
			20	50-90	774	3,02		
			0	20-60	389	3,44		
			10	20-60	379	3,54		(Laswai et al., 1997)
			20	20-60	327	3,75		
20			20-60	388	3,38			
<i>Morus</i>	Séchée	8	50-70	442	5,13	(Araque et al., 2005)		
		16	50-70	475	4,44			
	Fraîche	0	30-100	638	4,48	(Almaguel et al., 2008)		
		20*	30-100	575	4,64			
		30*	30-90	636	1,71		(Contino Esquijerosa et al., 2008)	
30*	30-90	623	1,94					
<i>Trichanthera</i>	Fraîche	0	croissance	625	3,04	(Sarria et al., 1991)		
		5	croissance	584	3,27			
		15	croissance	522	3,63			
		25	croissance	451	3,89			
	Séchée	10	60-80	647	3,94	(Jiménez et al., 2005)		
		24	50-70	438	5,11			
							(Araque et al., 2005)	

*taux de substitution par rapport à la protéine du régime de base

(Laswai et al., 1997)) ou complètement bloqués (Echeverria et al., 2002) en ajoutant du sulfate de fer dans l'eau utilisée pour le trempage des feuilles. Il est possible d'incorporer jusqu'à 20% de feuilles de *Leucaena* dans la ration si les feuilles sont au préalable traitées avec de l'acide acétique (Isaac and Oswaldo, 1995); (Ly et al., 1997) ou de la zéolite (Echeverria et al., 2002). En l'absence de traitement, le taux d'incorporation de la farine de feuille de *Leucaena* ne peut pas dépasser 5 à 10% chez les porcs en croissance finition (Ly et al., 2004).

2- Erythrine (*Erythrina, sp.*)

a- Description

Les érythrine sont des légumineuses arbustives ou arborées originaires d'Amérique Latine, couramment utilisées comme ombrage ou brise-vents dans les plantations de cacaoyers ou de bananiers (Herrera et al., 1987). Les avantages agronomiques de ces arbres ou arbustes résident dans leur adaptabilité à une grande variété de sols et de climats et dans leur tolérance particulière aux sols acides humides très riches en aluminium. Leur croissance peut atteindre 2,5 m/an. Il est possible de trouver différentes espèces à des altitudes allant de 0 à 2500 m et des températures moyennes allant de 15 à 35°C. Les jeunes arbres, voire les arbres adultes repoussent rapidement quand ils sont soumis à des récoltes fréquentes. En termes de rendement, même si les données disponibles sont rares, la production de feuillage semble comparable à celle obtenue avec *Leucaena*.

b- Composition

La teneur en protéines de la feuille d'Erythrine est d'environ 32 g/100 g de MS, ce qui en fait un des feuillages tropicaux les plus riches en matières azotées (Tableau 1). En revanche, elle présente le désavantage d'être très riche en parois végétales et de contenir des tanins et des quantités importantes d'alcaloïdes qui, selon la variété, peuvent être mortels pour l'animal (Coates Palgrave, 1983). Les alcaloïdes d'*Erythrina* sont distincts de ceux des autres légumineuses et, à l'inverse des autres angiospermes, ces alcaloïdes possèdent une faible affinité avec les nitrates réductases (Neill, 1988).

c- Modalités d'utilisation des feuilles d'Erythrine

L'utilisation des feuilles d'érythrine est bien décrite chez les ruminants (Kass et al., 1993) ; (Pezo et al., 1989) ; (Benavides and Pezo, 1986), mais l'est beaucoup moins chez le porc. (Preston et al., (1992; Echeverria et al., 2002) suggèrent que les feuilles d'érythrine pourraient représenter une source importante de protéines, notamment dans des systèmes d'agroforesterie. A notre connaissance, chez le porc, la valeur nutritionnelle et les modalités d'utilisation des feuilles d'érythrine n'ont pas encore fait l'objet d'une description précise.

3- Le mûrier (*Morus sp.*)

a- Description

Les mûriers appartiennent à la famille *Moraceae* pour laquelle il existe un grand nombre d'espèces (*M. alba*, *M. nigra*, *M. indica*, *M. laevigata*, *M. bombycis*, etc..) présentes à l'état sauvage ou issues d'un développement variétal pour la production de vers à soie. Les mûriers sont des arbres pouvant atteindre 30 mètres de haut. Riches en protéines, ses feuilles ont très vite été considérées comme une ressource fourragère intéressante pour les ruminants, et plus récemment, pour les monogastriques. Au niveau agronomique, les feuilles de mûrier peuvent représenter une importante biomasse dont la production varie selon les fréquences de coupe, le niveau et le type de fertilisation, ainsi que leur emplacement géographique. Une plantation de mûrier de 25 000 plants/ha peut produire 35 t de feuilles fraîches/an et cette production augmente de 20% avec un amendement organique de type fumier (Espinoza, 1996).

b- Composition

Les études réalisées chez le porc nourris avec les feuilles de *Morus sp.* révèlent une valeur nutritive supérieure à celle des fourrages conventionnels comme la luzerne (Sauvant et al., 2004). En frais, la teneur en MS du mûrier est d'environ 26 % (Phiny et al., 2003). Sa composition chimique, rapportée à la MS est résumée dans le Tableau 1. Les feuilles de mûrier se caractérisent par une concentration en protéines comparable à celle des feuilles des autres plantes arbustives (18,2 % en moyenne ; Tableau 1). La teneur en protéines des feuilles de *Morus* peut être modulée par un apport maîtrisé de fumure animale (Benavides et al., 1994). Selon Shayo et Udèn (1999), environ 36 % des protéines des feuilles de mûrier sont liées au NDF. En moyenne, la feuille de mûrier contient 86,9 g d'AA et 5,7 g de lysine/100 g de matières azotées totales (MAT) (Tableau 2) et le profil en AA est assez proche de celui du

tourteau de soja. La feuille de *Morus* présente de nombreux atouts dont celui d'avoir une teneur en parois végétales réduite comparativement aux autres feuillages tropicaux, notamment par rapport aux feuilles de *Leucaena* (Tableau 1). Cette plus faible teneur en parois végétales a pour conséquence de réduire l'encombrement digestif des feuilles de mûrier, évalué via le critère de la capacité de rétention d'eau (6,15 g d'eau /g MS (Phiny et al., 2003)). Les feuilles de *Morus* contiennent peu de métabolites secondaires (tanins ou autres) (Makkar et al., 1989).

c- Modalités d'utilisation des feuilles de *Morus*

L'incorporation de feuilles de *Morus* dans les rations est connue pour être une solution permettant d'apporter efficacement de la protéine digestible pour les ruminants (Benavides et al., 1989). Chez le porc, ce type de données est beaucoup plus rare (Sachez, 1999). Chez un porcelet (15-20 kg), le niveau d'ingestion moyen de feuilles fraîches est d'environ 40 g MS/kg de PV. Phiny et al. (2003) montrent en effet que l'incorporation de feuilles de mûrier sous forme fraîche augmenterait la digestibilité d'une ration à base de brisure de riz et de farine de poisson. Aucune modification de la digestibilité entre un régime témoin et un régime incorporant 30% MS de feuille de mûrier n'est relevée par Ly et al. (2001), contrairement à un régime avec 30% de feuille de *Trichanthera* où la digestibilité de la MS et de la matière organique (MO) diminue. Ly et al. (2001) estiment à 56,7 et 47,7 %, respectivement les coefficients de digestibilité fécale de la MO et de la MAT. Ces digestibilités sont similaires pour la MO et légèrement supérieures pour la MAT à celles rapportées par Araque et al. (2005) en utilisant également la digestibilité *in vitro* (57,4 et 59,1 %). *In vivo*, la digestibilité fécale de la protéine est globalement similaire à la digestibilité mesurée *in vitro* (49,3 % ; Leterme et al., (2006). Comme pour les autres feuilles arbustives, cette faible digestibilité relativement au tourteau de soja s'explique par une plus forte teneur en NDF pour le mûrier. Comparativement aux autres feuillages (ex : *Trichanthera*), la digestibilité des protéines des feuilles du mûrier est élevée 59,1 % Leterme et al. (2006). Ly et al. (2001) n'observent pas d'effets significatifs sur la digestibilité de la ration entre un régime de base (racine de manioc, son de blé et farine de poisson) et un régime contenant 30 % de farine de feuilles de *Morus*. Phiny et al. (2003) suggèrent également qu'il est possible d'introduire 30 % de feuilles de mûrier (sèches ou fraîches) dans la ration sans trop pénaliser l'ingestion et la croissance du

porc. En général, l'incorporation de feuilles de mûrier dans la ration a un effet négatif sur les performances de croissance au-delà de 20-30 % de MS du régime. Almaguel et al. (2008) et Contino Esquijerosa et al. (2008) n'observent aucune différence de performances de croissance entre le régime témoin et les régimes expérimentaux où 20 à 30 % de la protéine du régime est remplacée par des feuilles fraîches de *Morus* (Tableau 3). Trigueros et Villalta (1997a) préconisent jusqu'à 15% d'incorporation des feuilles de mûrier pour avoir des performances de croissance proches de celles du témoin (GMQ de 680 vs. 740g/j), avec un rapport économique plus avantageux pour l'exploitation.

4- *Trichanthera* (*Trichanthera gigantea*)

a- Description

Trichanthera est un arbre de la famille des Acanthacées. Originaire d'Amérique Latine et plus particulièrement de la Colombie, cet arbuste est présent aussi bien dans les zones marécageuses du Costa Rica que dans le nord de l'Amérique du Sud (McDade, 1983) ou le bassin de l'Amazonie (Record and Hess, 1972). Il s'agit d'un arbre fourrager très prometteur pour un large éventail d'écosystèmes, car il est facilement adaptable aux zones tropicales humides (Acero, 1985); (Jaramillo and Corredor, 1989). Le *Trichanthera* est aussi bien adapté à une large variabilité de pH. Le *Trichanthera* est un arbuste pouvant atteindre jusqu'à 5 m de haut et qui pousse le plus souvent le long des ruisseaux et des sources (Acero, 1985). Les premières récoltes de feuilles peuvent commencer à partir de 8 mois d'âge et l'arbuste peut être effeuillé jusqu'à 3 fois par an sans pertes de rendement (Gomez and Murgueitio, 1991; (CIPAV), 1996). La production peut atteindre 15,6 à 16,7 t/ha (en frais) pour une densité de 40 000 plants/ha (Jaramillo and Rivera, 1991). La production totale en biomasse (feuilles fraîches et les jeunes tiges confondues) a été évaluée à 53 t/ha par an ((CIPAV), 1996).

b- Composition

La description chimique des feuilles de *Trichanthera* comprend à la fois celle des feuilles et celle des tiges très minces qui sont le plus souvent consommées avec les feuilles par les animaux. Distribuées en frais, la MS moyenne des feuilles de *Trichanthera* est d'environ 30 % (Ly et al., 2001). Schématiquement, la composition chimique des feuilles de

Tableau 4. Composition chimique de trois espèces de plantes aquatiques utilisées dans l'alimentation porcine : *Ipomea aquatica*, *Lemna miror*, *Azolla* (% de la matière sèche)

	<i>Ipomea aquatica</i>	<i>Lemna miror</i>	<i>Azolla</i>
MS , %	9,4 (8,3-10,8)	5,2 (4,8-5,5)	6,8
Composition chimique, % MS			
MM	12,6 (9,4-16,2)	25,7 (13,0-35,5)	20,2 (11,2-29,1)
MAT	26,1 (20,9-36,3)	31,7 (25,0-41,5)	27,5 (23,2-31,8)
NDF	28,5 (24,2-32,7)	38,2 (38,2-38,2)	47,3 (42,3-52,3)
ADF	24,8	28,9	30,1 (26,6-33,5)
CB	16,3 (13,0-22,8)	13,8 (5,0-20,0)	19,5 (19,5-19,5)
EB, MJ/kg MS	19,2 (18,3-20,0)	16,2	15,7 (15,2-16,1)
Références	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	8, 9, 10	11, 12

Références bibliographiques : 1 (Manh et al., 2002), 2 (Dong et al., 2008), 3 (Phiny et al., 2008), 4 (Khanmparn and Preston, 2006), 5 (Men et al., 2010), 6 (Nguyen et al., 2004), 7 (Samkol), 8 (Leng et al., 1995), 9 (Ngamsaeng et al., 2004), 10 (Lai and Rodriguez, 1998), 11 (Becerra et al., 1990), 12 (Leterme et al., 2009).

¹ Si plusieurs études sont disponibles pour un produit, les valeurs minimales (min) et maximales (max) sont rapportées. Dans le cas contraire, seules les moyennes (Moy.) sont rapportées dans le tableau.

Trichanthera se situe entre celle de *Leucaena* et de *Morus*. En moyenne, elle contient 19,4 % de MAT et 39,6% de NDF (Tableau 1), dont plus de la moitié des protéines (59 %) est liée au NDF (Shayo and Udèn, 1999) et donc indisponible pour le porc. La feuille de *Trichanthera* contient en moyenne 78 g d'AA/100 g de MAT. La concentration en lysine rapportée aux protéines est plus faible comparativement à celle du tourteau de soja (4,3 vs. 6,1 ; Tableau 4). Comme pour les feuilles de *Morus alba*, l'une des caractéristiques des feuilles de *Trichanthera* est une très forte teneur en minéraux et plus particulièrement en Calcium (Tableau 1), ce qui en fait une source minérale intéressante pour l'animal (Rosales et al., 1989), (Rosales, 1997a). Cette forte concentration en calcium peut s'expliquer par la présence de cystolithes (concrétion calcaire au niveau cellulaire) dans les feuilles qui constitue une caractéristique de la famille des Acanthacées. Les screening phytochimiques sur les feuilles de *Trichanthera*, n'ont révélé aucun composés antinutritionnels de type alcaloïdes ou tanins condensés, seuls la saponine et les stéroïdes ont été retrouvés en faibles quantités (Rosales, 1997a).

c- Modalités d'utilisation des feuilles *Trichanthera*

L'incorporation de 30 % de farine de feuilles de *Trichanthera* dans la ration d'un porc en croissance diminue de 6 et 8 % la digestibilité de la MO et de l'azote (Ly et al., 2001). Ces résultats sont confirmés par une étude plus récente (Leterme et al., 2006). Ces auteurs montrent que seulement 29 % de la protéine est digérée au niveau fécal par le porc alors que Ly et al. (2001) publient une valeur beaucoup plus élevée (66 %). Même si cet écart peut s'expliquer par des différences dans le dispositif expérimental, la plus forte teneur en NDF des feuilles utilisées par Leterme et al. (2006) (46,8 vs. 30,8 %) est probablement le principal facteur qui explique cette variation. Compte tenu du fait que la teneur en parois végétales augmente notamment en fonction de l'âge à la récolte, ces résultats montrent que ce paramètre (comme d'autres) doit être pris en compte pour valoriser de manière optimale les potentialités de la feuille de *Trichanthera* dans l'alimentation du porc. Compte tenu de sa forte teneur en parois végétales, les feuilles de *Trichanthera* ont été utilisées principalement chez la truie gestante. Selon Saria (1994), elles peuvent fournir environ 30 % des protéines d'un régime de truies en gestation alimentées à base de jus de canne à sucre sans détérioration des performances. Ce taux d'incorporation représente l'équivalent d'une distribution de 1 kg par jour de feuilles fraîches. En revanche, l'utilisation des feuilles de *Trichanthera* chez le porc en croissance est beaucoup moins satisfaisante. En général, l'introduction de feuilles de

Trichanthera induit une réduction des performances de croissance quel que soit le niveau d'incorporation (Tableau 3). Selon Saria (1994), l'incorporation de 20 % de feuilles de *Trichanthera* entraîne une réduction de 28 % de la vitesse de croissance des porcs. Ces plus faibles performances s'expliquent par un effet négatif de la forte teneur en parois végétales sur l'utilisation digestive des protéines et de l'énergie.

5- Conclusion

De par leur forte disponibilité et leur bonne teneur en protéines, les feuilles des arbres et des arbustes tropicaux sont considérées comme des sources azotées potentielles pour l'alimentation du porc. Dans des systèmes d'élevages très extensifs comme ceux que l'on peut rencontrer fréquemment dans les régions tropicales, ces feuillages peuvent être introduits dans la ration des porcs pour remplacer une partie du tourteau de soja ou des farines de poisson. Ces produits sont également caractérisés par la présence de nombreux facteurs antinutritionnels (parois végétales, métabolites secondaires) qui diminuent la valeur alimentaire de ces feuilles et peuvent être toxiques pour l'animal. Les effets à court terme (ingestibilité / digestibilité) et à long terme (santé) de ces métabolites secondaires doivent être précisés en fonction de la variété, des pratiques culturales et des périodes de récolte de la plante mais également en fonction du stade physiologique de l'animal. Par ailleurs, l'analyse des données que l'on retrouve dans la bibliographie montre que ces matières premières nécessitent une caractérisation plus fine, notamment pour mieux quantifier la valeur biologique réelle de la protéine au-delà du profil brut en AA.

B- Les plantes aquatiques

Plus d'un million de petites exploitations, la plupart situées en Chine, utilisent des plantes aquatiques comme sources de protéines en remplacement des farines protéiques classiques utilisées chez le porc (Rodríguez and Preston, 1996 ; Manh et al., 2002). Néanmoins, peu d'informations sont disponibles dans la littérature sur leur valeur nutritionnelle et la manière dont elles peuvent être utilisées pour nourrir les porcs. Les plantes aquatiques cumulent les avantages d'être riches en protéines et de pouvoir potentiellement être disponibles en quantité non limitante dans les exploitations agricoles compte tenu des conditions de culture peu exigeantes de ces plantes. La qualité de ce fourrage dépend exclusivement de la composition chimique de l'eau où elles prolifèrent (Kean and Preston, 2001). Les plantes aquatiques sont des plantes très riches en eau (84 à 96 % ;

(Becerra et al., 1990; Leng et al., 1995; Manh et al., 2002)), ce qui en fait une matière première très pondéreuse lorsqu'elle est distribuée en frais. Par ailleurs, ce fort taux d'humidité rend difficile un séchage complet pour en augmenter la densité nutritionnelle. Dans ce chapitre, parmi la trentaine de plantes aquatiques disponibles et potentiellement utilisables en alimentation animale, nous avons choisi d'en décrire seulement trois puisque déjà connues pour leur utilisation en alimentation porcine.

1- Le liseron d'eau (*Ipomea aquatica*)

a- Description

Ipomea aquatica ou liseron d'eau est une plante herbacée appartenant à la famille des *Convolvulaceae*. Ces plantes aquatiques sont présentes à la surface de l'eau des zones humides, marécageuses ou encore sablonneuses en Asie tropicale, Afrique, Océanie et Amérique du sud. Comestibles pour l'alimentation humaine, ses feuilles et ses tiges sont appréciées en tant que légumes, notamment en Asie du Sud-Est. Snyder et al. (1981) ont suggéré que ces plantes pouvaient être une alternative aux grandes cultures de canne à sucre et autres, pour une utilisation comme légumes dans la consommation humaine et / ou comme plantes de couverture pour le sol. En effet, historiquement, la culture des liserons d'eau était avant tout un moyen de contrôler les mauvaises herbes dans des rizières après les récoltes du riz. Après la plantation, une première récolte peut être réalisée 30 jours plus tard puis chaque semaine au niveau des pousses latérales. Les liserons d'eau peuvent produire jusqu'à 24 t de matière fraîche/ha, si le sol est correctement amendé avec des effluents issus de biodigesteur (Kean and Preston, 2001).

b- Composition chimique

Comme toutes les autres plantes aquatiques, le liseron d'eau a une faible teneur en MS (8,3 à 10,0 % ; Tableau 4). Les liserons d'eau sont des plantes intéressantes pour l'alimentation animale car elles présentent une teneur importante en protéines (20,9 à 36,3 % MS) pour des teneurs en parois végétales relativement faibles (16,3 % de NDF en moyenne ; Tableau 4). Selon Men et al. (2010) et Phiny et al. (2008), la teneur en lysine des liserons d'eau est d'environ 4,3 g/100 g de MAT et le profil en AA est relativement bien équilibré (Tableau 5).

c- Modalité d'utilisation d'*Ipomea aquatica*

Tableau 5. Profil en acides aminés de trois plantes aquatiques utilisées dans l'alimentation porcine : *Ipomea aquatica*, *Lemna minor*, *Azolla* en comparaison avec celui du tourteau de soja

	Tourteau de soja¹	<i>Ipomea aquatica</i>²	<i>Lemna minor</i>³	<i>Azolla</i>⁴
MAT, % MS	51,6	26,7	28,0	21,4
AA, % MAT				
Lysine, % MAT	6,1	4,3	3,7	4,6
AA, % lysine				
Histidine	0,44	0,46	0,46	-
Isoleucine	0,75	1,06	1,16	0,95
Leucine	1,21	1,78	2,12	1,68
Méthionine	0,23	0,42	0,41	0,34
Phénylalanine	0,82	-	-	1,03
Thréonine	0,64	1,06	1,13	0,88
Valine	0,79	1,22	1,57	1,20

1 (Sauvant et al., 2004), 2 (Men et al., 2010), 3 FAO (2011), 4 (Alalade and Lyayi, 2006)

D'après Men et al. (2010), la digestibilité fécale de la protéine liseron d'eau est de 69% pour la truie gestante. Dans cette étude, la teneur moyenne en énergie digestible (ED) du liseron d'eau a été mesurée à 15,6 MJ/kg MS. La synthèse des résultats disponibles sur l'utilisation des liserons d'eau dans l'alimentation du porc montre que l'introduction de ce produit dans la ration ne dégrade pas les performances de croissance par rapport au régime témoin (Tableau 6). Cependant, il est important de noter que les effets bénéfiques de l'introduction du liseron d'eau sont obtenus chez des animaux avec une vitesse de croissance faible (Nguyen et al., 2004) (Phiny et al., 2008) et que l'absence de détérioration des performances dans l'étude de (Manh et al., 2002) est obtenue pour des niveaux d'incorporation également très faibles (<10 %). Selon ces derniers auteurs, l'introduction à des taux croissants de liseron d'eau induit une diminution croissante de la digestibilité de l'azote et de l'énergie, en relation avec une augmentation du taux de parois végétales dans la ration. Dans les petites exploitations, l'utilisation des liserons d'eau permet de réduire sensiblement les coûts de production en limitant le recours à des farines protéiques (Manh et al., 2002). Dans plusieurs études de Ty et Preston (2005; 2006), il a été démontré que l'introduction de liseron d'eau dans une ration à base de feuilles fraîches de manioc permettait d'augmenter l'ingestion et les performances de croissance chez le porc. Ces auteurs expliquent ce résultat par un effet de dilution de l'acide cyanhydrique (HCN) des feuilles de manioc par le liseron d'eau. Phiny et al. (2008) montrent une amélioration de la vitesse de croissance (198 vs. 242 g/j) et de l'indice de consommation (5,64 vs. 4,67 kg/kg) lorsque des feuilles de mûrier sont mélangées avec des feuilles de liserons d'eau, comparativement à une ration constituée seulement de liseron d'eau. Les mêmes observations sont faites, lorsque les feuilles de liseron sont mélangées à des feuilles de patates (Malavanh and Preston, 2006a). En fait, les feuilles de liseron d'eau ont pour caractéristiques d'être diurétique et de favoriser les pertes azotées, ce qui réduirait la quantité d'azote retenue par l'animal (Mamun et al., 2003). Cet effet serait dilué avec l'apport des autres feuilles dans la ration. L'utilisation du liseron d'eau chez la truie gestante (15 à 30 % de la ration) n'a aucune conséquence négative sur sa prolificité et sur le poids de la portée à la naissance (Men et al., 2010). D'après les données disponibles dans la bibliographie, il est difficile de statuer sur un taux maximal d'incorporation pour le porc en croissance.

2- Les lentilles d'eau (*Lemna sp.*)

a- Description

Tableau 6. Synthèse des résultats de la bibliographie sur l'utilisation des plantes aquatiques dans l'alimentation du porc

produit	Forme	Taux d'incorporation, % MS	Poids vif, kg	GMQ, g/jour	IC, kg/kg	Références
<i>Ipomea aquatica</i>	Fraîche	0	10-20	367		(Nguyen et al., 2004)
		35	10-20	474		
		20	20-40	242	4,67	(Phiny et al., 2008)
		28	20-40	198	5,24	
		0	40-55	635	3,16	(Manh et al., 2002)
		2,9	40-55	613	2,92	
		5,8	40-55	643	3,25	
		8,7	40-55	651	3,32	
<i>Lemna miror</i>	Farine	0	10-20	42		(Leng et al., 1995)
		5	10-20	32		
		10	10-20	26		
		0	6-20	423		(Haustein et al., 1992)
		5	6-20	320		
		10	6-20	260		
<i>Azolla</i>	Fraîche	0	20-50	425	4,30	(Becerra et al., 1990)
		15	20-50	363	5,20	
		30	20-50	341	5,70	
		0	50-90	540	4,90	
		15	50-90	589	4,60	
		30	50-90	568	4,87	
		0	10-70	354	5,65	(Gavina, 1994)
		20	10-70	326	6,05	
		40	10-70	301	6,55	

Les *Lemna* ou lentilles d'eau sont des plantes aquatiques flottantes. Ce genre appartient à la famille des *Lemnaceae* selon la classification classique, ou à celle des *Araceae* selon la classification phylogénétique. Ces plantes ont d'abord été utilisées comme amendement pour les sols, car elles étaient moins coûteuses que la fumure d'origine animale. Compte tenu de leurs fortes teneurs en protéines, elles ont ensuite été utilisées comme source d'azote dans l'alimentation animale. Les lentilles d'eau se développent dans toutes les mares d'eau douce des régions tropicales. Dans des conditions expérimentales, Leng et al. (1995) enregistre une production de 183 t/ha/an ce qui équivaut à environ 10-20 t MS/ha/an.

b- Composition chimique

La composition chimique de la lentille d'eau est très fortement influencée par la composition du plan d'eau dans lequel elle se développe. La concentration en protéines varie de 15 à 35 % MS dans une eau claire contre 40 à 43 % dans une eau usée enrichie de déjections animales (Stambolie and Leng, 1994). La concentration en lysine dans la protéine est nettement plus faible que celle du tourteau de soja (3,7 vs. 6,1 g/100 g MAT ; Tableau 5). Le profil en AA est assez bien équilibré, comparé à d'autres végétaux, et se rapproche des profils des farines protéiques habituellement utilisées (Hillman and Culley, 1978). En plus d'être riches en parois végétales, les lentilles d'eau sont aussi connues pour avoir une concentration élevée en pigments, en vitamines et en minéraux (Tableau 4). Cette forte concentration en matières minérales (MM) vient de la capacité de la plante à concentrer les minéraux présents dans l'eau. Les *Lemna* sont d'ailleurs utilisées pour décontaminer les eaux résiduelles provenant des stations d'épuration.

c- Modalité d'utilisation de *Lemna sp.*

Selon les résultats de Domingez et al. (1996), la digestibilité fécale de l'azote chez le porc est de 67,4 % pour la lentille d'eau, ce qui en fait une source protéinique intéressante. Ce résultat semble être confirmé par Lai et Rodriguez (1998) qui montrent une augmentation de la digestibilité de la protéine des rations composées à base de lentilles d'eau par rapport à des feuilles de manioc ensilées. L'utilisation des lentilles d'eau comme seule source de protéines dans un régime à base de jus de canne représente une alternative tout à fait intéressante, notamment par rapport à un régime où la source de protéines est apportée par des feuilles de manioc (Rodríguez and Preston, 1996). Dans cette étude, une incorporation de 40

% de lentilles d'eau (*Lemna minor*) permet d'obtenir un régime de 13 g de MAT/100 g de MS et de répondre ainsi aux besoins protéiques du porc.

L'effet de l'introduction des lentilles d'eau sur les performances de croissance du porc varie en fonction du poids des animaux. Une incorporation de 10 % de lentilles d'eau sous forme de farine dans une ration destinée aux porcelets entraîne une réduction significative des performances de croissance (-30 % ; Tableau 6). Au contraire, pour un même taux d'incorporation, mais avec des porcs plus lourds (20-30 kg), l'ajout de lentilles d'eau n'a aucune conséquence sur les performances de croissance (Haustein et al., 1992). Pour une incorporation à 10 %, (Figuroa and Ly, 1990), les lentilles d'eau n'ont pas d'effet négatif sur la croissance avec un régime à base de sorgho et de tourteau de soja. Chez la truie en gestation, le remplacement de 50 % du tourteau de soja par des lentilles d'eau distribuées fraîches entraîne une légère amélioration de la taille et du poids de la portée à la naissance et une réduction de la mortalité des porcelets (Men et al., 1997).

Les résultats disponibles dans la bibliographie montrent que le taux d'incorporation de lentilles d'eau dans les rations varie de 10 à 40 %, en fonction du stade physiologique, mais également de la source d'énergie utilisée dans la ration. Une source d'énergie très appétante et peu encombrante (jus de canne) pourra autoriser l'introduction d'une plus grande quantité d'une source de protéines riche en parois végétales comme la lentille d'eau. Cette conclusion semble pouvoir s'appliquer à tous les autres fourrages tropicaux.

3- Azolla (*Azolla sp.*)

a- Description

Originnaire de Chine, les *Azollas* sont maintenant produites dans diverses régions du monde. Les *Azollas* forment l'unique genre de plante aquatique de la famille des *Azollaceae*. Ces plantes sont des plantes très simples, formées uniquement d'un thalle et qui présentent une association symbiotique avec des cyanobactéries. La symbiose permet à la plante de mieux se développer en profitant des capacités d'absorption de l'azote atmosphérique des cyanobactéries (l'azote étant en général le nutriment limitant la croissance des plantes). Les *Azollas* ont longtemps été cultivées comme bio-engrais dans les rizières chinoises, en raison de leur capacité à fixer l'azote dans l'eau. La productivité de l'*Azolla* peut atteindre 40 t MS/ha/an (Becerra et al., 1990), ou 6 à 9 t de protéines/ha/an (Lumpkin and Plucknett, 1982).

b- Composition chimique

Par rapport aux autres plantes aquatiques, l'*Azolla* contient approximativement la même quantité de protéines (27,5 % en moyenne) mais elle est plus riche en parois végétales (47,3 % en moyenne). L'*Azolla* contient en moyenne 5 g lysine/100 g protéines selon les études et a un profil en AA relativement bien équilibré (Tableau 5) (Leterme et al., 2009). Comme pour les autres plantes aquatiques, la concentration en nutriments et donc la valeur alimentaire des *Azollas* dépendrait des conditions de culture (taux de minéraux, température, salinité de l'eau et durée d'ensoleillement), de la densité de la plantation mais également du stade de récolte (Arora and Singh, 2003). D'après Moozhiyil and Pallauf (1989), la teneur en protéines chez les plantes aquatiques serait de manière générale deux fois moins concentrée chez les feuilles matures que chez les jeunes pousses. Au contraire, d'après Sanginga and Hove (1989) les *Azollas* présenteraient la particularité d'avoir une composition relativement constante aux différents stades physiologiques.

c- Modalité d'utilisation d'*Azolla*

Comme pour les autres plantes aquatiques, de longues périodes d'adaptation du porc à cette matière première sont nécessaires pour maximiser l'ingestion et la digestion de l'*Azolla* (Becerra et al., 1990). Peu d'études rapportent des données sur la digestibilité de ces plantes. Leterme et al. (2009) montrent que l'énergie ou les protéines des feuilles d'*Azolla* sont très faiblement digestibles, voire complétement indigestibles. Selon le Tableau 6, l'effet de l'introduction d'*Azolla* dans la ration du porc dépend du poids de l'animal et de son taux d'incorporation. La détérioration des performances de croissance est plus importante chez le porc en croissance comparativement au porc en finition. Un des principaux avantages des plantes aquatiques est leur faculté à capter les minéraux qui en font un bon complément alimentaire. Selon Leterme et al. (2009), même si le profil en AA est équilibré comparé à une ressource classique comme le tourteau de soja, leur digestibilité est faible et le taux d'incorporation d'*Azolla* dans la ration ne doit pas dépasser 10-15 %.

4- Conclusion

Quelque soit la plante aquatique utilisée (lentilles d'eau, liseron ou du genre *Azolla*), les vitesses de croissance obtenues chez le porc avec une ration à base de ces plantes sont faibles. La grande majorité des études disponibles dans la bibliographie s'accordent à

démontrer que les plantes aquatiques ne peuvent remplacer que partiellement la ration protéique et qu'au-delà de 10 à 15 % d'incorporation, l'encombrement de la ration entraîne des effets négatifs sur l'ensemble du processus digestif de la ration (Leterme et al., 2009). Cet effet peut être atténué par l'utilisation d'une ressource en énergie très pauvre en parois végétales facilitant alors l'ingestion d'une ressource protéique riche en fibres.

II- LES RESSOURCES DUALES

Certaines plantes vivrières tropicales présentent la caractéristique de pouvoir potentiellement être à la fois une source d'énergie (tubercules riches en amidon) et une source de protéines (feuillages riches en protéines) pour l'alimentation animale. Cette section bibliographique est une synthèse des travaux sur la composition et les modalités d'utilisation dans l'alimentation du porc du manioc, de la patate douce et du madère.

A- Le manioc (*Manihot esculenta* Crantz)

1- Description

Le manioc est un arbuste vivace qui appartient à l'ordre des Euphorbiales de la famille des Euphorbiaceae et du genre *Manihot*. Il est connu sous divers noms Tapioca, Cassava, Yuca ou encore Brazilian arrowroot. Le manioc est aujourd'hui largement cultivé pour ses tubercules annuels dans plus de 90 pays dont les principaux producteurs sont la Thaïlande et le Brésil¹. Au niveau mondial, le tubercule racine de manioc est la 3^{ème} plus grande source d'hydrates de carbone pour l'alimentation humaine, après le maïs et le riz. (FAO, 2009).

Le manioc se multiplie par boutures et son cycle végétatif varie de 6 à 24 mois en fonction des usages et des conditions pédoclimatiques. Il ne pousse généralement que dans les régions tropicales, chaudes et humides, mais il est possible de le retrouver dans des zones qualifiées de « marginales² » (Cock, 1982). La récolte des racines est réalisée en général au bout de 6 à 12 mois de culture, les rendements étant en moyenne de l'ordre de 10 t MS/ha mais variant entre 1 et 30 t MS/ha selon les régions (FAO, 2009). Les variétés de manioc sont qualifiées d'amères ou de douces en fonction de la teneur en glucosides dans les feuilles et les

¹ Les 10 premiers pays producteur en 2009: Thaïlande 30,1 Mt, Brésil 26,0 Mt, Indonésie 22,0 Mt, Angola 12,8 Mt, Ghana 9,6 Mt, Inde 8,5 Mt, Vietnam 5,1Mt, Ouganda 4,5Mt, Chine 3,4Mt et le Cambodge 2,6Mt.

² Zone avec des sols acides et/ou pluviométrie irrégulière

Tableau 7. Composition chimique des tubercules et feuilles des plantes duales : *manioc*, *patate douce* et *madère*.

	<i>Manioc</i>			<i>Patate douce</i>			<i>Madère</i>					
	Tubercule		Feuilles	Tige	Tubercule		Feuilles	Tige	Feuilles+Tige	Tubercule	Feuilles	Tige
	Moy.	(min-max)	Moy.	(min-max)								
MS, %	33,6	(14,3-48,1)	22,3	(20,5-27,9)		30,8				27,9	11,9	61
Composition chimique, % MS												
MM	3,5	(1,2-5,0)	10,9	(5,2-15,4)	8,9	3,5	15,6	14,3	14,4	4,7	12,7	134
MAT	3,8	(1,8-6,5)	25,6	(18,9-37,3)	10,9	5,8	20	27,4	16,6	6,4	22,6	80
Amidon	84,5	(65-91)				85,8				77,8		
NDF			48,8	(39,5-58,1)			49,8	28,0	11,5		27,2	232
ADF			30,7	(29,8-31,7)			36,4	18,35			16,1	175
ADL							5,4				3,9	12
CB	4,6	(1,8-10,0)	9,1	(8,7-12,2)	22,9	4,1	14,9	11,95	37,1	2,1	12,7	137
Sucres	3,8	(0,2-18,8)					8,8	6		3,2	21,3	357
Tanin, mg/100 g MS			3,2	(2,3-4,0)			0,2					
Oxalte, mg/100 g MS							308			363	780-2600	
HCN, mg/kg MS	327,7	(14-3274)	545	(128-1427)	545		308			363	780-2600	
Références	1,2,3,4, 5,6		7, 8, 9, 10,11			12	13,14,15,16			17	18	18

Références bibliographiques : 1 (Sanchez et al., 2009), 2 (Gomez and Valdivieso, 1983), 3 (Garcia and Lebouté, 1979), 4 (Garcia and Dale, 1999), 5 (Sanchez et al., 2009), 6 (Ly, 1998), 7 (Hang and Preston, 2005), 8 (Dung et al., 2005), 9 (Quynh Tram and Preston, 2004), 10 (Ping and Tang), 11 (Borin et al., 2005a), 12 (moyenne de 38 valeurs) (Ly, 2009), 13 (Farell et al., 2000), 14 (Woofle, 1992), 15 (An et al., 2003), 16 (Dominguez and Ly, 1997), 17 (Huang et al., 2007), 18 (Leterme et al., 2005)

tubercules. Sous l'effet d'un stress de culture (sécheresse, etc.), une variété dite douce peut devenir une variété amère. La récolte des feuilles peut être réalisée soit au moment de la récolte des racines, soit après seulement 4 mois de culture en pratiquant une défoliation partielle de la plante. Même si les modalités peuvent varier d'une région à l'autre, cette opération peut être répétée tous les 3 à 4 mois sans affecter le rendement de production des racines. Le rendement de récolte en feuilles peut alors atteindre 4,6 t MS/ha (Ravindran et al., 1987). Avec une irrigation adéquate, un apport régulier de fumure, ce rendement peut s'élever pour atteindre 21 t MS/ha (Ravindran, 1993).

2- Composition chimique

La racine de manioc étant l'une des principales sources amylacées pour l'alimentation humaine dans les pays tropicaux, et, par conséquent, sa composition est largement décrite dans la bibliographie. En moyenne, la racine de manioc contient 66 % d'eau avec de grandes variations selon le stade et les conditions de récolte mais également selon le cultivar (Tableau 7). La teneur en amidon représente en moyenne 84,5 % de la MS, mais peut être également très variable selon les conditions de cultures. Comparé aux autres racines ou fruits tropicaux, l'amidon de manioc est assez facilement hydrolysable (Figure 1). Cette vitesse d'hydrolyse varie selon le traitement (crue > farine) et s'explique par une plus forte proportion d'amylopectine et une faible proportion d'amylose dans l'amidon digéré par rapport à d'autres produits comme la patate douce ou la banane verte. La teneur en amidon augmente avec le stade de récolte (+20% entre le 6^{ème} et le 9^{ème} mois ; (Ly, 2009)). La racine de manioc contient très peu de protéines (1 à 5 % de la MS) ; le profil en AA est caractérisé par une teneur très faible en lysine (0,26 g/100 g de protéines), en AA essentiels comme la leucine et particulièrement en AA soufrés (Gomez and Noma, 1986; Ngudi et al., 2003) (Tableau 8). En moyenne, la racine de manioc contient très peu de fibres (NDF entre 3,0 et 5,2 % MS). Ces parois végétales sont localisées principalement dans la peau du tubercule. Les tubercules de manioc sont surtout considérées comme des ressources énergétiques avec une EB aussi élevée que les céréales comme le maïs 16,5 MJ/kg MS (Perez et al., 1981; Ly, 1998), classiquement utilisé dans l'alimentation porcine.

Les feuilles de manioc contiennent près de 10 % de MM et ont pour caractéristique d'être riches en vitamines et en macro-minéraux (calcium et potassium) (Tewe et al., 1984). Les feuilles de manioc ont une forte teneur en parois végétales (NDF 39,5-58,1 % MS)

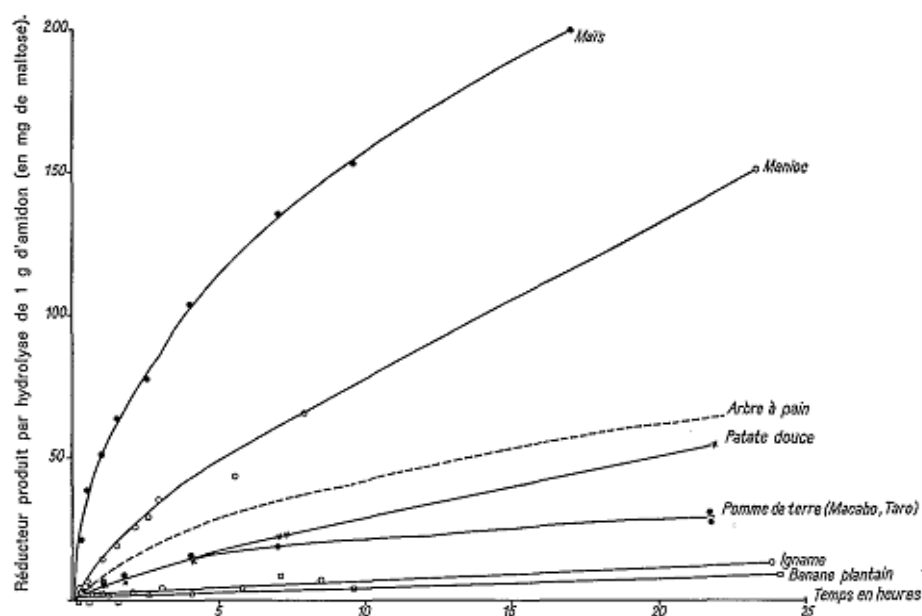


Figure 1. Cinétique de l'hydrolyse par l' α -amylase bactérienne d'amidons crus de différentes origines (Favier, 1969)

Tableau 8. Profils en acides aminés des tubercules et feuilles des plantes duales : *Manihot esculenta*, *Ipomea batatas*, *Colocassia esculenta* en comparaison avec celui du tourteau de soja

	Tourteau de soja ¹	<i>Manihot esculenta</i>		<i>Ipomea batatas</i>		<i>Colocassia esculenta</i>	
		Tubercule ²	Feuilles ³	Tubercule ⁴	Feuilles ⁵	Tubercule ⁶	Feuilles ^{7†}
MAT, % MS	51,6	3,80	26,40	4,40	26,80	6,39	24,00
Lysine, % MAT	6,10	0,26	5,60	0,18	4,30	0,23	5,60
AA, % lysine							
Arginine	1,21	2,64	1,05	1,00	1,21	0,05	0,89
Histidine	0,44	0,50	0,34	0,41	0,49	0,23	0,34
Isoleucine	0,75	0,67	0,75	0,78	0,86	0,81	0,66
Leucine	1,21	0,95	1,35	1,33	1,98	1,74	1,33
Méthionine	0,23	0,32	0,27	0,39	0,28	0,14	0,32
Phénylalanine	0,82	0,60	1,02	0,90	1,63	1,16	0,83
Thréonine	0,64	0,64	0,71	0,78	1,19	0,94	0,75
Tyrosine	0,54	0,39	0,71	-	0,95	0,63	0,52
Valine	0,79	0,81	0,95	1,00	1,32	1,08	0,86

Références bibliographiques : 1 (Sauvant et al., 2004), 2 (Ping and Tang), 3 (An et al., 2004), 4 (Just et al., 1983), 5 (Phuc and Lindberg, 2000), 6 (Huang et al., 2007), 7 (Leterme et al., 2005)

† Profile en acide aminé pour le genre *Xanthosoma sagittifolium*

(Tableau 7) ayant elles mêmes une très forte teneur en lignine (rapport Acid detergent lignine (ADL)/NDF # 30 %). Compte tenu de leur bonne teneur en protéines (16,7 à 39,0 % de MS), les feuilles de manioc sont potentiellement une source azotée intéressante pour le porc. Selon Eggum (1970), 15 % de la protéine contenue dans les feuilles est liée aux parois végétales et, par voie de conséquence, n'est pas ou peu digestible par le porc. En moyenne, la feuille de manioc contient 5,6 g de lysine/100 g de protéines et le profil en AA (exprimé en % de la lysine) est assez proche de celui du tourteau de soja (Tableau 8). Comme pour les racines, cette composition peut être extrêmement variable en fonction des conditions de culture (caractéristiques du sol..), mais également du stade de récolte (Eggum, 1970). Une récolte précoce améliore la teneur en protéines en réduisant la teneur en fibre, mais a un effet négatif sur le rendement de production en racines (Rogers and Milner, 1963).

Le manioc comme de nombreuses plantes tropicales contient des métabolites secondaires qui, le plus souvent, sont des facteurs antinutritionnels pour l'animal (Van Soest, 1994). Les racines et les feuilles de manioc contiennent des glycosides cyanogénéniques ou des cyanolipides. Parmi eux, la linamarine et lotaustraline sont des composés qui, une fois hydrolysés par la linamarase, se transforment en HCN qui est toxique pour l'homme ou l'animal (Atibu Kazinguvu, 2004). La teneur en cyanogènes des tubercules de manioc se situe normalement entre 15 et 400 mg de HCN/kg de poids frais et celle des feuilles entre 300 et 1500 mg de HCN/kg de poids frais. La concentration varie largement entre les variétés et conditions écologiques et culturelles (Gomez et al., 1984). De plus, l'HCN est répartie de manière hétérogène au sein même de la plante, la teneur en HCN étant beaucoup plus élevée dans la peau (écorce) de la racine que dans la chair (Gomez and Valdivieso, 1983). L'HCN, une fois formée, dégage une forte odeur et donne un goût amer au manioc, ce qui diminue l'appétence du manioc chez le porc. Même si les seuils de sensibilité du porc envers l'HCN ne sont pas bien décrits, il semble qu'au dessus de 50 mg/g d'HCN, le risque de toxicité pour l'animal existe. Au-delà d'une concentration de 100 mg/g, la consommation est considérée comme dangereuse (Bolhuis, 1954).

3- Modalités d'utilisation du manioc

De part la présence de précurseurs d'HCN dans les variétés amères, les feuilles ou les racines de manioc doivent subir un traitement avant d'être utilisées dans l'alimentation du porc. De

Tableau 9. Efficacité des différents moyens de détoxification de l'acide cyanhydrique présent dans les racines et feuilles de manioc (*Manihot esculenta*)

Plante	Procédé*	Durée (j)	HCN initiale (mg/kg MS)	HCN finale (mg/kg MS)	Réduction (%)	Références
Feuilles + Petioles	S	3	545	203	63	(Borin et al., 2005a)
	E	60	545	122	78	
	S	1	1197	626	48	
Bas de la plante	S	1	1435	393	73	
Feuilles	R	-	1427	1202	16	(Hang and Preston, 2005)
	RC	-	1427	1124	21	
	RCS	1	1427	252	82	
Feuilles	E	30	862	44	95	(Chinh and Ly, 2001)
	E	45	862	35	96	
	E	60	862	32,5	96	
	S	1	862	285	67	
	S	2	862	105	88	
	S	3	862	90,5	90	
Feuilles	S	-	762	59	92	(Phuc et al., 1996)
	S	-	762	86	89	
	S	-	762	28	96	
	S	-	762	255	67	
	E	-	762	250	67	
Feuilles	E	30	773	649	16	(Nguyen Thi Hoa, 2006)
	E	60	773	393	49	
	E	90	773	231	70	
Racines moulues	E	30	109	76	30	(Loc et al., 1997)
	E	60	109	64	41	
	E	90	109	61	44	
Racines coupées	E	30	111	88	21	(Le Duc et al., 1996)
	E	60	111	71	36	
	E	90	111	68	39	

* C=Coupé, E=ensilé, R=Rincé, S=séché

nombreux procédés de détoxification sont rapportés dans la littérature pour réduire la teneur en glycosides. Dans certains cas, ces techniques (séchage, ensilage) peuvent permettre en plus de conserver sur le long terme les tubercules ou les feuilles de manioc produit. Le séchage consiste à étaler les racines (broyées ou coupées en cossettes) ou les feuilles de manioc directement au soleil ou dans des séchoirs utilisant l'énergie solaire ou éolienne. Dans les régions tropicales humides, l'ensilage de racines ou de feuilles peut être également une bonne solution de détoxification et de stockage (Gomez et al., 1988). Le pouvoir de détoxification varie selon la technique (Tableau 9). Globalement, le broyage avant séchage ou l'ensilage sont les solutions qui paraissent être les plus efficaces. Les autres techniques existantes ne sont que des variantes des deux premières décrites ci-dessus, avec des étapes préalables de grattage de l'écorce, de découpage de la racine ou de broyage des feuilles. En fait, un traitement mécanique (broyage, découpage...) permet de réduire significativement la teneur en HCN (Tewe, 1992a). Une fois séchés, les tubercules ont une valeur énergétique légèrement inférieure à celle des céréales 15,6 vs. 16,4 MJ/kg de MS (Perez et al., 1981; Ly, 1998). Compte tenu du fait que l'écorce est beaucoup plus riche en parois végétales que la chair (10 vs. 2 % NDF/100 g MS ; (Gomez et al., 1983)), le pelage de la racine de manioc permet d'améliorer sensiblement sa teneur en énergie et son coefficient de digestibilité. Les tubercules de manioc peuvent être utilisés chez le porc à tous les stades. Comme le manioc contient environ 2 à 4 fois moins de protéines que le maïs ou le blé, le taux de substitution avec les céréales n'est pas de 100 %. En croissance-finition, il est possible de remplacer jusqu'à 60 % des céréales de la ration par du manioc séché. Le taux d'incorporation varie donc en fonction du stade de croissance du porc, mais aussi de la forme de distribution. La farine est considérée comme moins encombrante chez le porc comparativement aux cossettes. (Sola-Oriol et al., 2009).

Un certain nombre de travaux a déjà été réalisé sur les feuilles de manioc pour voir dans quelle mesure sa forte teneur en protéine pourrait être valorisée chez le porc. Généralement, une incorporation croissante de farine de feuilles de manioc dans un régime à base de racines de manioc entraîne une diminution linéaire de la digestibilité fécale de la MO et de la protéine chez le porc en croissance (Sarwat et al., 1988) ; (Phuc et al., 1996) ; (Phuc, 2000) ; (Agunbiade et al., 2004). Cette moindre digestibilité de la feuille de manioc est principalement expliquée par la forte teneur en parois végétales très lignifiées (Ravindran, 1993). En particulier, la présence de complexes entre les protéines et les parois végétales rend les protéines inaccessibles aux enzymes digestives. En moyenne, seulement 40 % de l'énergie

Tableau 10. Synthèse des résultats de la bibliographie sur l'utilisation des racines de manioc (*Manihot esculenta*) pour l'alimentation du porc

Forme de distribution	Taux d'incorporation, % MS	Poids vif, kg	GMQ, g/jour	IC, kg/kg	Références
Granulées	25	8-23	352	1,22	(Wu, 1991)
	40	8-23	451	1,23	
Ensilées	0	18-90	588	3,52	(Loc et al., 2000)
	20	18-90	591	3,54	
	40	18-90	567	3,56	
	60	18-70	428	4,16	
Farine	40	–	666	3,84	(Jiménez et al., 2005)
	60	–	688	3,62	
	15	–	480	2,93	(Sonaiya and Omole, 1983)
	30	–	500	2,4	
	60	–	480	2,92	
	Farine	0	30-40	565	2,15
25		30-40	450	2,67	
50		30-40	359	3,36	
25		30-40	482	2,51	
50		30-40	406	2,99	
Farine + pellure	0	10-30	220	5,09	(Lyayi and Tewe)
	40	10-30	260	6,72	
Farine + pellure	40	–	391	2,31	(Akinfala and Tewe, 2001)
	60	–	384	2,35	

facteurs antinutritionnels contenus dans les feuilles de manioc, permet d'améliorer le coefficient de digestibilité de l'azote (Akinfala and Tewe, 2004). Ces résultats montrent donc que des éléments de la ration autres que les parois végétales peuvent également expliquer une part de la faible digestibilité de l'azote dans les feuilles de manioc. Compte tenu de sa forte teneur en parois végétales et de la présence potentielle d'HCN, l'introduction de farine de feuilles de manioc peut limiter l'ingestion de MS par le porc. D'après Quynh Tram et Preston (2004), l'ingestion de feuilles de manioc (exprimée en g MS/j) n'est pas améliorée en changeant la forme de distribution (fraîche ou farine), ce qui semble montrer que la présence d'HCN ne permet pas à elle seule d'expliquer la faible ingestibilité des feuilles de manioc. La forte teneur en fibre et son effet sur l'encombrement du tube digestif seraient donc un des facteurs clés de la faible ingestibilité des feuilles du manioc. En pratique, l'introduction de feuilles de manioc dans la ration doit être raisonnée en complément d'une source d'énergie très fortement « ingestible » comme le jus de canne (Borin et al., 2005b). D'après Hang (Hang, 1998) les performances de croissance seraient les mêmes pour des porcs nourris avec un même régime de base, mais des feuilles différentes ; 15 % de feuilles de manioc serait tout aussi efficace que 20 % de feuilles de patates douces distribuées en frais ou 10 % de feuilles de lentilles d'eau. Cette différence provient uniquement des profils en acides aminés différents pour chaque feuille, ainsi que du taux de fibre qu'elles apportent à la ration. L'utilisation d'un régime contenant 15 % de protéines permet d'améliorer les performances de la truie reproductrice (Nguyen Thi Hoa, 2006).

B- La patate douce (*Ipomea batatas*)

1- Description

La patate douce est une plante vivace de la famille des *Convolvulacées*. Elle est largement cultivée dans les régions tropicales et subtropicales pour ses tubercules comestibles. Elle se situe au 3^{ème} rang mondial des plantes à tubercules après la pomme de terre et le manioc. Aujourd'hui, la patate douce est cultivée dans plus d'une centaine de pays, la Chine étant le principal producteur avec presque 100 millions de tonnes produites par an. En zone tropicale, la patate douce se cultive toute l'année avec un cycle de culture court compris entre 4 et 5 mois. Aux Antilles françaises, la patate douce est cultivée dans le cadre d'une agriculture vivrière (5130 t/an en Guadeloupe, 1840 t/an en Martinique).

et 37 % de la protéine contenues dans les feuilles de manioc est effectivement digérées par le porc (Phuc et al., 2001). Par ailleurs, l'ajout de substances pouvant chélater les tanins et autres. En moyenne, le rendement de production de tubercules de patate douce varie de 3 à 7 t MS/ha/cycle (Ruiz et al., 1980). La productivité des feuilles de patates est de l'ordre de 4 à 6 MS/t/ha (Duyet et al., 2003). Ces rendements peuvent varier selon les conditions pédoclimatiques (Hartemink et al., 2000), mais aussi selon les pratiques culturales (cultivars, fertilisation) et le nombre de défoliations par an ou encore l'âge à la récolte (Hartemink et al., 2000). Les tubercules et feuillages peuvent être utilisés pour l'alimentation humaine ou animale. Au Vietnam, la patate douce (feuilles + tubercules ou issus de tubercules) est la principale ressource alimentaire dans des systèmes de production porcins et joue un rôle économique important pour les petits producteurs (Peters, 1998).

2- Composition chimique

La composition chimique du tubercule de patate douce est rapportée dans de nombreux travaux. A partir de données issues de 38 études, la teneur en moyenne en MS du tubercule est d'environ 30 % mais est extrêmement variable d'une étude à l'autre (19 à 40 % ; Tableau 7). Le tubercule de patate est très riche en amidon (86 % en moyenne). Comme pour le manioc, la teneur en protéines de la patate est relativement faible (5,1 % en moyenne) et variable en fonction des variétés. En moyenne, les teneurs en énergie brute (EB) sont légèrement plus faibles que celles du maïs (16,5 MJ vs. 18,7 MJ/kg (Sauvant et al., 2004)). La patate douce contient des facteurs antinutritionnels ayant une activité anti-trypsique qui peuvent diminuer la digestibilité de l'azote chez le porc (Ly, 2009). La concentration de ces inhibiteurs de trypsine sont très variables d'une variété à l'autre de 0,6 à 8,1 mg/g pour les variétés cultivées à Taiwan et de 0,3 à 22,1 mg/g pour les variétés cultivées en Nouvelle Guinée (Ly, 2009).

Contrairement aux tubercules, la feuille de patate est beaucoup moins bien caractérisée chimiquement. La composition chimique varie selon que l'on considère la feuille ou la tige seule, ou on que l'on regroupe les deux dans un même échantillon. La teneur en MS de la feuille de patate est sensiblement plus faible que celle des feuilles de manioc (16 vs. 25 % en moyenne). Sur un total de 15 variétés de patate douce récoltées au Vietnam, (An et al., 2003) montrent que les teneurs en MS et en MAT des feuilles sont généralement plus élevées que celles des tiges (respectivement 11,3 vs. 16,1 %, 11,5 vs. 28,2 %). En moyenne, sur 3 études, la teneur en MM varie entre 11 et 18 % pour la feuille ou pour l'ensemble feuille + tige

(Tableau 7). Ces MM sont composées principalement de magnésium (340 mg/100 g), de calcium (28,4 mg/100 g) et de phosphore (37,3 mg/100 g) (Antia et al., 2006). Les feuilles de patates sont connues pour être une bonne source de vitamines (A, B2, C et E ; (An et al., 2004)). La feuille de patate est riche en NDF (27 à 50 %) et en protéines (19 à 29 %). Comme pour les autres feuillages, cette grande variabilité dans la composition chimique s'explique par une grande diversité des pratiques culturales, de la variété utilisée, du climat, et de l'âge et de la fréquence des récoltes (An et al., 2003). La teneur en lysine est en moyenne de 4 g/100 g MAT et le profil en AA (exprimé en % de la lysine) est relativement bien équilibré par rapport aux besoins du porc. La feuille et surtout la tige de la patate présentent la caractéristique d'être riches en sucres (6 à 8 % pour la feuille et > 10% pour la tige) ce qui les rendent très appétentes chez le porc. Comme pour les autres feuillages tropicaux, la présence de tanins (polyphénols et tanins condensés) est également mentionnée pour la feuille de patate mais les données à ce sujet sont relativement rares. Antia et al (2006) montrent que la feuille de patate contient principalement des cyanides, des tanins condensés et de l'acide oxalique.

3- Modalités d'utilisation de la patate douce

La patate douce (tubercules et feuilles) est utilisée dans l'alimentation animale dans de nombreux pays de la zone tropicale. Le plus souvent, les racines sont données aux monogastriques et les feuilles au ruminants. Dans le cadre de systèmes d'élevage intégré, les feuilles peuvent également servir comme source de protéines pour les monogastriques (porcs et poulets).

Les tubercules sont utilisés comme source d'énergie dans l'alimentation du porc et peuvent être distribués sous différentes formes (fraîche, ensilée, farine, broyée, ou cuite). La cuisson permet d'améliorer nettement la digestibilité de l'azote (+ 25,2 %), en réduisant la teneur en facteurs antitrypsiques et dans une moindre mesure, elle augmente également celle de l'énergie (3,7 %), en améliorant la sensibilité de l'amidon vis-à-vis de l' α amylase (Canope and Le Dividich, 1977). Des résultats similaires sont rapportés par Corring et Rettagliati (1969). Dans cette étude, le broyage de la patate douce crue ne permet pas d'améliorer l'efficacité de l'utilisation digestive de l'énergie et de la protéine. L'ensilage de tubercules de patate est une méthode qui permet de réduire sensiblement la teneur en facteurs antitrypsiques. Généralement, l'ensilage est réalisé en mélangeant de la patate douce avec des céréales et des sons (Liu et al., 2004) ou avec des feuilles de patate (Giang et al. 2004).

L'ensilage présente l'avantage d'offrir une possibilité de conservation à moyen terme (3-4 mois) des tubercules de patate sans affecter leur valeur nutritionnelle. Au contraire, la teneur en amidon tend à augmenter et la teneur en cellulose brute (CB) à diminuer entre le 1^{er} et le 3^{ème} mois de stockage (respectivement, +4.4 et -1.6 % ; Lin et al), ce qui a un effet positif sur la teneur en ED du produit ensilé (Tomita et al., 1985) . Les teneurs en énergie nette de la farine de patate douce ont été mesurées par Wu(Wu, 1980) et (Noblet et al., 1990) (respectivement 8,5 et 12,3 MJ EN/kg MS). Cette variation très importante entre les deux études s'explique d'une part par la méthode utilisée pour mesurer la teneur en énergie nette et d'autre part par des différences de variétés de patates utilisées dans ces études ; les teneurs en protéines et en parois végétales sont plus élevées dans l'étude de Wu (1980) que dans l'étude de Noblet et al. (1990). Bien que cette information ne soit pas disponible dans les publications, il est probable que la teneur en facteurs antitrypsiques dans les tubercules de patates était nettement supérieures dans l'étude de Wu et al., (1980)

Contrairement aux tubercules, l'utilisation des feuilles de patate dans l'alimentation du porc est beaucoup plus récente. Dominguez (1992) indique que l'incorporation de feuilles et tiges de patate douce (environ 10 % de la MS) dans un régime de base composé de racines de patate cuites et de tourteau de soja, diminue la digestibilité de tous les nutriments de la ration chez le porc en croissance. Dans la littérature, les digestibilités de l'énergie ou des protéines des feuilles de patate douce distribuées sous forme de farine sont très variables (respectivement 40 à 70 % et 20 à 50 % Tableau 7). Pour des feuilles ensilées, la digestibilité moyenne des protéines est de 47 % selon Giang et al (2004). Dans cette étude, les performances de croissance des porcs diminuaient régulièrement avec l'augmentation du taux d'incorporation des feuilles de patate douce dans un régime à base de maïs et soja (-130 g/j pour le GMQ avec 60 % de feuilles sous forme de farine ou ensilées dans la ration). De par sa faible concentration en énergie et protéines digestibles (par rapport au maïs ou au soja), l'incorporation de feuilles de patate dilue la valeur nutritionnelle de la ration, ce qui peut expliquer ces faibles croissances. La forme de la distribution des feuilles de patate ne semble pas avoir d'effet sur les performances du porc. Le Van An et al. (2005) obtiennent des performances de croissance similaires en utilisant soit de la farine, soit de l'ensilage de feuille de patate douce incorporés à 30 % dans la ration (GMQ moyen de 430g g/j). Lorsque la feuille de patate est comparée à la feuille de mûrier pour un même taux d'incorporation dans la ration (25 %), les performances de croissance sont supérieures (+ 26 % pour le GMQ) avec les feuilles de patate douce (Phiny et al., 2010). Cet effet est principalement expliqué par une

meilleure ingestibilité de la feuille de patate par rapport à celle du mûrier. D'après Gonzalez et al. (2003), les feuilles de patate seules pourraient être ingérées en quantité suffisante pour couvrir les besoins protéiques d'un porc en croissance. Pourtant au dessus de 30% de substitution du tourteau de soja par des feuilles de patate douces, une baisse la vitesse de croissance est observée chez les porcs, malgré une ingestion croissante de la ration.

C- Le madère (*Colocasia esculenta* ou *Xanthosoma*)

1- Description

Le madère du genre *Colocasia*, appartient à la famille des Araceae, qui regroupe des plantes herbacées aux grandes feuilles originaires des régions tropicales. Sous l'appellation « madère », « taro », « cocoyam » ou autre nom « dashine ». L'autre genre majoritaire est *Xanthosoma sagittifolium* qui est couramment utilisée dans l'alimentation animale. La distinction entre ces deux genre se fait surtout au niveau racinaire, où la production de tubercules est plus importante pour *Xanthosoma*. La distinction peut aussi être fait visuellement à partir des feuilles qui sont sagittées chez *Xanthosoma* et peltée chez *Colocasia*. Le madère est une plante assez rustique qui pousse naturellement à l'état sauvage le long des rivières ou qui peut être cultivé dans les plaines. Les feuilles de madère peuvent être récoltées plusieurs fois dans l'année pour obtenir des rendements allant jusqu'à 250 t/ha (feuille et pétiole compris), si l'apport d'eau n'est pas limitant (Hang and Preston, 2010). Cependant, la culture de madère reste encore marginale en comparaison aux autres plantes vivrières comme le manioc ou l'igname. Ceci est principalement dû à son faible rendement pour la production en tubercules. Selon les données de la FAO (FAO, 2009), moins de 20 pays sont considérés comme producteurs de madère dans le monde, les premiers étant la Chine avec 17 mt/an, suivi du Ghana avec en 15 Mt/an et du Cameroun avec 12 mt/an.

2- Composition chimique

Quelque soit la variété de madère considérée, *Colocasia esculenta* ou *Xanthosoma sagittifolium*, la composition chimique diffère peu d'un genre à l'autre. La littérature fait peu de référence à l'utilisation des racines. Traditionnellement, la petite quantité de racine produite sert d'abord, à l'alimentation humaine, et seuls les déchets peuvent être récupérés pour l'alimentation animale. Comme nous l'avons décrit avant, certaines variétés comme

Colocasia ne produisent pas de tubercules. Pour toutes ces raisons, l'utilisation de tubercules de madère comme source d'énergie n'a pas été abordée dans ce paragraphe.

En moyenne, la feuille de madère se caractérise par une faible matière sèche mais qui peut varier énormément de 7 et 16 % si l'on considère ou non le pétiole. Les teneurs en MAT sont généralement comprises entre 20 et 30 % de la MS et les teneurs en fibres peuvent atteindre jusqu'à 31 % de la MS (Leterme et al., 2005) (Tableau 7). Les feuilles de madère sont aussi connues pour être riches en sucre 10 % MS (en particulier dans les tiges) et en calcium (Tiep et al., 2006). Les feuilles de madère ont la particularité de contenir de l'acide oxalique. La teneur en cristaux d'oxalate de calcium est très variable selon le genre et l'espèce (700 à 2600 mg/100 g MS). La présence de ce métabolite secondaire explique en grande partie le goût âcre et l'irritation qu'il provoque lorsque les feuilles du genre *Colocasia* ne sont pas traitées (Hang and Preston, 2010). Il semblerait au contraire que la présence de ce métabolite dans les feuilles du genre *Xanthosoma* ne soit pas irritant ou en moindre mesure. Cette différence viendrait de la forme des oxalates présents dans la plante (Sefa-Dedeh and Kofi-Agyir Sackey, 2002). Selon Hang et Preston (2010), l'oxalate précipiterait le calcium de la feuille pour le rendre inassimilable par l'animal. Le pétiole est plus riche en acide oxalique comparativement à la tige (Hang and Preston, 2010). Oke (1967) a analysé en détail le rôle de l'oxalate dans la nutrition, y compris son rôle éventuel dans l'oxalurie et la lithiase rénale. Le côté irritant des cultivars de madère à forte teneur en oxalate peut être réduite par l'épluchage, le râpage, le trempage et la fermentation (ensilage). Hang et Preston (2010) ont testé l'efficacité des différents procédés pour réduire les teneurs en acide oxalique des feuilles de madère. D'après cette étude, l'ensilage et la cuisson restent les deux procédés les plus efficaces avec une baisse de 54 % en moyenne de la concentration en oxalate comparativement au séchage et au trempage qui diminuent seulement la concentration en acide oxalique de 21 et 25 %.

3- Modalités d'utilisation des feuilles de madère

En moyenne, 75,2 % et 69,7 % de l'énergie et des protéines des feuilles de madère (distribuées sous forme de farine) sont digérés par le porc (Leterme et al., 2005). Ces valeurs sont confirmées par les travaux de Buntha et al. (2008b). Lorsque la totalité du tourteau de soja est remplacée par un mélange homogène de feuilles de *Colocasia* ensilées et de feuilles d'*Ipomea batatas*, la digestibilité de la protéine de la ration diminue de 21,6 % (Malavanh et al., 2008). D'après Hang et Preston (Hang and Preston, 2009), la forme de distribution (cuite

Tableau 11. Synthèse bibliographique sur les effets de l'utilisation des feuilles de madère (*Colocasia esculenta*) sur les performances du porc en croissance

Forme de distribution	Taux d'incorporation, % MS	Poids vif, kg	GMQ, g/jour	IC, kg/kg	Références
Fraîche	20,0	11-65	443	3,43	(Ngo Huu and Preston, 2010)
Cuite	20,0	11-72	498	3,18	
Ensilée	20,0	11-77	541	3,07	
Ensilée	10,0	19-60	750	2,33	(Hang and Preston, 2010)
	20,0	18-52	720	2,37	
	30,0	19-49	590	3,05	
Ensilée	48,7	20-23	208	4,20	(Rodríguez et al., 2009)
	56,1	13-16	250	3,20	
	66,5	19-23	292	2,90	
	76,2	17-20	250	2,50	
	46,3	23-23	0	0	
	48,4	20-20	56	2,33	
	57,1	23-24	167	5,20	
Ensilée	20,2	21-45	278	4,69	(Buntha et al., 2008a)
	45,0	21-31	119	8,79	
Fraîche	34,7	22-56	524	3,67	(Rodriguez et al., 2006)
Ensilée	10,0	15-52	491	2,50	(Tiep et al., 2006)
	15,0	15-50	457	2,90	

ou ensilée) n'a pas d'effet sur la digestibilité de la MS et de la MO. En revanche, le choix du traitement influencerait significativement la digestibilité de la MAT et des fibres, avec des digestibilités pour la MAT des feuilles fraîches qui augmentent de 63 % à 73 et 77 % une fois ensilées ou cuites. Ces résultats sont confirmés par les travaux de Rodriguez et al. (2009) qui montrent une digestibilité pour les feuilles de madère lorsqu'elles sont ensilées de 66 % pour la digestibilité de la MS et 81 % pour celle de la MAT.

Une synthèse des travaux rapportant les effets de l'incorporation des feuilles de madère sur les performances de croissance du porc est rapportée dans le Tableau 11. En moyenne, pour des niveaux d'incorporation de madère dans la ration allant de 10 à 76 %, il est possible d'obtenir des GMQ variant jusqu'à 750 g/j. D'après le tableau 11, la relation entre le taux d'incorporation des feuilles de madère et les performances de croissance n'apparaît pas clairement. Cette variabilité dans les résultats s'explique par des effets liés aux animaux (type génétique, gamme de poids), la forme de distribution des feuilles de madère, mais surtout de la nature et de la composition des autres matières premières présentes dans la ration (régimes iso ou non azotés). Hang et al. (2010) fixent à 30 % la limite du taux d'incorporation de feuilles de madère ensilées dans la ration du porc en croissance. Au-delà de cette limite, ces auteurs rapportent une baisse des performances de croissance en relation avec une baisse de l'ingestion de la ration due à l'encombrement provoqué par les feuilles. L'étude de Buntha et al. (2008b) permet de confirmer cette baisse des performances de croissance à de forts taux d'incorporation de feuilles de madère (> 40 % MS). Au contraire, Rodriguez (2009) ne montre pas d'effets liés à l'introduction des feuilles de madère ensilées (de 48 à 76 %) sur les performances de croissance. Dans cette étude, il faut noter que le niveau des performances des porcs était vraiment faible. Plus généralement, pour des porcs ayant une croissance journalière de plus de 500 g/j, les feuilles de madère ne peuvent pas couvrir l'intégralité des besoins azotés de l'animal.

D- Conclusion

L'analyse des données de la littérature a permis de montrer que les feuillages tropicaux pouvaient être des ressources alimentaires intéressantes pour l'alimentation du porc.

En raison de la diversité de leurs compositions chimiques, la valeur nutritionnelle des feuillages tropicaux sont également très variables. La présence de fibres et particulièrement de fibres insolubles, ainsi que la présence de métabolites secondaires exercent un effet dépressif

sur la digestibilité de l'énergie et de la protéine. Par conséquent, l'introduction de feuillages tropicaux dans l'aliment entraîne une diminution quasi systématique de la digestibilité de l'énergie mais aussi de celle des protéines. L'étude bibliographique met également en évidence que l'effet des feuillages sur l'ingestion et l'utilisation digestive de l'aliment ne dépend pas uniquement de leur composition chimique, mais également de leur mode de distribution. Ainsi, l'ingestion mais aussi la digestibilité de ces feuillages s'améliorent si un traitement technologique est réalisé avant distribution (ensilage, séchage), et de la manière dont ils sont associés avec les autres composants de la ration.

Enfin, cette analyse de la bibliographie montre que de nombreux travaux sont encore nécessaires pour mieux caractériser notamment la valeur nutritionnelle des feuillages tropicaux mais également avec quelle facilité les animaux peuvent les consommer. En particulier, à notre connaissance aucun résultat n'est disponible sur la teneur en AA digestibles des feuillages tropicaux calculée à partir de leur digestibilité vraie.

Dans ce travail de thèse, nous avons réalisé un total de six expérimentations conçues pour permettre une caractérisation la plus complète possible des feuilles d'érythrine, de manioc, de patate douce et de madère dans l'objectif de les intégrer dans la ration des porcs dans le cadre de systèmes alternatifs. Les deux premières études ont consisté à mesurer la valeur énergétique et protéique des feuillages tropicaux. La troisième et la quatrième étude avaient pour objectif de mieux connaître la valeur énergétique des tubercules de manioc pour, au final, composer une ration complète à partir de produits (feuilles + tubercules) issus de la même plante (manioc ou patate douce) (étude 6). L'objectif de l'étude 5 était de caractériser l'ingestibilité des feuillages tropicaux chez le porc en fonction de la forme de distribution (frais ou sec).

TRAVAIL EXPERIMENTAL

INTRODUCTION A LA PUBLICATION 1 & 2

La première étape de notre travail de thèse a été de caractériser les feuillages tropicaux pour leur valeur énergétique (Etude 1) et protéique (Etude 2). Dans ces deux études, nous avons choisis d'étudier quatre types de feuilles : les feuilles de manioc, *Manihot esculenta*, les feuilles de patate douce, *Ipoméa batatas*, les feuilles de madère sauvage, *Colocasia esculenta* et les feuilles d'érythrine, *Erythrina sp.* Ces feuilles, en plus d'être disponibles en grande quantité en Guadeloupe ont l'avantage d'avoir des compositions chimiques très différentes et ainsi d'être une bonne représentation de la variabilité des produits que l'on peut trouver dans les régions tropicales. Pour le manioc et la patate, la valeur nutritionnelle des feuilles seules a été comparée à celle des feuilles + tiges (seulement dans l'étude 1). Dans l'étude 1, la digestibilité fécale de l'énergie et des nutriments et les effets de l'introduction des feuilles dans un régime sur le transit de l'animal et sur comportement alimentaire ont été déterminés dans un dispositif en carré latin (3 carrés latins 3×3 simultanés). Au total, six traitements ont été testés sur neuf porcs Créole mâle castré en croissance de 30 à 60 kg. Les feuilles ont été introduites dans un régime de base à un taux de 20% et la digestibilité de ces différentes feuilles a été déterminée par la méthode de différence décrite par Noblet et Shi (1994). Le transit alimentaire a été déterminé en utilisant un marqueur indigestible de la phase solide, l'ytterbium.

L'objectif de l'étude N°2 a été de déterminer la digestibilité iléale des AA de ces feuilles en utilisant une méthode de référence décrite par Stein et al. (2007). Pour des raisons liées aux contraintes expérimentales liées à ce type de protocole (aliment synthétiques, opération des animaux, dosage des AA) ce travail a été réalisé à l'UMR SENAH. Dans cette étude, nous avons utilisé pour cela cinq porcs mâles castrés de race Piétrain* (Large White*Landrace), d'un PV d'environ 35 kg et préparés chirurgicalement en anastomose iléo rectale termino-terminale sans préservation de la valvule iléo-caecale (Laplace et al. 1989). L'expérience est réalisée selon un dispositif expérimental de type carré latin 5*5 comprenant 5 régimes + 1 régime protéoprive afin de déterminer l'excrétion endogène basale de chaque animal en vue de la correction des valeurs de digestibilité apparente et du calcul des digestibilités "standardisées". Les feuilles sous forme de farine sèche sont mélangées à hauteur de 25 % au reste des constituants de la ration. La teneur en protéines est ajustée à 14 % par un ajout de caséine. Par la suite, la méthode par différence a aussi été appliquée pour estimer la digestibilité des AA des feuilles.

PUBLICATION 1

**Etude de la digestibilité des feuillages tropicaux de
manioc, patate douce, madère sauvage et érythrine
chez les porcs en croissance**

Digestive utilization of tropical foliages of cassava, sweet potatoes,
wild cocoyam and erythrina in growing pigs

C. Régnier, B. Bocage, H. Archimède, J. Noblet, D. Renaudeau

Abstract

Total tract digestive utilization of cassava (*Manihot esculenta*) leaves and leaves + stems, sweet potatoes (*Ipomoea batatas*) leaves and leaves + stems, cocoyam (*Colocasia esculenta*) leaves, and erythrina (*Erythrina glauca*) leaves was studied in 3 Latin -Square designs with a total of 9 castrated Creole growing pigs; each dried foliage was included at 20% in a basal corn-soybean meal diet (CS) and the difference method was used to calculate the nutritional value of each of the 6 foliages. Each diet was measured on 3 animals (9 for the CS diet). Rate of passage parameters of diets were also determined using a pulse dose of ytterbium. Mean retention time (MRT) in the gastrointestinal tract of pigs was shorter for diets including tropical foliages (30.3 h vs. 41.3 h for the CS diet) with a shorter MRT for cassava diets than for the other diets (22.6 vs. 34.1 h on average; $P < 0.01$). The pigs fed tropical foliage diets spent more time eating than pigs fed the CS diet (19.5 vs. 12.8 %, $P < 0.01$). The total tract digestibility coefficient of dietary energy was significantly reduced by the inclusion of tropical foliages (- 0.094 on average; $P < 0.05$). Similar results were reported for dietary crude protein (CP) (- 0.135 on average; $P < 0.05$), except for the cocoyam diet that did not differ from the CS diet. For cassava and sweet potatoes, the addition of the stems to the leaves did not significantly affect the total tract digestibility coefficients of crude protein and energy ($P > 0.05$). According to the difference method, the digestibility coefficient was - 0.350, 0.114, 0.210 and 0.539 for CP and 0.253, 0.311, 0.430 and 0.469 for energy for erythrina leaves, cassava products, sweet potatoes products and cocoyam leaves, respectively. The corresponding DE values were 6.75, 7.02, 7.47 and 8.61 MJ/kg DM for erythrina leaves, cassava products, sweet potatoes products and cocoyam leaves, respectively. The relatively low nutritional value of the foliages and the differences between foliages are related to the high lignin content in the dietary fibre fraction; the tannins content may also contribute to these variations. It is concluded that the high fibre content in addition to the presence of tannins are the main limiting factors of tropical foliages in pig nutrition with a subsequent low energy and protein value.

Keywords: cassava, sweet potatoes, cocoyam, erythrina, nutritive value, transit.

Introduction

A majority of livestock production in tropical countries comes from small scale mixed farming systems in which there is a close association between local animal breeds and local feed resources. In these systems, pigs have several important functions for the rural households generating cash income for rural households through market sales, providing manure for maintaining and improving soil fertility and converting undesirable and low-valued unconventional feed resources into highly desired foods. For feeding the pigs in tropical countries, cereals grains could be replaced by energy resources such as sugar cane, tubers (cassava, sweet potatoes and cocoyam) or oil products (palm) (Preston and Murgueitio, 1992). However, one of the limitations of all these alternative crops as sources of feed for livestock is the presence of antinutritional factors and the imbalance of nutrient and specifically their low protein content. In tropics, the main constraints of conventional protein rich meals (soybean or fish meals) are their high costs. Alternative sources of proteins including tropical peas (Mekbungwan, 2007; Bhat and Karim, 2009) and leaves of tropical trees, shrubs, cultivated plants (cassava, sweet potatoes, and cocoyam) or water plants could be used to partly or completely meet the protein requirements of the pigs (Preston, 2006; Rodriguez et al., 2009; Leterme et al., 2010). These products have generally a high biomass productivity and protein content, require low input for cultivation but contain a high fibre content which could limit their digestive and metabolic utilization in monogastric animal species (Wenk, 2001). Among all the tropical rich protein resources, foliages from cassava (*Manihot esculenta*), sweet potatoes (*Ipomoea batatas*), and erythrina (*Erythrina glauca*) and cocoyam (*Colocasia esculenta*), are known to be used in animal nutrition according to their relatively high protein content. Cassava, also called yuca or manioc, is a woody shrub of the Euphorbiaceae grown in tropical countries. The sweet potato is a dicotyledonous plant that belongs to the family Convolvulaceae. *Erythrina glauca* is a species of flowering tree in the legume family Fabaceae that has been introduced in many tropical countries. Taro is a common name for the corms and tubers of several plants in the family Araceae. Of these, *Colocasia esculenta* is the plant used of this article. However, despite the fact that numerous farmers use these plants for feeding pigs, very limited information is available on their actual nutritional value and how they can be used in pig nutrition.

The objective of the present study was to determine the fecal digestibility of energy and nutrients of cassava, sweet potatoes, wild cocoyam and erythrina foliages and to measure the effect of these tropical foliages on the rate of passage of the digesta through the

gastrointestinal tract and on the feeding behavior in growing local Caribbean pigs. These foliages were chosen because of their relative abundance in the Caribbean tropical regions and as models since they differ for their botanical origin and chemical composition.

Materials and methods

Harvest and treatment of tropical foliages

Cassava (*Manihot esculenta*) and sweet potatoes (*Ipomoea batatas*) foliages were harvested at local farms in Guadeloupe F.W.I. (lat. 16°N, long. 61°W) about 9 and 6 months after planting, respectively. The harvests were carried out from June to August 2009 and the foliages were transported to the INRA facilities. In total, approximately 150 and 250 kg of fresh cassava and sweet potatoes foliages were harvested and manually prepared into two forms: leaves (L) or leaves + stems (L+S). Wild cocoyam leaves (450 kg) were harvested at the INRA farm in Guadeloupe over several weeks. Leaves of erythrina trees (150 kg) were obtained from a bananas producer, erythrina trees being used as a windbreaker in the banana plantations in F.W.I. A schematic view of the tropical foliages used in the present experiment is given in Figure 1. The different foliages were sun dried for 24 hours before being ground with a hammer meal (Reich hammer mill, Germany) through a 5-mm mesh screen. Sun drying process has been described in details elsewhere (Régnier et al., 2010). Before using them, meals obtained from cassava leaves (CA_L), cassava leaves + stems (CA_{L+S}), sweet potato leaves (SP_L) or sweet potato leaves + stems (SP_{L+S}), erythrina leaves (ER_L) or cocoyam leaves (CO_L) were stored for a maximum of 3 months in an air-conditioned room at 25 °C and 80 % of relative humidity prior to the digestibility trial.

Experimental design and animal management

A total of 7 experimental diets composed of a basal corn soybean diet (CS) and 6 diets prepared with the CS plus 20% of each of the 6 foliages were formulated. There were 3 replicates for each experimental diet obtained in 3 Latin–Square designs (LS), the first LS for cassava (leaf and leaf + stem), the second LS for sweet potatoes products (leaf and leaf + stem) and the third LS with erythrina and cocoyam leaves; the CS diet was measured 3 times in each LS. Nine castrated male Creole pigs were used in three simultaneous 3 x 3 LS; within each LS, each pig received alternatively one of 3 experimental diets during 3 successive 20-day periods. The experiment started in 12 wk pigs (35 kg BW on average). Within each LS, animals were allocated to one of the 3 LS designs. The experimental design is summarized in

Table 1. Experimental design^{1,2}

Animal no.	1	4	7	2	5	8	3	6	9	
Period	1	CS	CA _L	CA _{L+S}	CS	SP _L	SP _{L+S}	CS	ER _L	CO _L
	2	CA _L	CA _{L+S}	CS	SP _L	SP _{L+S}	CS	ER _L	CO _L	CS
	3	CA _{L+S}	CS	CA _L	SP _{L+S}	CS	SP _L	CO _L	CS	ER _L
Latin square	1			2			3			

¹ Animals originated from 3 litters ; litter 1: animals 1, 2 and 3 ; litter 2, animals 4, 5 and 6 ; litter 3, animals 7, 8 and 9

² Diets: CS = corn soybean meal diet; CA_L = cassava leaves; CA_{L+S} = cassava leaves and stems; SP_L = sweet potatoes leaves; SP_{L+S} = sweet potatoes leaves and stems; ER_L = erythrina leaves; CO_L = cocoyam leaves

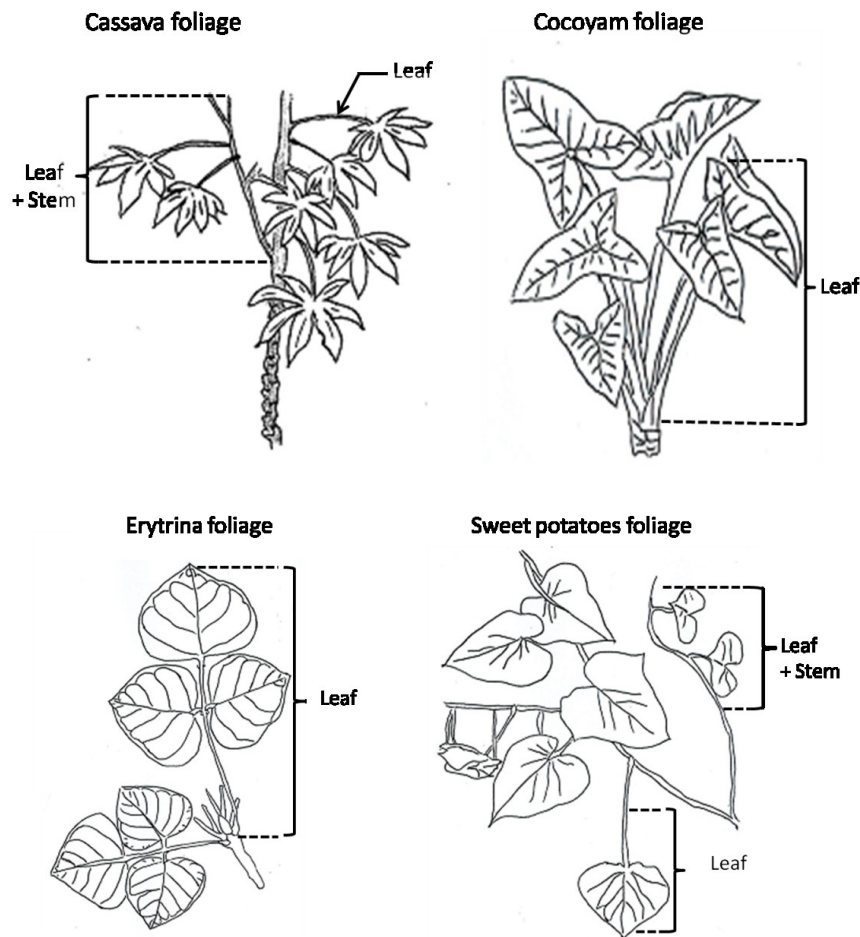


Figure 1. Description of the cassava, cocoyam, erythrina and sweet potatoes foliages used in the present experiment

Table 1. The diets were prepared every day (Table 4); the CS was prepared from a commercial control (95 %) soybean meal-corn diet (18.8 % of CP and 18.2 MJ GE/kg) and molasses (5 %). In the other dietary treatments, a constant part of the diet CS (200 g DM/kg DM) was replaced by cassava leaves (diet CA_L), cassava leaves and stems (diet CA_{L+S}), sweet potato leaves (diet SP_L) or sweet potato leaves and stems (diet SP_{L+S}), erythrina leaves (diet ER_L) or wild cocoyam leaves (diet CO_L) and mixed with the rest of CS. The chemical composition of foliages and diets are detailed in Tables 2 and 3.

The pigs were individually housed in a crate equipped for collection of faeces and urine. A tray under the feeder allowed recovery of feed spillage. During each experimental period, pigs were adapted to the diet for 8 days before a 12-day total collection of faeces and urine. During the first 8 days of collection, urines and faeces were collected daily and cumulated for each pig (digestibility sample). Measurement of the rate of passage occurred during the last 4-days of the collection period. The feeding level was fixed at 160 g DM/d/kg BW^{0.60} during all experimental periods. The diet was mixed with an equal amount of fresh water and distributed in one meal at 08:00. During the adaptation period, the quantity of foliage meal was increased gradually and mixed with the basal diet in order to reach the 20% inclusion level on the 5th day. All pigs had free access to water. Climatic parameters were not controlled and followed those of outdoor conditions.

Measurements

All the pigs were weighed at the beginning and at the end of the adaptation period, and at the end of the last collection period. Every morning, feed refusals and spillage were collected and dried to measure the DM content (at 65 °C for 96-h). One sample of each diet was also taken daily and pooled up to the end of the collection period for DM determination at 65°C for 96-h and further chemical analyses.

During the 8 day-collection period, all faeces and an aliquot of 10 % of the urine were daily collected, weighed and stored at 4°C until the end of the collection period. Sulphuric acid (0.1 N; 10 % v/v) was added to the daily urine in order to avoid ammonia losses during collection and storage. At the end of the collection period, faeces and urine were homogenized and representative samples were taken for chemical analysis: two samples of faeces were heat dried (48-h at 103°C) for DM determination and one was freeze-dried for the laboratory analyses. For each collection period, the feeding behavior was measured over one

day. The time budgets were determined visually according to the scan sampling method (Altmann, 1974). The behaviour (standing, sitting, lying, feeding, and drinking) was recorded at 5-min intervals over a 12-h period following the feed distribution.

During the last 4 d of the sampling period dedicated to the determination of passage rate, the following protocol was applied for the distribution of the diet: 1 g of ytterbium oxide (Yb₂O₃) was incorporated directly in 100 g of control diet and fed. When it was finished (=time 0 for Yb₂O₃), the rest of the meal was given. For each animal, a faeces sample was collected prior to Yb₂O₃ administration for determination of the zero level of marker in the feces. Subsequently, faeces of each pig were totally collected (transit samples) at 3, 5, 8, 11, 14, 19, 24, 27, 32, 35, 38, 43, 51, 56, 62, 72, 75, 80, 86 and 96-h after feeding the marker (Le Goff et al., 2002b). Each transit sample was weighed and frozen (-20°C) immediately after collection.

Chemical analyses

Feed and faeces samples were milled through a 1-mm screen prior to analysis. The refusals were also dried and the chemical composition analysed since they were composed of a variable mixture of the CS diet and foliage. Organic matter (OM) and nitrogen (N), ether extract (EE) and starch analyses of the foliages and the basal diet were performed according to the AOAC methods (AOAC, 1990). On the precedent sample (foliages and basal diet), free sugars content was determined according to Tollier and Robin (Tollier and Robin, 1979) and gross energy (GE) content using an adiabatic bomb calorimeter (IKA, C5000, Staufen, Germany). Dry faecal samples were analysed for DM, ash and crude protein (CP) and fresh samples of urine for N. Cell wall components (neutral detergent fibre, NDF; acid detergent fibre, ADF and acid detergent lignin, ADL) in feed and excreta samples were determined according to the Van Soest methods (Van Soest et al., 1991). The hydrocyanic acid (HCN) content in cassava products was determined using a common picric acid method described by Hogg and Ahlgren (Hogg and Ahlgren, 1942) in 6 samples (2 per collection period). For measuring the water holding capacity (WHC) on foliages and diets, 1 g of leaf meal was placed in a centrifuge tube with 20 ml of distilled water. After 16h of soaking at ambient temperature, the tubes were centrifuged (2000g, 50 min at 20°C) and kept 8 min before the supernatant water was discarded and the sediment (remaining water mixed with feed) was weighed (Leterme et al., 1998). The WHC (g of water / g of dry matter) was calculated as (weight of sediment - weight of tube) / (weight of feed DM in water - weight of tube). Finally,

the alkaloids, phenols, steroids and terpenoids were determined in all tropical foliage according to the method of Dohou et al. (Dohou et al., 2003).

At the end of the marker period, the transit samples were dried in totality at 103 °C for DM weight determination; the dried faeces transit samples were subsequently ground through 1-mm screen. A 0.5 g sub-sample of each transit sample was ashed (550°C, 8 h), digested in a solution of nitric acid (1.5 N) and analysed for Yb₂O₃ using an atomic absorption spectrophotometer. Yb₂O₃ was expressed as mg/g of DM (Manbrini and Peyraud, 1997).

Calculations and Statistical Analyses

Apparent digestibility coefficients (DC) of DM, OM, CP, ash, starch and energy were calculated for each pig over the first part of excreta collection period. Digestible energy content (DE) was estimated as the difference between measured GE and estimated energy losses in faeces (Noblet, personal communication)³. Metabolizable energy content (ME) of diets was calculated as the difference between DE and energy loss in urine estimated from N loss (g/d) according to the equation of Noblet and Le Goff (Noblet and Le Goff, 2001)⁴.

The quantity of Yb₂O₃ marker excreted during each faecal collection interval was calculated as the product of the concentration of the marker and the DM excreted during that interval. The cumulated amount of marker excreted over consecutive collection intervals was calculated for each pig. The single compartment model proposed by Pond et al. (Pond et al., 1986) was used to fit digesta passage data for pigs in the present experiment. This model combines a gamma-two distribution of residence times in a single age independent mixing compartment with a displacement compartment:

$$\text{for } t < \tau, M_{(t)} = 0$$

$$\text{for } t \geq \tau, M_{(t)} = C_0 (1 - (\exp^{-\lambda(t-\tau)} (1 + \lambda(t-\tau))))$$
, where :

$M_{(t)}$ = cumulative marker excretion at time t (mg),

C_0 = quantity of marker excreted during the interval from 0 to ∞ h (mg),

λ = time dependent rate parameter for compartment turnover,

t = time lapse between pulse dosing and the end of the respective collection interval (h),

τ = time delay between pulse dosing and first appearance of marker in faeces (or residence time due to displacement flow) (h).

³ Energy loss in faeces (MJ/kg DM) = 18.73 - 1.92 × A + 2.23 × EE + 4.07 × N, with A, EE and N for Ash, Ether Extract and Nitrogen contents in faeces (g/kg DM), R² = 0.93, RSD = 0.35.

⁴ Energy loss in urine (kJ/d) = 345 + 31.1 × N loss in urine (g/d), R² = 0.94, RSD = 110.

According to Pond et al. (1986), the parameters λ and τ can be used to calculate the mean residence time (MRT, h) of the marker in the gastrointestinal tract ($MRT = \tau + (2 / \lambda)$).

The model was then reparameterized as:

$$\text{for } t < \tau, M_{(t)} = 0$$

$$\text{for } t \geq \tau, M_{(t)} = C_0 (1 - [\exp^{(-2(t-\tau)/(MRT-\tau))} (1 + 2(t-\tau)/(MRT-\tau))]).$$

For each animal, the parameters τ and MRT and C_0 were estimated using the NLIN procedure of SAS (SAS, 2008). Conceptually, the model considers the MRT as the sum of the residence times of the marker in a displacement compartment (τ) and a mixing compartment (T), calculated as $T = MRT - \tau$. These compartments are defined in mathematical terms and they do not necessarily represent anatomical compartments. The recovery rate was also calculated as the ratio between total marker excreted (C_0) and total amount of marker incorporated.

The results were submitted to an analysis of variance (Proc GLM, SAS (SAS, 2008)) including the effects of diet (n=7), period (n=3), latin square (n=3) and animal (n=9). Comparison of means was performed according to the PDIFF option, using Tukey and option contrasts. Pearson correlations were calculated between the chemical composition of experimental diets and the feeding behavior parameters using the Corr procedure of SAS. The digestive utilization of the foliages was calculated according to the difference method (Noblet and Shi, 1994) and assuming that energy and nutrient digestibilities of the CS were identical in the CS and foliage diets.

Results

The chemical composition of the tropical foliages used in the present experiment is shown in Table 2. Starch concentration was low in all tropical foliages (1 g/100 g of DM), whereas free sugars content was higher and more variable (5 to 13 g/100 g of DM). The CP content differed between foliages with higher values for cassava and erythrina (29 g/100 g of DM on average) and lower values for sweet potatoes and cocoyam (19 g/100 g of DM on average). The four tropical foliages had a high fibre content (46 g NDF/100 g of DM on average) with a large proportion of lignin since the ADL component represented up to 50 g/100 g of NDF for cassava products. For cassava and sweet potatoes, the inclusion of stems

Table 2. Chemical characteristics of the tropical foliage meals

Item ¹	CA _L	CA _{L+S}	SP _L	SP _{L+S}	ER _L	CO _L
Dry matter (DM) of fresh product, %	25.0	28.0	14.0	16.0	24.0	8.0
DM of dried meal, %	86.8	82.6	84.0	86.1	90.5	87.4
Chemical composition², % DM						
Organic matter	90.1	90.2	85.8	83.4	90.0	84.6
Crude protein (Nx6.25)	30.0	30.6	20.6	18.7	28.7	16.9
Starch	0.9	0.3	1.2	1.7	0.9	3.1
Crude fat	3.9	3.7	2.7	2.2	3.2	4.4
Free sugars	4.6	7.5	9.0	6.7	7.7	13.2
Neutral detergent fibre	51.2	61.5	36.8	44.9	47.7	32.5
Acid detergent fibre	36.7	42.8	25.9	32.7	28.8	25.3
Acid detergent lignin	21.7	23.7	9.3	12.5	10.8	6.0
Gross energy, MJ/kg DM	20.57	19.75	17.67	16.91	19.62	17.96
HCN³, mg/kg DM³	25	25	-	-	-	-
WHC⁴ (g of water/g of DM)	3.8	4.9	5.4	5.2	5.4	5.0
Tannins (mg/100 mg DM)	2.3	2.6	1.5	2.3	3.1	0.8

¹ CA_L = cassava leaves; CA_{L+S} = cassava leaves and stems; SP_L = sweet potatoes leaves; SP_{L+S} = sweet potatoes leaves and stems; ER_L = erythrina leaves; CO_L = cocoyam leaves.

² Mean chemical composition from measurements on 4 samples per foliage.

³ The initial hydrocyanic acid (HCN) content of cassava products was 250 mg/kg fresh matter.

⁴ Water holding capacity.

Table 3. Phytochemicals in cassava (CA_L), sweet potatoes (SP_L), erythrina (ER_L) and cocoyam (CO_L) leaves¹

	CA _L	SP _L	ER _L	CO _L
Alkaloids	-	-	+++	-
Steroid & Terpenoids ²	-	-	-	-
Phenols	+++	+++	+++	+
Polyphenols	+++	+++	+++	-
Catechic tannins	+	++	+	-
Gallic tannins	++	++	+	-
Anthocyanidols	-	+	-	-
Flavonoids	++	++	+++	-
Quinones	++	-	++	+++

¹ +++ : abundant presence of constituents ; ++ : moderate presence of constituents ; + : minor presence of constituents ; - : absence of constituents

² Saponosids test (Dohou et al., 2003)

in the leaves increased the NDF content (61 vs. 51 and 45 vs. 37 g/100 g of DM, respectively). The lowest and the highest values of WHC were reported for CA_L and ER_L (4.3 and 5.8 g of water per g of DM, respectively). The WHC increased when stems were added to the leaves for CA and SP foliages. Polyphenols concentrations were variable according to the botanical origin of the foliage with the lowest value for cocoyam (0.8 mg/100 mg DM) and the highest value for erythrina (3.1 mg/100 mg DM). The screening for phytochemicals revealed the presence of various polyphenolic compounds in tropical leaves (Table 3). In comparison to the other foliages, a rather low polyphenols content was detected in cocoyam leaves. The presence of alkaloids compounds was detected only in erythrina leaves. The inclusion of tropical foliages in the experimental diet lead to a reduction in starch and an increase in WHC and in fibre (NDF, ADF, ADL) and polyphenols contents (Table 4).

According to the objectives of the experiment, the average pigs BW and DM consumption were not influenced by the dietary treatment (Table 5). The DC of DM, OM and energy were higher ($P < 0.01$) in the CS diet than in the foliage diets. Similarly, the CP apparent digestibility was lower in the foliage diets (0.645, 0.692, 0.707, and 0.716, for ER_L, CA_L, CA_{L+S}, and SP diets); however, the CO_L diet did not differ from the CS diet (0.817 and 0.850, respectively). Among the diets, the DC of energy was affected by the origin of foliage with a higher value for cocoyam diet (0.793) and lower values for cassava and erythrina diets (0.747 and 0.753, respectively). Intermediate values were reported for sweet potatoes diets (0.770 on average). The addition of stems to the leaves in cassava and sweet potatoes diets did not significantly affect the DC of OM and energy (Table 5). The effect of the excreta collection period on DC of DM and OM was significant with a higher value in period 1 than in the 2 other periods (0.789 vs. 0.770 and 0.803 vs. 0.790; $P < 0.05$). The results for the rate of passage measurements are reported in Table 7. The amount of dry faeces collected during the 4 days of transit measurements was significantly higher for the pigs fed diets with tropical foliages than those fed CS (334 on average vs. 230 g/d; $P < 0.001$). The recovery ratio of the marker averaged 86 % for the 27 measurements but was significantly affected by the dietary treatment ($P < 0.05$). The mean recovery of marker was lower for sweet potatoes products with an enhanced effect when stems were added to the leaves. However, within SP_L and SP_{L+S} treatments, all the values were of the same magnitude. When compared to the CS diet, the mean retention time (MRT) was lower for foliage diets (30.3 on average vs. 41.3 h for CS; $P < 0.05$). Among the foliage diets, MRT was longer for SP_{L+S}, ER_L and CO_L diets than for cassava products (35.8 h on average vs. 21.8 h on average; $P < 0.05$). Intermediate values were

Table 4. Chemical characteristics¹ of the diets

Diet²	CS	CA_L	CA_{L+S}	SP_L	SP_{L+S}	ER_L	CO_L
Dry matter (DM), %	86.9	86.7	85.9	86.2	86.6	87.5	86.9
Chemical composition, % DM							
Organic matter	93.8	93.0	93.0	92.1	91.7	93.0	91.9
Crude protein (N×6.25)	18.7	20.6	20.6	18.1	18.1	20.0	17.5
Starch	42.5	33.6	33.6	33.8	33.9	33.6	34.3
Crude fat	2.1	2.5	2.4	2.2	2.1	2.3	2.6
Free sugars	8.4	8.1	8.7	9.0	8.5	8.7	9.8
Neutral detergent fibre	15.8	22.8	24.7	19.8	21.4	22.1	18.9
Acid detergent fibre	4.4	10.9	12.0	8.6	10.0	9.3	8.4
Acid detergent lignin	1.0	5.1	5.5	2.6	3.2	2.9	1.9
Gross energy, MJ/kg DM	18.20	18.59	18.46	18.05	17.88	18.65	18.05
WHC³ (g of water/g of DM)	1.85	2.33	2.61	2.56	2.52	2.64	2.57
Polyphenols (mg/100 mg DM)	-	0.46	0.52	0.30	0.46	0.63	0.16

¹Chemical characteristics of diets were obtained as measured composition of the CS diet and calculated composition of the foliage diets from the CS diet and foliages measured compositions and according to the rates of incorporation (DM basis).

²CS = basal diet; CA_L = CS + cassava leaves; CA_{L+S} = CS + cassava leaves and stems; SP_L = CS + sweet potatoes leaves; SP_{L+S} = CS + sweet potatoes leaves and stems; ER_L = Cs + erythrina leaves; CO_L = CS + cocoyam leaves. Each foliage diet contained 80% of the CS diet and 20% (DM basis) of one foliage; the CS was prepared from control (95%) soybean meal-corn diet (18.8% of CP and 18.2 MJ GE/kg) and molasses (5%).

³Water holding capacity

obtained for SP_L diet (29.8 h). The displacement flow residence time (τ) was shorter in pigs fed CA_L or CA_{L+S} diets than pigs given the other diets (12.5 vs. 25.5 h; P<0.05). The effect of collection period on the indigestible matter, the MRT and the number of samples per animal was significant with lower values in period 1 than in periods 2 and 3 (271 vs. 362 g and 27.4 vs. 32.3 h and 15 vs. 19 samples respectively; P < 0.05). Unlike the recovery of Yb₂O₃ was significant with a higher value in period 1 than in the 2 and 3 periods (84.8 vs. 79.6 % P < 0.05) and τ with a lower value in period 1 than in period 2 (5.4 vs. 11.8h ; P < 0.05).

During the 12-h period following the feed distribution, the time dedicated to feeding was significantly higher in pigs fed the foliage diets than for pigs fed the CS diet (19.5 vs. 12.8 ; P < 0.05). Among the diets CA_L, CA_{L+S} and ER_L, pigs spent more time eating than for the other foliage treatments and the CS diet (21 vs. 17 % and 13%; P < 0.05; Table 5). The same trend was observed for the standing time. Unlike, the time dedicated to lying activities was significantly lower with CA_L, CA_{L+S} and SP_L diets than for the other foliage diets and CS diet (72, 77 and 81% respectively; P<0.05). No difference in the standing and sitting activities was reported among dietary treatments. The standing and feeding time were significant with a higher value in 1th period than in 3th period (20 vs. 14% and 20 vs. 17 % respectively; P < 0.05), but the lying and others time were significant with a lower value in 1th period than in 3th period (73 vs. 79 % and 74 vs. 78 % respectively; P < 0.05).

The energy values and the fecal digestibility coefficients of energy, nitrogen and energy content (DE and ME) of each tropical foliage calculated according to the difference method are reported in Table 8. The DC of CP and energy of tropical foliage were lowest than the values of CS. The DC of CP was variable between foliages, with the maximum for cocoyam leaves equal to 50 % of the CS diet (0.539). Values were even negative for erythrina leaves with -0.353 for DC of CP. The effect of stems did not influence the results of digestibility for cassava and sweet potatoes (0.114 and 0.430, respectively). For energy, the value of DC was also variable with low differences between extreme values (0.469, 0.430, 0.311 and 0.253 for cocoyam, sweet potatoes, cassava and erythrina leaves). The corresponding DE values were 6.75, 7.02, 7.47 and 8.61 MJ/kg DM for erythrina leaves, cassava products, sweet potatoes products and cocoyam leaves, respectively.

Discussion

Table 5. Digestive utilization of the diets

Item ¹	CS	CA _L	CA _{L+S}	SP _L	SP _{L+S}	ER _L	CO _L	RSD ²	Statistical analyses ²					
									D	P ³	LS	A	C	
Number of measurements	9	3	3	3	3	3	3							
Average BW, kg	38.4	37.9	38.9	39.7	39.2	40.7	38.5	2.3	NS	**	**	**		
Dry matter (DM) intake, g/d	1409	1352	1410	1444	1405	1437	1429	43	NS	**	**	**		
Average daily gain, g/d	528 ^a	364 ^b	437 ^{ab}	498 ^{ab}	512 ^{ab}	386 ^b	566 ^a	62	*	**	NS	NS		
Digestibility coefficients														
Dry matter	0.849 ^a	0.748 ^c	0.751 ^c	0.768 ^c	0.776 ^{bc}	0.755 ^c	0.799 ^b	0.008	**	**	NS	NS	**	
Organic matter	0.867 ^a	0.769 ^d	0.769 ^d	0.781 ^{cd}	0.794 ^{bc}	0.771 ^{cd}	0.813 ^b	0.008	**	*	*	*	**	
Crude protein (Nx6.25)	0.850 ^a	0.692 ^b	0.707 ^b	0.716 ^b	0.716 ^b	0.645 ^b	0.817 ^a	0.046	**	NS	NS	NS	**	
Neutral detergent fibre	0.588	0.542	0.585	0.535	0.560	0.637	0.631	0.048	NS	NS	NS	NS		
Acid detergent fibre	0.403	0.425	0.506	0.483	0.512	0.561	0.575	0.071	NS	NS	NS	NS		
Energy	0.857 ^a	0.747 ^c	0.748 ^c	0.761 ^{bc}	0.781 ^{bc}	0.753 ^c	0.793 ^b	0.013	**	NS	NS	NS	**	
Energy content, MJ/kg DM														
Digestible energy	15.58 ^a	13.90 ^b	13.79 ^b	13.79 ^b	14.13 ^b	13.80 ^b	14.31 ^b	0.30	**	NS	NS	NS	**	
Metabolizable energy	14.92 ^a	13.33 ^b	13.28 ^b	13.27 ^b	13.59 ^b	13.59 ^b	13.80 ^b	0.31	**	NS	NS	NS	**	
ME/DE	0.960	0.958	0.962	0.963	0.963	0.964	0.966	0.01	NS	NS	NS	NS		

¹ CS = basal diet; CA_L = CS + cassava leaves; CA_{L+S} = CS + cassava leaves and stems; SP_L = CS + sweet potatoes leaves; SP_{L+S} = CS + sweet potatoes leaves and stems; ER_L = CS + erythrina leaves; CO_L = CS + cocoyam leaves; diets composition in Table 4.

² RSD: residual standard deviation. From the analysis of variance with effects of diet (D) (n=7), period (P) (within latin-square; n=3), latin square (LS) (n=3) and animal (A) (n=3); and from the analysis of contrast linear test between CS and other diets; statistical significance: *, P < 0.05; **, P < 0.01; NS, not significant, P > 0.05. ^{a, b, c} Least square means within a row with different superscripts are significantly different, P<0.05.

³ The digestibility coefficients of dry matter (DM) and organic matter (OM) were affected by the period with a higher value during the period 1 than in periods 2 and 3 (0.789 vs. 0.770 and 0.803 vs. 0.790, respectively; P < 0.05).

The chemical composition of the foliages studied in the present study was rather different, especially for their CP and NDF contents (17 to 30 and 33 to 62 g/100 g). Some literature results concerning the chemical composition of the 4 tropical foliages studied in our trial are summarized in Table 9. The CP content of the foliages used in the present study corresponds to the average values that can be found in the literature (30.0 vs. 26.7 %, 20.6 vs. 18.8 %, and 18.7 vs. 18.2 % for CA_L, SP_L, and SP_{L+S}, respectively), except for CO_L which was lowest in our study (16.9 vs. 25.7 %). In contrast, the dietary fibre content in foliages used in our study was higher than values that can be found in the literature. The Table 9 shows that, within each plant species, the chemical composition of the foliage looks highly variable. This high variability could be explained by differences in the plant variety within each species and the collected fractions (leaves vs. leaves + stems), agricultural practices (time and method of planting, fertilization, age of harvesting) and environmental factors (climate, soil) (Walter and Purcell, 1986 ; Limsila et al., 2005). A lack of repeatability of analytical methods, especially for the dietary fibre fraction, may also explain these differences.

Tropical foliages are remarkable for the quantity and variety of secondary compounds they produce (Leng, 1997). In the case of cocoyam foliage, one major limitation is the presence of oxalic acid which gives an astringent taste when ingested, and causes irritations to the gastrointestinal tract and absorptive poisoning (Preston, 2006). According to Sefa-Dedeh and Agyir-Sackey (Sefa-Dedeh and Kofi Agyir-Sackey, 2004), the oxalic acid content is markedly reduced during the drying process. Even if the oxalic acid content was not measured in the dry cocoyam leaves of our study, animals fed CO_L did not exhibit any sign of illness or digestive problems. Therefore, we hypothesize that a 24h-sun drying period was sufficient to reduce oxalic acid content below its toxicity limit. This assumption is consistent with results obtained by Sefa-Dedeh and Agyir-Sackey (Sefa-Dedeh and Kofi Agyir-Sackey, 2004). Like the cocoyam, cassava produces secondary compounds which limit their use in animal feeding. Bitter cassava used in this study is known to contain HCN precursors, both in tubers and foliage (Atibu Kazinguvu, 2004). The HCN content of fresh cassava leaves generally ranges from 200 to 800 mg/kg DM (Ravindran et al., 1984) and the sun-drying process allows to reduce significantly its concentration (Ravindran and Kenkpen, 1992; Wanapat, 2001). In our study, HCN value was 10 fold lower in the dry than in the fresh product (25 vs 250 mg/kg DM) and was below the recommended maximum level for the pig (i.e., 50 mg/kg DM

Table 6. Rate of passage parameters of the diets in growing pigs

Item ¹	CS	CA _L	CA _{L+S}	SP _L	SP _{L+S}	ER _L	CO _L	RSD ²	Statistical analyses ²				
									D	P ³	LS	A	C
N° of observations	9	3	3	3	3	3	3						
Indigestible DM (g/day)	230 ^c	337 ^b	328 ^b	333 ^b	310 ^b	396 ^a	303 ^b	24	**	**	NS	NS	**
Rate of passage parameters													
Recovery of ytterbium (%) [□]	87.9 ^b	94.8 ^{ab}	92.5 ^{ab}	75.7 ^c	69.9 ^d	95.0 ^a	86.6 ^{ab}	4.7	**	*	*	NS	**
Mean retention time (h)	41.3 ^a	24.6 ^c	20.6 ^c	29.8 ^{bc}	36.9 ^b	34.6 ^b	35.4 ^b	4.8	**	*	*	NS	**
τ (h)	26.3 ^a	14.3 ^b	12.6 ^b	22.4 ^a	23.7 ^a	27.4 ^a	29.1 ^a	3.8	*	NS	**	*	**
N° of samples per animal	16	17	17	18	16	17	15	2	NS	**	**	NS	NS

¹ Indigestible dry matter (DM) corresponds to the difference between DM intake and digestible DM intake. The amount of marker incorporated (1g ytterbium oxide) provided 878 mg ytterbium. τ, displacement flow residence time (time delay between pulse dosing and first appearance of marker in faeces); MRT, mean residence time. CS = basal diet; CA_L = CS + cassava leaves; CA_{L+S} = CS + cassava leaves and stems; SP_L = CS + sweet potatoes leaves; SP_{L+S} = CS + sweet potatoes leaves and stems; ER_L = CS + erythrina leaves; CO_L = CS + cocoyam leaves; diets composition in Table 4.

² RSD: residual standard deviation. From analysis of variance with effects of diet (n=7), period (within latin-square; n=3), latin square (LS) (n=3) and animal (n=3); and from analysis of contrast linear test between CS and other diets; statistical significance: *, P < 0.05; **, P < 0.01; NS, not significant, P > 0.05. ^{a, b, c} Least square means within a row with unlike superscripts were significantly different between diets, P < 0.05.

³ The indigestible matter, the mean residence time and the No. of samples per animal were significantly different between periods with a lower value during period 1 than in the 2 other periods (271 vs. 362 g and 27.4 vs. 32.3h and 15 vs. 19 samples respectively; P < 0.05). On the other hand, the recovery of ytterbium was significantly affected by period with a higher value during period 1 than in the 2 other periods (84.8 vs. 79.6% P < 0.05) and τ with a lower value during period 1 than in the 2th period (5.4 vs. 11.8h; P < 0.05).

(Bolhuis, 1954)). Among secondary compounds, some are specific to the plant, as HCN in cassava or oxalic acid in cocoyam, but others such as tannins are not specific. As shown for macronutrients, the amount of tannins is highly variable according to the plant species, with maximum values found for erythrina (3.1 mg/100 mg of DM) and wild cocoyam (0.8 mg/100 mg of DM). Tannins are traditionally divided in hydrolysable and condensed tannins. The presence of both sub-groups was detected in the tropical leaves of our trial, except in wild cocoyam. Tannins have a major impact on animal nutrition in relation to their ability to form complexes with carbohydrates and proteins. Because tannins are often astringent, they can also reduce the palatability of tropical foliages making complexes with salivary glycoproteins (Mole and Peter, 1987). Alkaloids which were only detected in ER_L, may also be responsible for a decreased feed consumption giving a bitter taste to the diet (Paterson, 1994). Whatever the experimental diets, no refusals were collected in the present study. This absence of effect could be partly related to the fact that animals were restrictively fed and that tropical foliages were incorporated in the diet at a moderate rate (20 %).

The animals fed diets with foliages diets needed more time to eat the same amount of DM than pig fed the CS diet. This effect is probably related to the higher dietary fibre levels in the foliage diets as suggested by the positive relationship between DF and ingestion time ($r=0.83$; $P < 0.01$). Similar results were also observed with cereals and cereals by-products diets (Bindelle et al., 2008). In addition, the presence of compounds such as tannins has been suggested to reduce the palatability and the animal's motivation to eat feed. This hypothesis remains to be verified by further investigations with higher inclusion rates of tropical foliages.

For the determination of the transit rate, the model of Pond et al. (Pond et al., 1986) provided a reasonably good statistical fit of the pattern of marker appearance in feces (Adj. $R^2 = 0.99$). In the present study, the marker was not totally recovered in the feces (86.1 % on average). According to Le Goff et al. (Le Goff et al., 2002b), this result can be explained by an incomplete collection of feces, an over-estimation of the theoretical ingested marker and/or cumulative errors in DM or marker determination. Surprisingly, the recovery rate of marker was rather low for pig fed sweet potatoes products (72.8 % on average). First, it can be hypothesized that 96 h of collection was too short to recover the total amount of marker. However, whatever the animals, the Yb₂O₃ concentration was not different from 0 in the samples collected 96 h after ingestion of the marker. However, according to the model used to fit the data, the recovery rate of marker has no marked effect on estimate rate of passage parameters.

Table 7. Activity time budget in pigs fed different tropical foliages (percentage of time between 7:00 and 19:00)

Item ¹	CS	CA _L	CA _{L+S}	SP _L	SP _{L+S}	ER _L	CO _L	RSD ³	Statistical analyses ³				
									D	P ⁴	LS	A	C
N° of observations	1296	432	432	432	432	432	432						
Position:													
Standing	12.3 ^c	17.1 ^{ba}	20.4 ^a	17.8 ^{ba}	16.0 ^{bc}	19.5 ^a	13.7 ^{bc}	2.1	**	**	*	NS	**
Sitting	6.5	9.5	7.4	9.2	7.6	2.0	7.3	3.2	NS	NS	*	*	NS
Lying	80.6 ^a	72.7 ^b	71.5 ^b	72.2 ^b	75.7 ^{ab}	78.0 ^{ab}	78.2 ^{ab}	2.9	*	*	NS	NS	**
Activity:													
Feeding	12.8 ^c	20.0 ^{ba}	23.4 ^a	19.1 ^b	16.9 ^b	20.7 ^{ab}	17.0 ^b	1.8	**	**	NS	*	**
Others ²	86.4 ^a	79.4 ^b	75.9 ^b	80.3 ^{ab}	82.4 ^{ab}	80.1 ^{ab}	82.2 ^{ab}	3.5	**	**	*	*	**

¹ CS = basal diet; CA_L = CS + cassava leaves; CA_{L+S} = CS + cassava leaves and stems; SP_L = CS + sweet potatoes leaves; SP_{L+S} = CS + sweet potatoes leaves and stems; ER_L = CS + erythrina leaves; CO_L = CS + cocoyam leaves; diets composition in Table 4.

² Other activities than feeding or drinking.

³ RSD: residual standard deviation. From analysis of variance with effects of diet (D) (n=7), period (P) (within latin-square; n=3), latin square (LS) (n=3) and animal (A) (n=3); and from analysis of contrast linear test activity (C) between CS and other diets; Statistical significance: *, P < 0.05; **, P < 0.01; NS, not significant, P>0.05. ^{a, b, c} Least square means within a row with unlike superscripts were significantly different between diets, P < 0.05.

⁴ The time dedicated to standing and feeding was higher during period 1 than in the 3rd period (20 vs. 14% and 20 vs. 17 %, respectively; P < 0.05).

Changes in the rate of digesta passage may be related to several factors such as animal related factors (BW, genotype (Le Goff et al., 2002b)) and feed related factors (composition, particle size, bulk properties, water retention capacity (Stanogias and Pearce, 1985)). In the present study, the rate of passage was significantly affected by diet composition with a shorter MRT when tropical forages were included in the diet. According to Wilfart et al. (Wilfart et al., 2007b), increasing dietary fibre content has no effect on gastric emptying but decreases MRT in the small and large intestines. The transit rate in the intestine is generally accelerated by dietary fibre in relation with a stimulation of colonic motility due to a greater bulk of digesta (Wenk, 2001; Wilfart et al., 2007a). However, according to Le Goff et al. (Le Goff et al., 2002b), the stimulation of the contractile activity in the intestines changes according to the rate and the botanical origin of the fibre. In the present study, pigs fed cassava products had a shorter MRT when compared to the other dietary treatments. This shorter residence time may be explained by the higher NDF content and especially the ADL content in cassava products (56.4 and 20 % in DM vs. 40.5 and 11 % in DM on average for the other forages) but also specific effects of cassava that would deserve to be investigated.

The results of the present study show that energy DC of forage diets was lower than for the CS diet. This decrease is largely related to the dietary fibre enrichment; the following equation relates the energy DC and the NDF content (g/100 g DM):

$$\text{Energy DC} = 1.073 - 0.014 \text{ NDF} \quad (R^2 = 0.81 \text{ and } n=27 \text{ obs}).$$

From a large database including 77 diets formulated with conventional raw materials, Le Goff and Noblet (2001) showed that each extra percentage of NDF in the diet reduced the DC of energy by 0.9 % in growing pigs. A higher negative effect is then observed with tropical forages. In fact, the lignin content in tropical forages (31 g/100 g NDF on average) is very high when compared to conventional fibrous products used for feeding pigs (3 to 15 g/100 g NDF (Sauvant et al., 2002a)). In other words, the low energy digestibility in the forage diets is explained by their high content in DF and the high proportions of non fermentable fibre and lignin.

The energy DC of energy in our tropical forages was low (half or less than half the value of a corn-soybean diet) varied among the plants with lower values for CA products and ER_L and higher values for SP products and CO_L (Table 8). The variation between forages is mainly related to differences in chemical composition and especially in fibre content. Consequently, the DE and ME values of the tropical forages studied in the present study are

Table 8. Apparent fecal digestibility coefficients¹ of crude protein and energy, and energy content of tropical foliages in growing pigs

Item ²	CA _L	CA _{L+S}	SP _L	SP _{L+S}	ER _L	CO _L
Digestibility coefficients						
Crude protein (Nx6.25)	0.086	0.142	0.213	0.208	-0.353	0.539
Energy	0.310	0.312	0.383	0.478	0.253	0.469
Energy content, MJ/kg DM						
Digestible energy	7.60	6.44	6.43	8.52	6.75	8.61
Metabolizable energy	7.01	6.89	6.91	8.38	6.73	8.52

¹Digestibility coefficients calculated according to the difference method in comparison with value of soybean meal.

²CA_L= cassava leaves; CA_{L+S}= cassava leaves and stems; SP_L= sweet potatoes leaves; SP_{L+S}= sweet potatoes leaves and stems; ER_L= erythrina leaves; CO_L= cocoyam leaves.

Table 9. Chemical composition and digestibility coefficients of tropical foliages in the literature

Products	Chemical composition ¹ g/100g dry matter					Digestibility coefficients		References ²
	OM	CP (N x 6.25)	NDF	ADF	CF	Nitrogen	Energy	
CA _L	93.6	32.4	27.5	-	-	0.510	-	1
	96.6	26.5	-	-	8.5	-	-	2
	90.6	21.4	32.0	22.9	12.5	0.480	-	3
	90.1	30.0	51.2	36.7		0.086	0.310	10
CA _{L+S}	90.2	30.6	61.5	42.8		0.142	0.312	10
	SP _L	93.0	26.9	25.4	17.1	12.8	0.520	-
SP _{L+S}	94.4	17.0	-	-	14.2	-	-	2
	85.8	20.6	36.8	25.9		0.213	0.383	10
	78.4	18.2	40.3	32.8	23.4	-	-	5
	83.4	18.7	44.9	32.7		0.210	0.480	10
CO _L	88.5	24.0	24.6	13.0	12.4	0.530	0.470	6
	87.2	20.9	31.0	16.8	-	0.570	0.690	7
	89.4	25.7	-	-	11.2	0.700	-	8
	84.6	16.9	32.5	25.3		0.540	0.470	10
ER _L	90.0	28.7	47.7	28.8		-0.350	0.250	10

¹OM = organic matter; CP = crude protein; N = nitrogen; NDF = natural detergent fibre; ADF = acid detergent fibre; CF = crude fibre.

²References: 1 (Phuc et al. 2000), 2 (Hang et al. 2007), 3 (Hang et al. 2009a), 4 (An et al. 2004), 5 (Dominguez and Ly. 1997), 6 (Leterme et al. 2005); 7 (Leterme et al. 2006), 8 (Hang and Preston, 2009b), 10 Present experiment.

50 % lower than for a conventional cereals-soybean meal diet. From a practical point of view, this means that the utilization of these local resources as protein sources in pig feeding results in decreased dietary energy content. The tropical leaves seem to be available and inexpensive alternative source of protein for smallholder mixed farming systems. In the tropical foliages studied in the present trial, only 9 to 54 % of the proteins were digested in the total tract which is, as for energy, quite low. According to the results obtained in another study (Régnier et al., unpublished data), the total amount of amino acids represent about 75, 75, 77 and 70 % of the CP content in CA, SP, CO and ER leaves. Even though this difference can be partially related to inevitable losses during amino acids analysis, these results suggest that tropical foliages have a high content of non-protein N which is not well absorbed by the pig (Hoffman and Brehm) and not usable for protein synthesis. In addition, CP in tropical foliages is also partially bound to fibre (Leterme et al., 2005). According to these latter authors, the NDF fractions of CO contains 13 g CP/100 g NDF which represents about 64% of the total CP content (Shayo and Udèn, 1999). They reported also values of 28 and 42 to 52% for SP and ER leaves, respectively. Theoretically, CP bound to the cell walls is not digested by pigs (Leterme et al., 2005). Thus, the low availability of CP in tropical foliages is also explained by their high fibre content which increases the rate of passage of feed through the digestive tract and the excretion of nitrogen bound or physically entrapped in the bulk blot of the fibrous digesta. Finally, according to our results, the DC of CP was negatively correlated with the tannins contents in the diets (Figure 2). Even this effect of tannins is probably correlated with other effects such as the effect of DF, this relationship shows that each extra 1% increase in tannins content reduces by about 3 % the DC of CP. Similar results were reported by (Kemmer et al., 1984). In fact, tannins are known to precipitate with protein and to inhibit enzyme activity (Jansman, 1993) with negative subsequent effects on the CP digestibility. Consequently, the differences in CP digestibility according to botanical origin of the foliage could be explained by variations in the contents of non-protein N, tannins, and fibre and the proportion of CP bound to the fibre. Among all the tropical foliages, leaves from erythrina deserve special attention with a negative DC of CP, probably explained by the quite high fibre (48 g NDF/100 g DM) and tannins contents (3.1 mg/100 mg DM). In addition, in that study, the CP digestibility was determined at the fecal level which is a poorer indicator of the true protein value that should be measured at an ileal level. An experiment in progress to determine the ileal digestibility of amino acids in pig fed the four tropical leaves will provide further information on the actual protein value of these foliages.

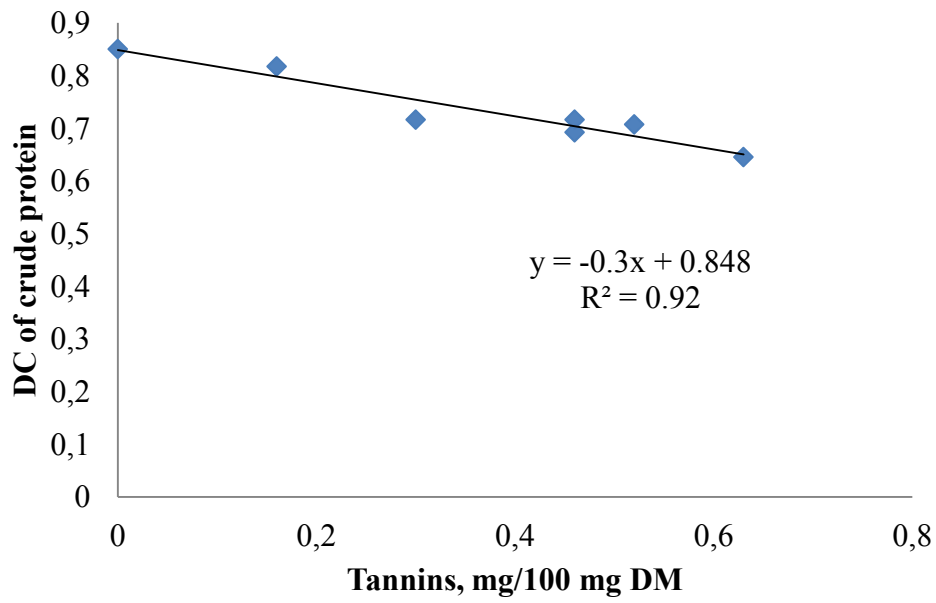


Figure 2. Relationship between dietary tannins content and apparent digestibility coefficient (DC) of crude protein in diets with foliages (n=27 values, each point was a mean of 3 values, except for the basal diet with a mean of 9 point).

Conclusion

The present study has demonstrated that the digestibility of dietary CP and energy decreased with the incorporation of tropical foliage in a basal diet (corn and soybean meal). The high content in fibre, especially non fermentable fibre, and the high tannins content would largely contribute to this negative impact on digestibility of CP and energy. A separation of leaves and stems didn't improve the nutritional properties of the cassava and sweet potatoes. For successful utilization of tropical leaves, the diets need to be supplemented with high-energy feed sources in order to compensate for the low digestible energy content of tropical leaf meal; but the main limiting factor to the utilization of tropical foliage appears to be the lower digestibility of protein.

References

- Altmann, J.**, 1974. Observational study of behaviour: sampling methods. *Behaviour* 49, 226-267.
- AOAC**, 1990. Official Methods of Analysis.
- Atibu Kazinguvu, E.**, 2004. Cinétique de l'élimination du cyanure dans le manioc, Université de Kinshasa
- Bhat, R.** and Karim, A.A., 2009. Exploring the nutritional potential of wild and underutilized legumes. *Comprehensive reviews in food Science and food safety*, 8, 305-33.
- Bindelle, J.**, Leterme, P., Buldgen, A., 2008. Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 12, 69-80.
- Bolhuis, G.G.**, 1954. The toxicity of cassava root. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 2, 176-185.
- Dohou, N.**, Yamni, K., Tahrouch, S., Massani, L.M.I., Badoc, A., Gmira, N., 2003. Screening phytochimique d'une endémique Libéro-Marocaine, *Thymelaea luthroïdes*; *Bull. Pharm. Bordeaux*, 142, 61-78.
- Dominguez, P.L.** and Ly, J., 1997. An approach to the nutritional value for pigs of sweet potato vines (*Ipomoea batatas (L.) Lam.*). *Livestock Research for Rural Development*, 9 (2).
- Hang, D. T.**, 2007. Cassava leaves as protein source for pigs in Central Vietnam. Thesis, university of Utrecht, p.126.
- Hang, D.T.**, Linh, N.Q., Everts, H., Beynen, A.C., 2009a. Ileal and total tract digestibility in growing pigs fed cassava root meal and rice bran with inclusion of cassava leaves, sweet potato vine, duckweed and stylosanthes foliage. *Livestock Research for Rural Development*, 21 (1).
- Hang, D.T.** and Preston, T.R., 2009b. Taro (*Colocacia esculenta*) leaves as a protein source for growing pigs in Central Viet Nam. *Livestock Research for Rural Development*, 21 (10).
- Hoffman, P.C.**, Brehm, N.M., Variability of bypass protein in forages. Department of Dairy Science. University of Wisconsin-Madison.
- Hogg, P.G.**, Ahlgren, H.L., 1942. A rapid method for determining hydrocyanic acid content of single plants of Sudan grass. *J. Amer. Soc. Agron.* 42, 199-200.
- Jansman, A.J.M.**, 1993. Tannins in Feedstuffs for Simple-Stomached. *Animals Nutrition Research Reviews* 6, 209-236.

- Kemm, E.H.**, Ras, M.N., Daiber, K.H., 1984. Nutrient digestibility of pigs fed sorghum varying in polyphenol concentration and maize as grain sources. *South African Journal of Animal Science* 14.
- Kyriazakis, I.**, Emmans, G.C., 1995. The voluntary feed intake of pigs given feeds based on wheat bran, dried citrus pulp and grass meal, in relation to measurements of feed bulk. *British Journal of Nutrition*, 81, 191-207.
- Le Goff, G.** and Noblet, J., 2001. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adults sows. *J. Anim. Sci.* 79, 2418-2427.
- Le Goff, G.**, van Milgen, J., Noblet, J., 2002. Influence of dietary fibre on digestive utilisation and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Animal Science* 74, 503-515.
- Leng, R.A.**, 1997. Tree foliage in ruminant nutrition. *FAO Animal Production and Health*, 139.
- Leterme, P.**, Froidmont, E., Rossi, F., Thewis, A., 1998. The High Water-Holding Capacity Of Pea Inner Fibers Affects The Ileal Flow Of Endogenous Amino Acids In Pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 1927-1934.
- Leterme, P.**, Londono, 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. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 1725-1732.
- Leterme, P.**, Londono, A.M., Ordonez, D.C., Rosales, A., Estrada, F., Bindelle, J., Buldgen A., 2010. Nutritional value and intake of aquatic ferns (*Azolla filiculoides Lam.* and *Salvinia molesta Mitchell.*) in sows. *Animal Feed Science and Technology*, 155, 55–64
- Levasseur, P.**, Courboulay, V., Meunier-Salaün, M.C., Dourmad, J.Y., Noblet, J., 1998. Influence de la source d'énergie et de la concentration énergétique de l'aliment sur le comportement alimentaire, les performances zootechniques et les qualités de carcasse du porc charcutier. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 30 245-252.
- Limsila, A.**, Tangsakul, S., Sarawat, P., Watananonta, W., Aekmahachai, P., Petchburanin, C., Pichitporn, S., Howeler, R., 2005. Cassava leaf production research in Thailand. Poster prepared by the Field Crops Research Institute. Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, Thailand and the CIAT Cassava Office for Asia.
- Manbrini, M.**, and Peyraud, J.L., 1997. Retention time of feed particles and liquids in the stomachs and intestines of dairy cows. Direct measurement and calculations based on faecal collection. *Reproduction, Nutrition, Development* 37, 427-442.
- Mekbungwan, A.**, 2007. Application of tropical legumes for pig feed. *Animal Science Journal*, 78, 342-350.

- Mole, S.,** Peter, G.W., 1987. Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry. American Chemical Society.
- Noblet, J.** and Le Goff, G., 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 90, 35-52.
- Noblet, J.,** Shi, X.S., 1994 Effect of body weight digestive utilization of energy and nutriments of ingredients and diets in pigs. *Livestock Production Science* 72, 323-338.
- Paterson, R.T.,** 1994. Use of Trees by Livestock.
- Pond, W.G.,** Pond, K.R., Ellis, W.C., Matis, J.H., 1986. Markers for Estimating Digesta Flow in Pigs and the Effects of Dietary Fiber. *J. Anim. Sci.* 63, 1140-1149.
- Preston, T.R.** and Murgueitio, E., 1992. Strategy for sustainable livestock production in the tropics. CONDRIIT Ltda: Cali, 89.
- Preston, T.R.,** 2006. Forages as protein sources for pigs in the tropics. Workshop-seminar "Forages for Pigs and Rabbits" MEKARN-Cel Agrid, Phnom Penh, Cambodia, 22-24 August, 2006.
- Ramonet, Y.,** Meunier-Salaün, M.C., Dourmad, J.Y., 1999. High-fiber diets in pregnant sows: digestive utilization and effects on the behavior of the animals. *J. Anim. Sci.* 77, 591-599.
- Ravindran, V.,** Kornegay, E.T., Notter, D.R., Rajaguru, A.S.B., 1984. Utilization of cassava leaf meal in swine diets. *Animal Science Research Report*, Virginia Agricultural Experiment Station, 92-96.
- Ravindran, S.** and Kenkpen, D., 1992. Cassava production and utilization in Liberia, Cassava as livestock feed in Africa: proceedings of the IITA/ILCA/University of Ibadan workshop on the potential utilization of cassava as livestock feed in Africa, 14-18 November 1988, Ibadan, Nigeria., International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan Nigeria, pp. 142-145.
- Rodríguez, L.,** Peniche, I., Preston, T.R. and Peters, K., 2009: Nutritive value for pigs of New Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*); digestibility and nitrogen balance with different proportions of fresh leaves and soybean meal in a basal diet of sugar cane juice. *Livestock Research for Rural Development*, 21 (16).
- SAS,** 2008. Statistical analysis system release 8.01. Cary, NC: SAS Institute INC.
- Sauvant, D.,** Perez, J.M., Tran, G., 2002. Tables de composition et de la valeur nutritive des matières destinées aux animaux d'élevage.

- Sefa-Dedeh, S.** and Agyir-Sackey, E.K., 2004. Chemical composition and the effect of processing on oxalate content of cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* cormels. *Food Chemistry* 85, 479-487.
- Shayo, C.M.** and Udèn, P., 1999. Nutritional uniformity of crude protein fractions in some tropical browse plants estimated by two in vitro methods. *Animal Feed Science and Technology* 78, 141-151.
- Stanogias, G.** and Pearce, G.R., 1985. The digestion of fibre by pigs. 1. The effects of amount and type of fibre on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage. *British Journal of Nutrition* 53, 50-55.
- Tollier, M.T.** and Robin, J.P., 1979. Adaptation de la méthode à l'orcinol sulfurique au dosage automatique des glucides neutres totaux: conditions d'application aux extraits d'origine végétale. *Annales de Technologie Agricole* 28, 1-15.
- Van Soest, P.J.**, Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583-3597.
- Walter, W.M.** and Purcell, A.E., 1986. Protein of the Sweet Potato. *Plant Proteins: Applications, Biological Effects, and Chemistry*, American Chemical Society 312, 234-248
- Wanapat, M.**, 2001. Role of cassava hay as animal feed in the tropics. *In: Proc. intern Workshop on "Current Recherche on Use of Cassava as Animal Feed"*, held in Khon Kaen, Thailand. 23-24, 13-20.
- Wenk, C.**, 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology* 90, 21-33.
- Wilfart, A.**, Montagne, L., Simmins, P.H., van Milgen, J., Noblet, J., 2007a. Sites of nutrient digestion in growing pigs: Effect of dietary fiber. *J. Anim Sci.* 85, 976-983.
- Wilfart, A.**, Montagne, L., Simmins, H., Noblet, J., Van Milgen, J., 2007b. Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. *British journal of nutrition* 98, 54-62.

PUBLICATION 2

**Etude sur la digestibilité iléale des acides aminés de
feuilles de manioc, patate douce, madère et érythrine
chez le porc en croissance**

Ileal digestibility of amino acids of cassava, sweet potatoes, cocoyam and erythrina foliages
fed to growing pigs

C. Régnier^(a), Y. Jaguelin^(b), J. Noblet^{(b)*}, and D. Renaudeau^(a)

Abstract

Ileal tract digestibility in growing pigs fed starch based diets with inclusion of meal different tropical leaves was studied in a 5×5 Latin square design. Five diets were formulated with basal diet and casein (CAS), dry cassava leaves (CA), dry sweet potato leaves (SP), dry cocoyam leaves (CO), and erythrina leaves (ER). The control diet (CAS) contained 150 g casein per kg DM. The experimental foliage diets contained 250 g DM of leaf meal per kg DM diet, respectively. Leaves were separated manually from stems and only the leaf part was used. The daily feed intakes of dry matter (DM) and dietary components did not differ according to the diet. The total tract apparent digestibility of crude protein (CP), OM and energy was higher on diet CAS than on others diets ($P<0.05$). The standardized ileal apparent digestibility (SID) of CP and amino acids (AA), were higher for diet CAS than for tropical foliage diets ($P<0.05$). On average, the SID of indispensable and dispensable AA was higher in cocoyam (50 and 35%) and lower in erythrina (17 and 19%); intermediate values were obtained for sweet potatoes (37 and 35%) and cassava (23 and 24%) leaves. The SID of Lys was the highest (46%) for cocoyam leaves and the lowest (10%) in erythrina leaves; intermediate values were measured for cassava and sweet potatoes leaves. The reduction in AA SID of foliage is related to an increase of the amount of undigestible AA and/or of the specific endogenous nitrogen losses (digestive enzymes, mucus or desquamated cells) in connection with their particular chemical or physical characteristics and presence of secondary metabolites. It was concluded that, it is only possible to replace a fraction of the conventional protein sources such as soybean meal by tropical foliages mainly, because of their high fibre content and the presence of secondary compounds which decrease AA digestibility. Despite their nutritional limits, cocoyam leaves have the potential to improve dietary protein and amino acid supply in low fibre diets for pigs under tropical conditions.

Keywords: cassava, sweet potatoes, cocoyam, erythrina, pig, ileal digestibility

Introduction

Faced with intensive farming systems using mostly grains and oilseed meals, a variety of alternative systems are present in the developing tropical countries. These smallholder systems are characterized by a close integration of crops and animal production using local resources available within the farm. As compared with the ruminants, pigs convert feed to meat relatively efficiently and produce manure to fertilize crops productions which ensure the sustainability of the system. In general, feeding systems for pig production are mainly based on locally available feed resources and some industrial by-products. Many of the local feed resources are characterized by a low crude protein content. From that, the major constraint for developing alternative pig feeding systems is directly related to the optimization of the use of existing protein resources.

In the tropics, it is possible to find a great variety of foliages rich in crude protein and available in large amounts. Cassava leaves (*Manihot esculenta*), sweet potatoes leaves (*Ipomoea batatas*), cocoyam leaves (*Colocasia esculenta*) and erythrina leaves (*Erythrina glauca*) are potentially useful in pig feeding. In an attempt to develop a diet based on local products, these resources could be protein resources to limit the use of meal proteins such as soybean or fish meals which are generally too expensive for small farmers. The objective of this experiment was then to determine the ileal digestibility of amino acids in order to evaluate the protein quality of cassava, cocoyam, erythrina and sweet potatoes leaves for pigs.

Materials and Methods

Harvest and treatment of the tropical leaves

Cassava (CA) and sweet potatoes (SP) foliages were harvested in local producers farms in Guadeloupe F.W.I. (lat. 16°N, long. 61°W) about 9 and 6 months after planting, respectively. The harvests were carried out from June to August 2009. In total, approximately 120 and 220 kg of each foliage were harvested. Wild cocoyam (CO) leaves (375 kg) were harvested at the INRA farm also in Guadeloupe over the course of several weeks. In French West Indies, erythrina (ER) trees are usually used as windbreaker in the banana plantations; leaves of erythrina trees (120 kg) were obtained in one harvest from a bananas producer. The different foliages were sun dried for 24 hours before being ground with a hammer meal (Reich hammer mill, Germany) through a 5-mm mesh screen. Sun drying process has been described in details elsewhere (Régnier et al., 2010). Before using them, meals obtained from

CA leaves, SP leaves, ER leaves or CO leaves were stored and subsequently sent to the INRA Unit in St Gilles (France), where the experiment on animals was carried out.

Animals and experimental design

Five castrated males (Piétrain * [Large White * Landrace]) with an initial BW of 35 kg were surgically modified according to the ileo-rectal anastomosis technique as described by Laplace (Laplace et al., 1994). After 3 weeks of recovery, the pigs were individually housed in metabolism cages in an environmentally controlled room, and allotted to 1 of 5 dietary treatments according to a 5 × 5 Latin square design. Over a final sixth period, each pig received the N-free diet in order to determine endogenous amino acid losses. The N-free diet was fed only at the end experiment in order to overcome possible consequences of feeding a N-free feed on subsequent health and metabolism. In addition, it has been shown that endogenous protein and AA losses expressed per kg dry matter (DM) intake are rather constant over a large body weight (BW) range (Hess and Sève, 1999).

Experimental diets and sample collection

All diets were based on cornstarch and were formulated to contain 140 g/kg crude protein (CP). Treatments were a reference diet with casein as the sole protein source, and four diets formulated with 250 g/kg of dried tropical leaves supplemented with casein to achieve a constant protein level in each diet. A N-free diet was formulated to complete the experimental design (Table 2).

Each 7-d feeding period consisted of a 3-d period of diet acclimation followed by a 4-d period for total collection of ileal digesta and urine. Feed was divided into 2 equal meals and fed at 8:00 and 15:00 each day. The pigs had free access to water. Pigs were weighed each week at the end of the collection period, and feed allowance was calculated to maintain daily intakes of 180 g of DM/kg PV^{0.60}. Ileal digesta and urines were collected twice daily, stored at 4°C and later pooled for each period. The ileal digesta were then mixed and freeze-dried.

Chemical analyses

For chemical analyses, samples of ingredients, experimental diets and freeze-dried ileal digesta were finely ground using a grinder-mill with a 1-mm mesh screen. Dry matter

was determined for each sample and amino acids were assayed by HPLC after hydrolysis with 6 N hydrochloric acid at 110 °C for 23 hours. Methionine and cystine underwent performic oxidation before hydrolysis. Tryptophan was hydrolyzed with barite at 110 °C for 16h. The methods used for amino acids analyses are comparable to those described by Lahaye et al. (Lahaye et al., 2004) or Cozannet et al. (Cozannet et al., 2010) where more details are given. The nitrogen in feeds, digesta and urine was assayed by the method of Dumas (Dumas, 1831). In addition, casein, leaves and diets samples were analyzed for ash, starch, CP, crude fat, crude fibre (CF), neutral detergent fibre (NDF), acid detergent fibre (ADF), acid detergent lignin (ADL) (Van Soest et al., 1991) and gross energy. Digesta samples were analysed for their ash and gross energy values. Finally, the alkaloids, phenols, steroids and terpenoids were determined in all tropical foliages according to the method of Dohou et al (Dohou et al., 2003).

Calculations and statistical analyses

The apparent (AID) and standardized (SID) ileal digestibilities of each AA were calculated for each diet (Stein et al., 2007; Cozannet et al., 2010). Basal endogenous losses as calculated for each pig fed the N-free diet were assumed to be proportional to DM intake (Hess and Sève, 1999). The AID and SID of each AA in each leaves sample was calculated according to the difference method. Data on casein and leaves diets were analysed according to the GLM procedure of SAS (SAS, 2008) with the PDIFF option (Tukey test); the effects were diet (n=5), period (n=5) and animal (n=5).

Results

Chemical composition of tropical leaves and experimental diets

The chemical composition and AA profile of the foliages are detailed in Table 1. The tropical leaves were characterized by having a CP (N x 6.25) content ranging from 163 to 280 g/kg DM and a high fibre content ranging from 376 to 543 g NDF/kg 100 DM. The presence of tannins was detected in all tropical leaves with the highest values in cassava and erythrina (2.30 and 3.10 g/100 g DM, respectively), the lowest in cocoyam (0.8 g/100 g DM) and an intermediate value in sweet potatoes leaves (1.50 g/100 g DM). The ash content of the tropical leaves was also high (121 g/ kg DM on average for the 4 tropical foliages; Table 1). On average, the tropical leaves contained 704 to 772 g analysed AA/ kg CP, with CP being N x 6.25. The AA profile of the leaves was rather comparable for the 4 foliages, except for ER

Table 1. Nutrient composition (g.kg⁻¹ dry matter) and amino acids (AA) profile (g.kg⁻¹ crude protein) of casein and tropical leaves²

	Casein	Cassava ²	Sweet potato	Cocoyam	Erythrina
Dry matter	911	858	860	858	889
Ash	20	87	146	152	100
Crude protein (N x 6.25)	972	231	225	163	280
NDF	-	543	390	376	481
ADF	-	414	272	290	320
ADL	-	190	86	59	104
Sugars	-	11	26	66	14
Tannins ¹	-	2.30	1.50	0.80	3.10
Indispensable AA					
Arg	44	44	45	49	41
His	32	17	17	17	17
Ile	57	39	37	39	31
Leu	105	68	64	68	53
Lys	84	43	39	42	43
Met	24	14	13	13	10
Phe	56	44	41	42	39
Thr	46	33	36	36	29
Trp	13	16	15	17	14
Val	73	46	47	48	40
Σ dispensable AA	534	364	354	371	317
Dispensable AA					
Ala	35	45	46	56	38
Asp	75	82	89	76	125
Cys	5	11	9	9	9
Glu	242	94	98	99	74
Gly	21	44	45	50	35
Pro	132	46	45	43	44
Ser	55	34	34	33	30
Tyr	63	33	32	35	30
Σ indispensable AA	628	399	398	401	385

¹Tannins content expressed in mg/100 mg of dry matter (DM)

²Cassava leaf meal contains 25 mg hydrocyanic acid/100 g DM

leaves with higher Asp and lower Gly contents. Unlike foliages, casein did not contain dietary fibre and had a low ash content and most of the organic matter was represented by CP (95 %). The sum of analysed AA in casein represented more than 100% of the CP content.

The chemical composition of the whole rations is presented in Table 2. The analyzed CP content of the CA diet was lower and that of SP diet was higher than originally planned (127 and 148 vs. 140 g/kg). The ash and NDF contents were higher in diets including tropical foliages than in the casein diet.

Intake and nitrogen balance

The N intake, losses and retained data expressed as g per day are presented in Table 3. According to the objectives of the experiment, the average pig BW and DM consumption were not influenced by the dietary treatment. However, daily N intake was lower in CA and higher in SP diets when compared to the other experimental diets in connection with differences in CP content measured for the corresponding diets. Digesta N excretion was significantly higher for the four diets containing tropical foliages (11.5 on average vs. 3.8 g/d for casein diet; $P < 0.01$). Urinary N losses were higher in CO diets (11.0 vs. 8.5 g/d on average for the other diets). Daily N retention was significantly higher for the casein diet than for the diets including tropical foliages (+12 g/day on average).

Digestibility of diets and tropical foliages

Endogenous AA losses are presented in Table 4; they have been used for the calculation of SID values of diets reported in Table 5. There was a significant reduction ($P < 0.01$) in the AID of CP, organic matter, energy and AA in diets with tropical leaves when compared with the casein diet. On average, the reduction of AID of AA was about 30 %. Among the tropical foliages diets, higher values for AA AID were observed for CO and SP diets and lower values were found for ER and CA diets. The residual standard deviation (RSD) of Cys AID was markedly higher (8.2) than the RSD of other AA.

For casein, all AA were almost totally digested (Table 6). In contrast, SID of AA in the tropical leaves was generally low with high differences between the leaves and between AA for each leaf. On average, the SID of indispensable and dispensable AA was higher in cocoyam (50 and 35 %) and lower in erythrina (17 and 19 %); intermediate values were obtained for sweet potatoes (37 and 35 %) and cassava (23 and 24 %) leaves. Whatever the

Table 2. Composition and analysis of casein and foliage diets

Item	Diets ¹					
	Casein	CA	SP	CO	ER	Protein-free
Ingredients, % fresh						
Corn starch	67.19	51.35	49.38	48.71	51.57	80.67
Rapeseed oil	2.50	1.91	1.84	1.81	1.92	3.00
Leaf meal	-	25.00	25.00	25.00	25.00	0.00
Casein	15.48	8.68	10.95	11.71	8.43	0.00
Sucrose	4.16	3.18	3.06	3.02	3.20	5.00
Cellulose	3.33	2.55	2.45	2.42	2.56	4.00
MV mixture ²	7.33	7.33	7.33	7.33	7.33	7.33
Chemical composition						
Dry matter (DM), g/kg	891	893	891	893	896	886
Crude protein, g/kg DM	159	143	167	156	156	48
Gross energy, MJ/kg DM	17.65	17.89	17.43	17.31	17.50	16.75

¹ CA = cassava leaf meal; SP = sweet potatoes leaf meal; CO = wild cocoyam leaf meal; ER = erythrina leaf meal.

² MV mixture provided per kg of diet: calcium mono phosphate, 2.61 g; calcium carbonate, 0.51 g; salt, 0.16 g; sodium bicarbonate, 2.51 g; KCl, 0.60 g; MgCl (6H₂O), 0.36 g; vitamins and minerals, 0.50 g; anastomosis vitamin mixture, 0.08 g.

Table 3. Performance and nitrogen balance in IRA pigs fed casein or foliage diets

item	Diets ¹					RSD	Statistical analysis ²		
	Casein	CA	SP	CO	ER		Diet	Period ³	Animal
No. of observations	5	5	5	5	5	-			
Average body weight, kg	49.2	48.5	49.5	48.4	48.9	1.0	NS	***	***
Dry matter intake, g/d	1310	1280	1283	1271	1263	37	NS	**	NS
N balance, g/d									
Intake	33.3 ^a	29.5 ^b	34.1 ^a	31.7 ^b	31.4 ^b	0.8	**	**	NS
Losses									
Fecal	3.8 ^c	13.4 ^{ab}	11.7 ^{ab}	9.7 ^b	14.6 ^a	0.7	***	NS	NS
Urinary	7.7 ^b	7.9 ^b	9.3 ^b	10.8 ^a	9.2 ^b	0.8	***	***	NS
Retained	21.8 ^a	8.2 ^c	13.1 ^b	11.2 ^b	7.6 ^c	2.6	***	**	NS

¹ CA = cassava leaf meal; SP = sweet potatoes leaf meal; CO = wild cocoyam leaf meal; ER = erythrina leaf meal.

² RSD: residual standard deviation. From analysis of variance with effects of diet (n=5), period (n=5), and animal (n=5); statistical significance: *, P<0.05; **, P<0.01; ***, P<0.001; NS, P>0.05. ^{a, b, c}; least square mean values within a row with different superscript letters are significantly different (P<0.05).

³ Average body weight, dry matter intake, N intake, urinary N and N retained were significant lower in period 1 than in period 5 (41.7 vs. 65.6; 983 vs. 1232; 24.7 vs. 31.0; 6.19 vs. 11.3 respectively; P < 0.05).

leaves, the SID of His, Thr, Trp, Cys, Gly, Pro and Ser were very low; even negative values were obtained. The SID of Lys was the highest (46 %) for cocoyam leaves and the lowest (10 %) in erythrina leaves; intermediate values were measured for cassava and sweet potatoes leaves.

Discussion

In the tropics, tropical forages are often used as protein sources for animals, but data on their nutritional value are scarce. The foliage fractions of four of them have been evaluated in the present trial for pigs; their energy value was measured in a concomitant trial (Regnier et al., unpublished results). In the case of sweet potatoes, the CP content (225 g/kg DM) was close to the values reported by An et al. (An et al., 2005). Similarly, the CP content of erythrina leaves used in our present study was in good agreement with earlier reports in the literature (McDowell et al., 1974; Samur, 1984), (200 to 300 g CP/kg of DM). But, both the leaf meal of cassava and cocoyam of our study contained less CP (231 and 163 g CP/kg DM, respectively) than the cassava leaves samples studied by Eggum et al. (Eggum, 1970) and Phuc et al (324 and 371 g/kg DM, respectively) (Phuc and Lindberg, 2000) or the cocoyam leaves in the study of Leterme et al. (290 g / kg DM) (Leterme et al., 2005). These differences in CP content between our results and those of the literature could be explained by differences in the plant variety within each species, agricultural practices (time and method of planting, fertilization, age at harvesting) (Hock-Hin and Kalanethee, 1989; An et al., 2003), environmental factors (climate, soil) (Walter and Purcell, 1986); (Limsila et al., 2005). In addition, the discrepancy between these results may be due to the inclusion of variable proportions of stems in the different experiments whose composition differs markedly from the composition of leaves (Leterme et al., 2005).

Most factors that affect the CP content may also affect the AA composition of the foliages. However, when expressed as g/kg of CP or as g per kg of measured AA, all four foliages had a rather similar AA profile, with low contents of His, Met and Trp, but high content of Asp, Glu and Leu. The proximate composition of AA in tropical leaf meals used here was comparable to AA profiles of other tropical leaves such as water spinach, duckweed or groundnut foliage (Phuc and Lindberg, 2001) (Leterme et al., 2005). The sum of AA in tropical plant leaves are different of the CP content calculated as $N \times 6.25$. In our study, the difference averaged 25%. This difference can be attributed to inevitable losses during AA analysis, more likely to the presence of non-protein N and to the fact that 6.25 is probably not

Table 4. Basal endogenous amino acid (AA) losses (g/kg dry matter feed intake)

	Mean	SD
Number of measurements	5	-
Nitrogen	1.46	0.30
Indispensable AA		
Arg	0.35	0.03
His	0.14	0.02
Ile	0.27	0.02
Leu	0.43	0.03
Lys	0.32	0.03
Met	0.07	0.03
Phe	0.27	0.03
Thr	0.36	0.06
Trp	0.06	0.04
Val	0.37	0.03
Σ indispensable AA	2.64	0.23
Dispensable AA		
Ala	0.37	0.04
Asp	0.60	0.05
Cys	0.17	0.01
Glu	0.72	0.05
Gly	0.54	0.04
Pro	0.79	0.38
Ser	0.30	0.07
Tyr	0.26	0.01
Σ dispensable AA	3.75	0.42

the most appropriate N-to-protein conversion factor (Mossé, 1990). It can also be suggested that some AA are not fully hydrolyzed at the time of preparation of samples for AA analyses (Lahaye et al., 2004).

In high quality protein resources such as casein or soybean meal, the ratio Lys/sum of AA averages 7.2 % for casein (present trial) and 5.6 % for soybean meal (Sauvant et al., 2004). In the tropical foliages of our trial, this ratio was 5.6, 5.2, 5.5 and 6.1 % for CA, SP, CO and ER leaves and then quite comparable to the value of soybean meal. Based on this criterion, the tropical leaves used in the present study appear as interesting protein resources in terms of their potential quality.

Amounts and characteristics of endogenous protein losses (EPL) found in the digesta of pigs consuming the protein-free diet were in agreement with values reported in the literature (Noblet et al., 2004; Cozannet et al., 2010) using a comparable protein-free diet. These basal or non specific EPL are generally assumed to be proportional to the DM intake (Furuya and Kaji, 1992; Mariscal-Landin et al., 1995).

According to the present results, the SIDs of AA in casein are close to 100 % and in agreement with the data reported by Cozannet et al. (Cozannet et al., 2010). In contrast, for all indispensable and dispensable AA of leaf meals, the SID were markedly lower than those measured in casein. This low ileal N and AA digestibility of tropical leaves is in accordance with literature results (Phuc, 2000 ;(An et al., 2004; Leterme et al., 2005) indicating a strong reduction in AA digestibility in growing pigs when tropical leaves were included in a basal diet. Typically, a reduction in AA SID is related to an increase of the amount of undigestible AA and/or of the specific ENL, i.e., proteins that are secreted into the digestive tract (digestive enzymes, mucus or desquamated cells) in connection with particular chemical or physical characteristics of the diet.

The high fibre content of tropical foliages contribute to their low AA SID. As reported for energy, dietary fibre physically increases the flow of indigestible AA via an accelerated transit rate (Jorgensen et al., 1996). This effect is emphasized for fibre diet rich in lignin. In addition, proteins of the tropical leaves are known to be partially bound to dietary fibre. According to Leterme (Leterme et al., 2005), the NDF fraction of CO contains 180 g CP/kg NDF which represents about 20 % of the total CP content. Shayo (Shayo and Udèn, 1999) reported values of 42 to 52 % for SP and ER leaves, respectively. Theoretically, CP (and AA) bound to the cell walls is not digested by pigs because digestive enzymes have limited access

Table 5. Apparent ileal digestibility coefficients (%) of crude protein, organic matter, energy and amino acids (AA) of the diets

	Diets ¹					RSD ²	Statistical analysis ²		
	Casein	CA	SP	CO	ER		Diet	Period ³	Animal
Nitrogen	90.1 ^a	49.9 ^c	65.1 ^b	69.3 ^b	52.6 ^c	2.4	***	**	NS
Organic matter	91.3 ^a	68.5 ^c	73.0 ^b	73.4 ^b	69.9 ^c	2.1	***	**	NS
Energy	93.8 ^a	63.6 ^c	72.6 ^b	72.1 ^b	67.3 ^c	2.4	***	**	NS
Indispensable AA									
Arg	92.6 ^a	63.8 ^d	75.9 ^c	81.9 ^b	66.8 ^d	2.7	***	NS	NS
His	94.9 ^a	66.7 ^d	77.8 ^c	83.3 ^b	66.7 ^d	2.7	***	NS	*
Ile	91.4 ^a	62.3 ^c	72.2 ^b	77.3 ^b	56.6 ^d	2.6	***	NS	*
Leu	95.0 ^a	70.6 ^c	80.3 ^b	85.4 ^b	67.6 ^d	2.3	***	NS	*
Lys	95.0 ^a	72.3 ^c	81.8 ^b	85.1 ^b	64.2 ^d	2.6	***	NS	NS
Met	96.9 ^a	67.5 ^d	79.8 ^b	83.9 ^b	75.9 ^c	3.5	***	NS	NS
Phe	95.3 ^a	69.4 ^d	78.6 ^c	85.1 ^b	66.8 ^d	2.5	***	NS	*
Thr	91.8 ^a	58.6 ^c	69.5 ^b	73.3 ^b	51.6 ^c	3.8	***	NS	*
Trp	97.7 ^a	54.2 ^d	64.7 ^c	71.1 ^b	47.4 ^d	4.0	***	NS	NS
Val	92.4 ^a	64.8 ^d	74.2 ^c	79.2 ^b	59.1 ^d	3.2	***	NS	NS
Σ dispensable AA	94.9 ^a	66.7 ^c	76.7 ^b	81.7 ^b	62.8 ^c	2.4	***	NS	NS
Dispensable AA									
Ala	88.9 ^a	51.8 ^d	61.3 ^c	66.7 ^b	49.7 ^d	3.6	***	NS	NS
Asp	90.5 ^a	64.8 ^d	70.7 ^c	77.2 ^b	65.5 ^d	2.5	***	NS	NS
Cys	70.4 ^a	3.7 ^c	18.3 ^b	31.4 ^b	- 32.5 ^d	8.2	***	NS	NS
Glu	93.2 ^a	73.3 ^c	80.0 ^b	81.3 ^b	69.1 ^d	1.5	***	NS	*
Gly	83.7 ^a	24.3 ^c	43.5 ^b	50.6 ^b	30.5 ^c	5.4	***	NS	NS
Pro	95.3 ^a	71.2 ^c	84.7 ^b	87.1 ^b	69.6 ^c	2.9	***	NS	NS
Ser	86.0 ^a	53.4 ^c	63.5 ^b	65.9 ^b	44.7 ^c	4.2	***	NS	NS
Tyr	96.3 ^a	73.7 ^d	80.9 ^c	86.7 ^b	67.4 ^c	3.9	***	NS	*
Σ indispensable AA	92.1 ^a	64.7 ^c	74.0 ^b	77.7 ^b	61.2 ^c	2.3	***	NS	NS

¹ CA = cassava leaf meal; SP = sweet potatoes leaf meal; CO = wild cocoyam leaf meal; ER = erythrina leaf meal.

² RSD: residual standard deviation. From analysis of variance with effects of diet (n=5), period (n=5), and animal (n=5); Statistical significance: *, P<0.05; **, P<0.01; ***, P<0.01; NS, P>0.05. ^{a, b, c} Least Square Mean values within a row with unlike superscript letters were significantly different between diets, P<0.05.

³ Digestibility coefficients of crude protein and energy were significantly lower during the period 1 than during the 4 other periods (63.6 vs. 66.3 and 74.4 vs. 76.2, respectively, P < 0.05).

to the proteins (Leterme et al., 2005) (Sève and Hess, 2000). As a result, the indigestible AA content increases in ileal digesta with subsequent negative effect on AA digestibility.

Whatever the tropical leaves, the SIDs of His, Thr, Trp, Gly, Pro and Ser were lower than those of the other AA. According to Juste (Juste, 1982) and Wünsch (Wünsch et al., 1987), the endogenous secretions are rich in Ser, Gly, Thr and Pro and specific of the nature of the diet. In consequence, the low digestibility in such AA in tropical leaves might be related to the large amount of specific AA losses in endogenous secretions relative to AA intake. Many studies have demonstrated that diets rich in anti-nutritional factors (such as high dietary fibre) would increase the specific EPL per kg of DM intake (Nyachoti et al., 1997). According to de Lange (de Lange et al., 1990), the effect of purified pectin on EPL was much larger than that of purified cellulose in pigs fed protein-free diets. In tropical foliages, the lignin concentration (31 g/100 g NDF on average for our samples) is very high when compared to conventional fibrous products generally used for feeding pigs (3 to 15 g/100 g NDF (Sauvant et al., 2002b)). According to the high dietary fibre and lignin concentrations in tropical leaves, it can be suggested that the low values of AA SID of the products could also be explained by the production of large amounts of feed-specific EPL relative to N intake (Mitaru et al., 1984).

However, changes in dietary fibre content were not sufficient to explain the observed differences in AA SID among the tropical leaves. For instance, when erythrina and cassava leaves are compared, NDF content was lower in erythrina but its AA SID was generally lower than in cassava. Other factors, such as secondary metabolites present in the plant, might affect the digestibility of AA. In fact, secondary metabolites as tannins are known to interact with both dietary and endogenous proteins in the digestive tract and cause decreased true AA digestibilities (Kumar and Singh, 1984; Jansman, 1993). Inhibition of trypsin activity by tannins has been reported in vitro (Griffiths, 1986) which may affect the digestibility of crude protein and AA by growing pig (Oke, 1984; Ravindran, 1993). Tannins increase the amount of specific EPL either by enhancing endogenous secretions and/or by decreasing degradation and reabsorption of endogenous nitrogen (Nyachoti et al., 1997), with negative consequences on AA SID. Overall, low SID values in erythrina are probably explained by the high tannins level in these leaves.

According to our results, some AA in some plants have rather unexpected SID values. For instance, in cassava leaves, low SID values were obtained in our trial for sulfur AA when

Table 6. Standardized ileal digestibility coefficient¹ (%) of amino acid (AA) in casein and tropical leaves

Item	Casein	Cassava	Sweet potatoes	Cocoyam	Erythrina
Indispensable AA					
Arg	100.4	40.9	51.4	63.3	47.1
His	99.5	15.1	24.8	44.2	13.4
Ile	95.0	19.6	31.9	46.3	4.4
Leu	99.5	30.3	44.6	61.1	22.2
Lys	99.7	29.4	43.3	53.8	12.6
Met	100.7	-35.6	45.5	36.4	42.8
Phe	100.2	34.0	39.7	59.5	29.1
Thr	99.0	7.65	21.8	24.9	-6.5
Trp	101.2	12.7	14.3	20.4	-0.3
Val	97.1	18.2	30.5	46.3	7.6
Σ indispensable AA	97.3	23.2	36.7	50.0	17.0
Dispensable AA					
Ala	98.6	19.7	25.1	31.8	16.9
Asp	97.9	45.8	45.8	52.9	52.4
Cys	92.2	-25.6	-18.0	8.7	-87.3
Glu	96.3	37.1	44.3	34.4	21.5
Gly	102.5	-13.9	4.4	13.6	3.5
Pro	101.9	16.5	52.9	43.9	2.7
Ser	92.1	-7.8	2.3	1.0	-22.1
Tyr	100.1	27.9	35.8	56.3	12.7
Σ dispensable AA	96.4	24.2	34.9	35.2	19.5

¹Standardized ileal digestibility coefficients calculated according to the difference method.

compared to the other foliages. According to Oke (Oke, 1978), this low sulfur AA digestibility could be related to the presence of HCN. Bitter cassava is generally known to contain HCN precursors both in tubers and foliage (Atibu Kazinguvu, 2004). In the present experiment, the HCN content was significantly reduced (25 vs. 250 mg/kg DM) during the 24 h drying process. The remainder would be detoxified by the pig himself via a conversion of HCN to thiocyanate and then excreted in the urine. According to Oke (Oke, 1978), Met and Cys are essential precursors for this conversion and thus, the presence of HCN in cassava may explain the deficiency in these AA. Therefore, sulfur AA would be the limiting AA for growth performance when cassava foliages are used in pig feeds.

The knowledge of the 'true' protein value of tropical foliages is essential for a better utilization of these local resources for feeding pigs in small scale farming systems. Among all the tropical foliages, leaves from erythrina and cassava would have a lower potential due to their low digestible AA contents. In particular, cassava leaves have very low digestible sulfur AA contents and would require a supplementation. On the other hand, the cocoyam and sweet potatoes leaves seem to have the best potential for partly replacing conventional protein resources in pig diets. The main limiting factor for the wild cocoyam is the presence of oxalic acid which decreases its ingestion rate in fresh form (Hang and Preston, 2010). This problem can be overcome by drying the foliage or using another variety naturally low in oxalic acid. Rodriguez et al. (Rodriguez et al., 2006) reported that 50% of the soybean meal protein in a diet based on sugar cane juice could be replaced by fresh *Xanthosoma sagittifolium* (a variety of *colocacia esculenta* with a low concentration in oxalic acid).

Conclusion

Our study suggests that it is only possible to replace a fraction of the conventional protein sources such as soybean meal by tropical foliages mainly, because of their high fibre content and the presence of secondary compounds which decrease AA digestibility. In addition, our results provide the protein profile of four tropical plants and indications of their AA digestibility. Despite their nutritional limits, the present data give further support to the potential of protein-rich foliage products, especially sweet potatoes and cocoyam, as protein supplements for pigs under tropical conditions.

References

- 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 batatas* L. (Lam.)) plant parts. *Field Crop Research* 82, 49-58.
- An, L.V.**, Hong, T.T.T., Ogle, B., Lindberg, J.E., 2005. Utilization of ensiled sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) leaves as a protein supplement in diets for growing pigs. *Tropical Animal Health and Production* 37, 77-88.
- An, L.V.**, Hong, T.T.T., Lindberg, J.E., 2004. Ileal and total tract digestibility in growing piglets fed cassava root meal diets with inclusion of fresh, dry and ensiled sweet potato (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) leaves. *Animal Feed Science and Technology* 114 127–139.
- Atibu Kazinguvu, E.**, 2004. Cinétique de l'élimination du cyanure dans le manioc, Université de Kinshasa
- Cozannet, P.**, Primot, Y., Gady, C., Métayer, J.P., Callu, P., Lessire, M., Skiba, F., Noblet, J., 2010. Ileal Digestibility of amino acids in wheat distillers dried grains with solubles for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 158, 177-186.
- De Lange, C.F.**, Souffrant, W.B., Sauer, W.C., 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the ¹⁵N-isotope dilution technique. *J. Anim Sci.* 68, 409-418.
- Dohou, N.**, Yamni, K., Tahrouch, S., Massani, L.M.I., Badoc, A., Gmira, N., 2003. Screening phytochimique d'une endémique Libéro-Marocaine, *Thymelaea luthroïdes*; . *Bull. Pharm. Bordeaux*, 142 61-78.
- Dumas, J.B.A.**, 1831. Procédés de l'analyse organique. *Annal. Chem. Phys. (Paris)* (2) 47.
- Eggum, B.O.**, 1970. The protein quality of cassava leaves. 24, 761.
- Furuya, S.**, Kaji, Y., 1992. The effects of the feed intake and purified cellulose on the endogenous ileal flow in growing pig. *British Journal of Nutrition* 68, 463-472.
- Griffiths, D.W.**, 1986. The inhibition of digestive enzymes by polyphenolic compounds. *Adv. Exp. Med. Biol.* 199, 509-516.
- 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. *Livestock Research for Rural Development* 22, 68.
- Hess, V.**, Sève, B., 1999. Investigation of the variation of the basal endogenous losses in the growing pigs. *J. Anim. Sci.* 82, 715-724.

- Hock-Hin, Y.**, Kalanethee, P., 1989. Variation in leaf protein contents and amino acid compositions of Cassava cultivars. *Biochemical systematics and ecology* 17, 199-202.
- Jansman, A.J.M.**, 1993. Tannins in Feedstuffs for Simple-Stomached Animals *Nutrition Research Reviews* 6, 209-236.
- Jorgensen, H.**, Zaho, X.Q., Eggum, B.O., 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *British Journal of Nutrition* 75, 365 - 378.
- Juste, C.**, 1982. Apports endogènes par les sécrétions digestives chez le porc. . *In: Physiologie Digestive chez le Porc* (Laplace, J. P., Corring, T. & Réat ,A., eds.), Les Colloques de l'INRA, Paris, France. 12
155-173.
- Kumar, R.**, Singh, M., 1984. Tannins: their adverse role in ruminant nutrition. *J. Agric. Food Chem.* 32, 447 - 458.
- Lahaye, L.**, Ganier, P., Thibault, J.N., Seve, B., 2004. Technological processes of feed manufacturing affect protein endogenous losses and amino acid availability for body protein deposition in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 113, 141-156.
- Laplace, J.P.**, Souffrant, W.B., Hennig, U., Chabeauti, E., Février, C., 1994. Measurement of pre-caecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs: comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis. *Livest. Prod. Sci.* 40, 313-328.
- Leterme, P.**, Londono, 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. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 1725-1732.
- Limsila, A.**, Tangsakul, S., Sarawat, P., Watananonta, W., Aekmahachai, P., Petchburanin, C., Pichitporn, S., Howeler, R., 2005 Cassava leaf production research in Thailand In: Poster prepared by the Field Crops Research Institute, D.o.A., Chatuchak, Bangkok, Thailand and the CIAT Cassava Office for Asia, (Ed.), Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, Thailand. .
- Mariscal-Landin, G.**, Sève, B., Colléaux, Y., Lebreton, Y., 1995. Endogenous Amino Nitrogen Collected from Pigs with End-to-End Ileorectal Anastomosis is Affected by the Method of Estimation and Altered by Dietary Fiber. *The Journal of Nutrition* 125, 136-146.
- McDowell, L.R.**, Conrad, J.H., Thomas, J.E., Harris, L.E., 1974. *Latin American Tables of Feed Composition*. Gainesville, USA: University of Florida.

- Mitaru, B.N.**, Blair, R., Reichert, R.D., Roe, W.E., 1984. Dark and yellow rapeseed hulls, soybean hulls and a purified fiber source: Their effects on dry matter, energy, protein and amino acid digestibilities in cannulated pigs *J. Anim. Sci.* 59, 1510.
- Mossé, J.**, 1990. Nitrogen-to-protein conversion factor for 10 cereals and 6 legumes or oilseeds. *J. Agric. Food Chem.* 38, 18-24.
- Noblet, J.**, Sève, B., Jondreville, C., 2004. Nutritional values for pigs. . In: Sauvant, D., Perez, J.M., Tran, G. (eds.), *Tables of Composition and Nutritive Value of Feed Materials*. INRA Editions, Versailles, pp. 25-35.
- Nyachoti, C.M.**, De Lange, C.F.M., McBride, B.W., Schulze, H., 1997. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. *Canadian Journal of Animal Science* 77, 149-163.
- Oke, O.L.**, 1978. Problems in the use of cassava as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 3, 345-380.
- Oke, O.L.**, 1984. The use of cassava as pig feed. *Nutrition Abstracts and Reviews*, B 54, 301-314.
- Phuc, B.H.N.**, Lindberg, J.E., 2000. Ileal and total tract digestibility in growing pigs given cassava root meal diets with inclusion of cassava leaves, Leucaena leaves and groundnut foliage. *Animal Science* 71, 301-308.
- 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. *Animal Science* 72, 511-517.
- Ravindran, V.**, 1993. cassava leaves as animal feed : potential and limitation. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 61, 141-150.
- Rodriguez, L.**, Lopez, D.J., Preston, T.R., Peters, K., 2006. New Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) leaves as partial replacement for soya bean meal in sugar cane juice diets for growing pigs. *Livestock Research for Rural Development* 18, (7).
- Samur, C.**, 1984. Producción de Leche de Cabras Alimentadas con King Grass (*Pennisetum purpureum*) y Poró (*Erythrina poeppigiana*) Suplementadas con Fruto de Banano (*Musa sp. cv. Cavendish*). MSc. . thesis, Turrialba, Costa Rica: Universidad de Costa Rica/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). .
- SAS**, 2008. Statistical analysis system release 8.01. Cary, NC: SAS Institute INC.
- Sauvant, D.**, Perez, J.-M., Tran, G., 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. . Paris: INRA Editions.

- Sauvant, D.**, Perez, J.-M., Tran, G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Pigs, poultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Paris: INRA Editions.
- Sève, B.**, Hess, V., 2000. Amino acid digestibility in formulation of diets for pigs: present interest and limitations future prospects. Page 167 in Recent Advances in Animal Nutrition 2000. P. C. Garnsworthy and F. Wiseman. ed. Nottingham Univ. Press. Nottingham. UK.
- Shayo, C.M.**, Udèn, P., 1999. Nutritional uniformity of crude protein fractions in some tropical browse plants estimated by two in vitro methods. *Animal Feed Science and Technology* 78, 141-151.
- Stein, H.H.**, Sève, B., Fuller, M.F., Moughan, P.J., de Lange, C.M.G., 2007. Invited review: amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: terminology and application. *J. Anim. Sci.* 85, 172-180.
- Van Soest, P.J.**, Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583-3597.
- Walter, W.M.**, Purcell, A.E., 1986. Protein of the Sweet Potato, *Plant Proteins: Applications, Biological Effects, and Chemistry*, American Chemical Society, pp. 234-248.
- Wünsche, J.**, Herrmann, U., Meinel, M., Hennig, U., Kreienbring, F., Zweirz, P., 1987. Einfluß exogener Faktoren auf die präzäkale Nährstoff und Aminosäurenresorption, ermittelt Zerkleinerungsgrades von Getreide. . *Archives of Animal Nutrition* 37: 745-764.

INTRODUCTION A LA PUBLICATION 3 & 4

Certaines plantes vivrières tropicales présentent la caractéristique de pouvoir, potentiellement, être à la fois une source d'énergie (tubercules riches en amidon) et une source de protéines (feuillages riches en protéines) pour l'alimentation animale. C'est le cas du manioc, des patates douces et du madère. Les racines de manioc sont les plus utilisées actuellement dans les régions tropicales. C'est la raison pour laquelle nous avons choisi de focaliser nos travaux sur ces tubercules afin d'en déterminer la valeur énergétique selon la forme de distribution (étude N°3) et l'âge de récolte (étude N°4).

Les objectifs de la troisième étude étaient de : 1/ de mesurer l'effet du taux d'incorporation de manioc sous forme broyé sur la digestibilité et le comportement alimentaire du porc Créole en croissance ; 2/ de tester l'effet de la forme de distribution (cossette, copeaux ou farine) et le temps de séchage (3 et 6 h) sur la capacité d'ingestion, la digestibilité, ainsi que le comportement alimentaire. Pour cela nous avons utilisé des racines de manioc issues de cultivars « amers » (riche en HCN). La digestibilité fécale des racines broyées, en chips et en farine a été déterminée sur 12 porcs créoles. Les objectifs de l'étude 4 étaient de compléter les résultats de l'étude 3, en testant les effets de l'âge à la récolte (5 ou 11 mois) sur la valeur énergétique du tubercule de manioc « doux ». Dans le cas des tubercules de manioc, le stockage de l'amidon n'est pas régulier, il varie avec l'âge de la plante. Ce stockage atteint une activité maximale lorsque le feuillage présente une dimension optimale. Une fois la partie aérienne constituée, la partie tubérisée se développe rapidement. Vers 3 mois les réserves commencent à se construire, jusqu'à 8 mois. Pour cela nous avons utilisé un dispositif en carré latin 3 × 3. Les résultats présentés dans l'étude N°4 sont obtenus à partir de cultivars doux de manioc qui ont été récoltés à 5 et 11 mois (pour voir une variation entre les deux stades) et sur la même parcelle et étudié sous forme de farine dans un dispositif en carré latin avec 3 porcs Créoles.

PUBLICATION 3

Article accepté dans *Animal feed science and technologie*

**Etude des effets du traitement sur la digestibilité et
l'appétence des racines de manioc chez les porcs
Créoles en croissance**

Effects of processing methods on the digestibility and palatability of cassava root in growing
pigs

C. Régnier^(a), B. Bocage^(a), H. Archimède^(a), D. Renaudeau^{(a)*}.

Abstract

Four experiments were carried out to evaluate the effects of processing methods on the digestibility and palatability of cassava roots (CR) in growing pigs. Fresh CR were ground with a vegetable biomass chopper (ground CR) or manually chopped with a slicing tool into thin chips (chopped CR). An electric grinder with a 3 mm diameter screen was used to make CR meal from dried ground CR obtained after a 6-h drying period (meal-6h). The ground, chopped and meal forms were chosen because they are the main forms used for feeding pigs in such geographical areas. In Experiment 1, changes in hydrocyanic acid (HCN) and dry matter (DM) contents in chopped and ground CR were measured during a 24-h drying period in a solar dryer. The minimum drying times required to reach the minimum HCN content in ground and chopped CR were 3 and 6 h, respectively.

The second and third experiments were designed to determine the effects of the processing form (chopped, ground or meal forms; Experiment 2) and the effects of increasing incorporation rates of ground CR (Experiment 3) on the coefficient of total tract apparent digestibility (CTTAD) of nutrients and energy in the experimental diets. In Experiment 2, a total of six pigs were studied in a 3×3 Latin square design. Each pig was fed alternately with one of the three experimental cassava cassava forms, being offered 400 g/kg DM of CR products and 600 g/kg DM of a control corn soya bean meal (CSBM) diet. In Experiment 3, four pigs were studied in a 4×4 Latin square design and the dietary treatment included a gradual increase in ground CR from 0 to 600 g/kg of DM offered in the CSBM diet.

In Experiment 2, it was found that the energy CTTAD of the experimental diet was not affected by the cassava form of the cassava (chopped, ground or meal) ($P > 0.05$), and averaged 0.927. In Experiment 3, the CTTAD of organic matter and energy linearly increased ($P < 0.05$) with the gradual incorporation of ground CR. The digestible and metabolizable energy values of the ground CR were 15.6 and 15.5 MJ/kg DM, respectively.

Experiment 4 was designed to investigate dietary preferences between a CSBM diet and the CR offered in chopped, ground or meal forms with different drying durations (3 or 6 h). Variations in the palatability of CR products were mainly related to differences in the DM and HCN contents. From the results obtained in Experiments 2, 3 and 4, the ground CR dried for 6 h appeared to be the most appropriate form for incorporating cassava roots into pig feed under the conditions of a small-scale farming system.

Keywords: Cassava root, hydrocyanic acid, digestibility, palatability, Creole pig.

Introduction

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is mostly cultivated in tropical areas because of its high suitability for growing in marginal climatic and soil fertility conditions with a high productivity per unit area (i.e., about 70 t/ha of fresh tubers; (FAO, 1991). Cassava roots are fed mainly fed to pigs as meal or chips, and given its high starch content, cassava meal is considered to be a useful energy source for pigs. It can be incorporated at a rate of more than 500 g/kg dry matter (DM) in the diet of starting or growing pigs. In tropical areas, pig production is mainly carried out by small-scale farming systems with high crop-livestock integration.

The presence of toxic cyanogenic glucosides is the main limiting factor in the use of cassava as an animal feedstuff. The level of total HCN varies in cassava tubers. Lethal doses for animal species are difficult to estimate. According to the literature, a hydrocyanic acid (HCN) content over 8 mg/kg BW has a negative effect on pig health (Getter and Baine, 1938 ; Geoffroy and Barreto-Velez, 1983; Tewe, 1992b). Cassava roots must therefore be detoxified to reduce the hydrocyanic acid (HCN) content, especially in bitter cultivars. Several processes for detoxifying cassava are described in the literature (Tewe, 1992b) including peeling, cooking, ensiling and drying. However, it would be useful to develop simple and cheap solutions that could be implemented in small-scale farming systems.

The objective of this study was to evaluate the effects of processing forms and drying duration in a solar dryer on several cassava root characteristics (palatability, nutritional value) with reference to pig feeding in small-scale farming systems.

Material and methods

Experimental design

From February to June 2008, ten castrated male Creole pigs were used in four experiments conducted at the INRA experimental station in Guadeloupe, French West Indies (latitude 16°N, longitude 61°W). All cassava roots (CR) used in the present study were harvested at 12 months old, the average commercial harvest age in Guadeloupe. The fresh CR were ground into small particles (less than 2 cm) with a vegetable biomass chopper (Honda 8 hp OHV engine, USA) (ground CR) or manually chopped with a mandoline into 1 cm-thick chips (V-Shaped mandoline slicer, commercial model) (chopped CR). An electric grinder

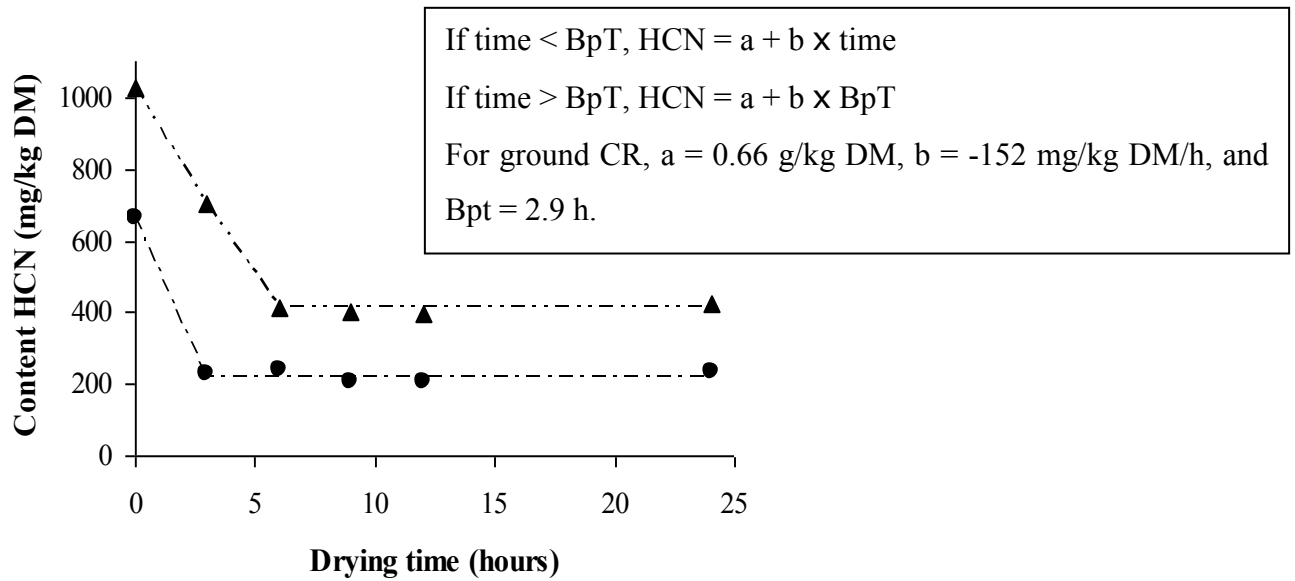


Figure 1. Effect of drying time on the hydrocyanic acid content (HCN) in ground (●) and chopped (▲) cassava root (CR), (Experiment 1). Each point is the average of two values. A broken line relationship was used to predict the reduction of HCN content while increasing drying time. The break point time (BpT) is the minimum time required to reduce HCN content. The HCN initial content of cassava root was 1027 mg/kg DM.

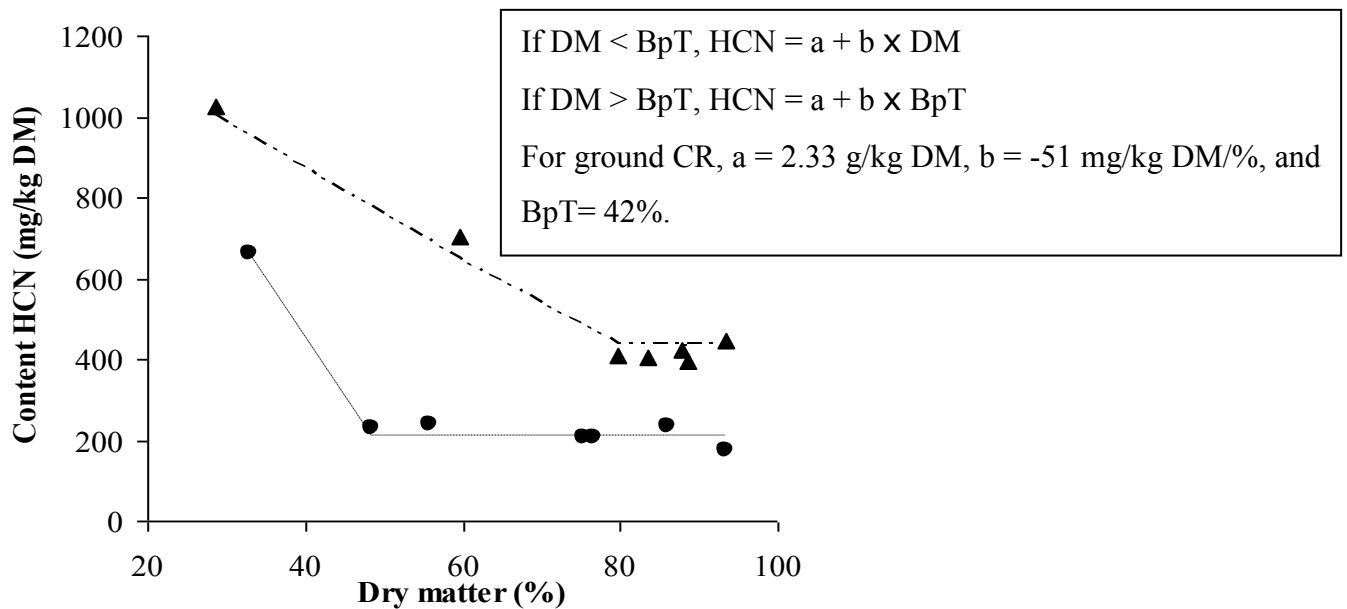


Figure 2. Effect of variation of in dry matter (DM) content in CR products on the hydrocyanic acid (HCN) content in ground (●) and chopped (▲)CR, (Experiment 1). Each point is the average of two values. A broken line relationship was used to predict the reduction of HCN content while increasing the DM. The break point time (BpT) is the minimum DM required to reduce HCN content.

(Reich hammer mill, Germany) with a 3 mm diameter screen was used to make CR meal from dried ground CR obtained after a 6-h drying period (meal-6h).

In Experiment 1, the effect of drying time on HCN content in ground and chopped CR forms was tested. For both forms, a sample of 50 kg was spread out in a 10 cm-thick layer and dried for 24 h in a solar dryer system (125 m³). Samples (n = 3) were collected before starting the drying process (t = 0) and at 2, 4, 6, 9, 12 and 24 h. In total, 21 samples were collected and weighed to determine their dry matter (DM) content and then stored in closed plastic bags for further HCN analyses.

Experiment 2 measured the effect of processing on the nutritional and energetic values of the CR products after 6 h of drying (chopped-6h, ground-6h and meal-6h). Six Creole pigs were randomly assigned to two simultaneous 3 × 3 Latin square designs. Each pig was fed alternately with one of the three experimental diets for three successive eight-day periods, during which the excreta were collected to determine the coefficient of total tract apparent digestibility (CTTAD) of energy and nutrients.

Experiment 3 reevaluated the effects of increasing the incorporation rates of ground-6h CR on nutrient and energy digestibility. Four pigs were assigned to the four dietary treatments, from 0 to 600 g/kg of DM offered in a corn soya bean meal (CSBM) diet, in a 4 × 4 Latin square design. Each pig alternately received one of the four experimental diets for four successive eight-day periods, during which the excreta were collected.

The effects of the processing form on the palatability of the cassava roots were studied in the fourth experiment. Ten castrated male Creole pigs (75 kg BW) used in the previous experiments were randomly assigned to five experimental treatments (2 pigs/treatment).

During a fifteen-day experimental period, the pigs were given a choice between a CSBM diet and one of the five dietary treatments (meal-6h, ground-3h, ground-6h, chopped-3h and chopped-6h) combining different forms (meal, ground or chopped CR) and different drying durations (3 or 6 h). Every two days the position of the troughs containing the control and cassava root diets was reversed. This experiment was performed according to the method previously described by Henry (1987).

Housing and feeding

The pigs were individually housed in metabolism crates designed to collect urine and faeces separately, with each crate equipped with one (Experiments 2 and 3) or two

Table 2. Chemical compositions of the control diet and the cassava root forms

Item ¹	Control ²	Cassava root		
		ground	chopped	meal
Dry matter (DM), g/kg fresh	881	890	877	888
Chemical composition, g/kg DM				
Organic matter	942	963	970	961
Crude protein	184	20	24	24
Starch	528	751	746	728
Crude fat	32	3	5	03
Neutral detergent fibre	138	70	52	87
Acid detergent fibre	39	43	32	52
Gross energy, MJ/kg MS	18.3	16.9	17.0	16.8
Hydrocyanic acid, mg/kg fresh	-	212	367	25

The initial dry matter of cassava root was 230 g/kg fresh.

¹Mean chemical composition measured on a total of 4, 4, 3 and 3 samples for control diet, ground cassava root, chopped cassava root, and meal cassava root, respectively.

² Within a control diet containing 700 g/kg DM maize and 230 g/kg DM soybean meal

(Experiment 4) feed dispensers. The pigs had free access to water through a nipple drinker. Climatic parameters were not controlled but they were assumed to be similar to those of the outdoor conditions. The care and use of the animals were performed according to the Certificate of Authorization to Experiment on Living Animals, number A-971-18-01 (issued by the French ministry of Agriculture).

For any given experiment and within each experimental period, the pigs were initially allowed to adapt to the diets for 10 d. In Experiments 2 and 3, the feeding level was progressively increased in order to achieve an average of 160 g DM/d/kg BW^{0.60} (Noblet et al., 1999) at the end of the adaptation period. In Experiment 4, the pigs were given the choice between the cassava and control diets. Both diets were offered *ad libitum* to analyse the differences in the percentages of self-selection and the daily feed intake of each product. The pigs' spontaneous food selection was measured during the first 30 min following feed distribution, whereas the consumption was measured throughout the whole day.

In Experiment 2, the three forms of the cassava root products (meal-6h, ground-6h and chopped-6h) were incorporated into the control diet at an average rate of 430 g/kg DM. In Experiment 3, a gradually increasing amount of ground CR dried for 6 h (ground-6h) (0, 200, 400 and 600 g/kg DM offered) was incorporated into the control diet, which was otherwise similar in all experiments. For all of the treatments offering CR products, the animals were supplemented with a vitamin and mineral premix in order to maintain an optimal balance (1 g/100 g DM).

Measurements and chemical analyses

All pigs were weighed at the beginning and end of the adaptation period, and at the end of the excreta collection period. In Experiment 2, time budgets were visually determined according to the scan sampling method (Altmann, 1974). The behaviour (standing, sitting, lying, feeding, and drinking) was recorded at 5 min intervals during the 12-h period following feed distribution. Every morning, all feed refusals and spillages were collected, weighed and dried (at 65 °C until constant weight) in order to measure the DM content. After removing the refusals in Experiment 4, the pigs were restrained from eating for about 30 min and the pigs' spontaneous food selection (choice between the control or CR diets) was observed for 30 min after refilling the feeders. The daily feed intake of each diet was recorded each day.

Table 2. Digestive utilisation of experimental diets including different processing forms of cassava root dried during 6h (Experiment 2)

Item	Control + Ground-6h	Control + Chopped-6h	Control + Meal-6h	RSD ¹	Statistical analyses ²		
					Diet	Period ³	Animal
Number of pigs	6	6	6	-	-	-	-
Average BW, kg	57.5	58.2	57.5	1.8	NS	***	***
DM offered, g/d/kg BW ^{0.60}							
Control diet	96	96	95	1	NS	**	NS
Cassava product	69	86	66	14	NS	NS	NS
Total	165	182	161	14	NS	NS	NS
DM refused, g/d/kg BW ^{0.60}	0 ^a	33 ^b	0 ^a	16	*	NS	NS
DM intake, g/d/kg BW ^{0.60}	165 ^a	149 ^b	161 ^a	5	**	*	NS
Incorporation of CR products, % DM offered	42	46	41	1	NS	***	NS
CTTAD							
Organic matter	0.905	0.912	0.912	0.005	NS	***	NS
Nitrogen	0.826	0.846	0.836	0.017	NS	NS	NS
Starch	0.997	0.998	0.996	0.001	NS	NS	NS
Neutral detergent fibre	0.493	0.540	0.535	0.035	NS	***	NS
Acid detergent fibre	0.398	0.471	0.497	0.047	NS	NS	NS
Energy	0.896 ^a	0.903 ^b	0.903 ^b	0.004	*	**	NS
GE, MJ/kg DM	17.7 ^a	17.8 ^b	17.7 ^a	0.1	**	***	NS
DE, MJ/kg DM ⁴	15.9 ^a	16.1 ^b	16.0 ^b	0.1	*	***	NS
ME, MJ/kg DM ⁵	15.4 ^a	15.6 ^b	15.5 ^b	0.1	*	***	NS
ME/DE	0.97	0.97	0.97	0.001	NS	NS	NS

¹ RSD: residual standard deviation.

² From an analysis of variance with effects of diet (n=3), period (n=3) and animal (n=6); Statistical significance: *, P<0.05; **, P<0.01; ***, P<0.01; NS.

^{a, b, c} Least Square Mean values within a row with unlike superscript letters were significantly different between diets, P<0.05.

³ The CTTAD of energy was higher in period 2 than the other periods (0.916 vs. 0.893; P <0.05).

⁴ Calculated from measured GE content and energy loss in faeces (MJ/kg DM) = 18.73 - 1.92 × A + 2.23 × EE + 4.07 × N, with A, EE and N for Ash, Ether Extract and Nitrogen contents in faeces (g/kg DM), R² = 0.93, RSD = 0.35; ⁵ Calculated from calculated DE value and estimated energy loss in the urines (kJ/d) = 345 + 31.1 × N loss in urine (g/d), R² = 0.94, RSD = 110.

Samples of the control and the different cassava product diets were also taken daily and all samples from each diet were pooled at the end of the sampling period. All of these samples were dried at 65 °C for 96 h for DM determination and further chemical analyses.

During the eight-day collection period, faeces and urine were collected separately and stored at 4 °C on a daily basis. Sulphuric acid (0.1 N; 10% v/v) was added to the urine in order to avoid ammonia losses during collection and storage. The faeces and urine were weighed, homogenized and sub-sampled at the end of the sampling period. Two samples of faeces were heat dried (48 h at 103 °C) for DM determination and one was freeze-dried for further chemical analyses.

Organic matter (OM), nitrogen (N), ether extract (EE) and starch analyses were performed according to the AOAC methods (AOAC, 1990) on the diet samples. Free sugars in the diet samples were measured according to Tollier and Robin (Tollier and Robin, 1979), and the gross energy (GE) content was measured using an adiabatic bomb calorimeter (IKA, C5000, Staufen, Germany). Dry faecal samples were analysed for DM, ash, EE, starch and N, and fresh samples of urine were analysed for nitrogen (N). Cell wall components (neutral detergent fibre, NDF; acid detergent fibre, ADF; and acid detergent lignin, ADL) in the dietary and faecal samples were determined according to Van Soest et al. (Van Soest et al., 1991). The HCN content was determined using a common picric acid method described by Hogg and Ahlgreen (1942) in 21 samples from Experiment 1.

Calculation and statistical analysis

For determination of the optimal drying time and optimal DM of the product, data obtained in the first and second experiments were analysed using a linear-plateau model which gave the minimum drying time (BpT) required to obtain the minimum HCN content (a). When time or DM < BpT, $HCN = a + b \times \text{time or DM}$, and when time or DM > BpT, $HCN = a$. Values of a, b and BpT were determined using the NLIN procedure in the statistical package SAS (2008).

The CTTAD values of DM, OM, CP, ash, starch and energy were calculated for each pig involved in Experiments 2 and 3. The digestible energy content (DE) was estimated as the difference between the measured gross energy (GE) and the estimated energy loss in faeces (Noblet, personal communication). The metabolizable energy content (ME) of the diet was calculated as the difference between the DE and energy loss in urine estimated from the N

Table 3. Time budgets (percentage of time) between 7:00 to 19:00 h in pigs fed with different processing forms of cassava roots (Experiment 2)

Time budgets %	Experimental diets			RSD ¹	Statistical analyses ²		
	Control + Ground-6h	Control + Chopped-6h	Control + Meal-6h		Diet	Period	Animal
Position:							
Standing	12.1	15.0	16.8	3.2	NS	NS	NS
Sitting	13.9	14.6	13.4	4.6	NS	NS	NS
Lying	74.0	70.7	69.9	5.4	NS	NS	NS
Activity:							
Feeding	15.5 ^a	15.7 ^a	19.3 ^b	2.4	*	***	NS
Drinking	3.9	4.6	4.5	1.7	NS	NS	NS
Others*	80.6 ^a	79.7 ^a	76.2 ^b	2.5	*	***	NS

The data are normally distributed according to the Shapiro-wilk, test.

¹ RSD: residual standard deviation.

² From analysis of variance with effects of diet (n=3), period (n=3) and animal (n=6); Statistical significance: *, P<0.05; **, P<0.01; ***, P<0.01; NS. ^{a, b, c} Least Square Mean values within a row with unlike superscript letters were significantly different between diets, P<0.05.

* Other activities than feeding or drinking.

loss (g/d) according to the equation in (Noblet and Le Goff, 2001). The amount of nitrogen retained was taken as the difference between intake and losses in faeces and urine.

The results obtained for Experiments 2 and 3 were analysed independently using analysis of variance (SAS, 2002) including the effects of diet, replicate and animal. The means were compared according to the PDIFF option, using the Tukey test for contrasts. In Experiment 2, the digestive utilisation of CR products was calculated according to the difference method (Noblet and Shi, 1994). Assuming that the energy, starch and crude protein digestibility of the control diet remained constant in the experimental diets, the CTTAD of the energy and dietary chemical fractions of the CR products in Experiment 2 were calculated from the incorporation rate in feed and the CTTAD of control and mixed (control + CR products) diets in Experiment 2. For this, we assumed that the CTTAD of the control diet was similar in Experiments 2 and 3. For Experiment 3, linear regressions between CTTAD measured in the experimental diets and the incorporation rate of ground cassava roots were calculated.

Results

Experiment 1: the effects of drying time and water loss on HCN content.

In fresh material (t₀), the DM of CR was 230 g/kg and the HCN content was lower in ground than in chopped CR (0.66 vs. 1.03 g/kg DM, respectively; P<0.05). The rate of HCN loss over the drying time did not differ between ground and chopped CR (-129 mg of HCN/kg DM/h on average; P>0.05; Figure 1). A time of 2.9 h was required to obtain ground CR with a minimum value of HCN (0.22 g/kg DM; Figures 1 and 2). The corresponding values for the chopped CR were 5.7 h and 0.42 g/kg DM, respectively. Before the breakpoint DM content, each percentage increase in DM led to a reduction in HCN content by 51 and 12 mg/kg DM in ground and chopped CR, respectively (Figure 2). The minimum HCN content was obtained at 420 and 780 g/kg of DM in chopped and ground CR, respectively. According to the results of the first experiment, 6 h of drying was chosen to minimise the risk of toxicity from HCN and to compare the nutrient and energy digestibility of ground and chopped CR.

Experiments 2 & 3: Chemical composition and nutritive value

In comparison to the control diet, the CR products were characterised by their low nitrogen and NDF contents and a high starch content (Table 1). The chemical composition

Table 4. Effect of different level of ground cassava root dried during 6h in the experimental diet on digestive utilisation of energy and main components in the diets (Experiment 3)

Item	Control	Control + 20% Ground-6h	Control + 40% Ground-6h	Control + 60% Ground-6h	RSD ¹	Statistical analyses ²		
						Diet	Period ³	Animal
Number of pigs	4	4	4	4	-	-	-	-
Average BW, kg	54.8	54.6	54.1	53.3	2.3	NS	***	*
DM offered, g/d/kg BW ^{0.60}								
Control diet	159 ^a	127 ^b	96 ^c	64 ^d	1	***	***	NS
Cassava product	0 ^a	34 ^b	69 ^c	103 ^d	2	***	*	NS
Total	159 ^a	161 ^a	164 ^b	167 ^b	2	**	***	NS
Incorporation of CR products, % DM offered	0 ^a	21 ^b	42 ^c	62 ^d	5	***	*	NS
DM intake, g/d/kg BW ^{0.60}	159 ^a	161 ^a	164 ^b	167 ^b	2	**	***	NS
Faeces DM, g/kg fresh	338 ^a	317 ^{ab}	290 ^b	283 ^b	20	*	*	NS
CTTAD								
Organic matter	0.890 ^a	0.900 ^{ab}	0.913 ^{bc}	0.923 ^c	0.012	*	**	NS
Nitrogen	0.853 ^a	0.847 ^a	0.821 ^{ab}	0.793 ^b	0.025	*	*	NS
Starch	0.999	1.000	0.997	0.999	0.001	NS	NS	NS
Neutral detergent fibre	0.597	0.588	0.576	0.546	0.057	NS	**	NS
Acid detergent fibre	0.554	0.545	0.487	0.481	0.092	NS	NS	NS
Energy	0.883 ^a	0.891 ^a	0.904 ^{ab}	0.913 ^b	0.001	*	**	NS
GE, MJ/kg DM	18.3 ^a	18.0 ^b	17.7 ^c	17.4 ^d	0.1	***	**	NS
DE, MJ/kg DM ⁴	16.2	16.0	16.0	15.9	0.3	NS	***	NS
ME, MJ/kg DM ⁵	15.5	15.5	15.6	15.6	0.3	NS	**	NS
ME/DE	0.96	0.97	0.97	0.98	0.01	NS	**	NS

¹RSD = residual standard deviation.

² From analysis of variance with effects of diet (n=3), period (n=3) and animal (n=6); Statistical significance: *, P<0.05; **, P<0.01; ***, P<0.001; NS. ^{a, b, c} Least square mean values within a row with unlike superscript letters were significantly different between diets, P<0.05.

³ The CTTAD of energy was significant with a higher value during the period 2 than in the 3 other periods (0.932 vs. 0.892; P < 0.05).

⁴ Calculated from measured GE content and energy loss in faeces (MJ/kg DM) = 18.73 - 1.92 × A + 2.23 × EE + 4.07 × N, with A, EE and N for Ash, Ether Extract and Nitrogen contents in faeces (g/kg DM), R² = 0.93, RSD = 0.35; ⁵ Calculated from calculated DE value and estimated energy loss in the urines (kJ/d) = 345 + 31.1 × N loss in urine (g/d), R² = 0.94, RSD = 110.

within the CR products was very similar except for NDF and HCN concentrations. The NDF content was slightly higher in ground and meal CR forms than in chopped CR. The HCN content was 14-fold higher in chopped than in meal CR (25 vs. 367 mg/kg, respectively), whereas an intermediate value was reported for the ground CR (212 mg/kg).

The resulting average body weights (BW) and total DM contents offered were similar for all dietary treatments in Experiment 2 (57.5 kg and 169 g DM/d/kg BW^{0.60}, respectively; Table 2). In contrast to the other treatments, feed refusals were collected from pigs fed the chopped CR diet. Analysis of the refusals showed that they were essentially composed of chopped CR. As a consequence, the actual rate of incorporation of chopped CR was lower than planned (29 vs. 40%). The CTTAD did not differ ($P > 0.05$) between the dietary treatments except for energy. The energy CTTAD of chopped-6h and meal-6h CR diets were higher than that of the ground-6h CR diet (average of 0.903 vs. 0.896, respectively; $P = 0.036$). In the same way, the DE and ME values of chopped-6h and meal-6h CR diets were higher than those of the ground-6h CR diet (16.1 and 16.0 vs. 15.9, and 15.6 and 15.5 vs. 15.4 MJ/kg DM, respectively; $P < 0.05$). The high energetic values of the chopped-6h diet were directly related to the lower inclusion rate of chopped CR. The CTTAD of OM, NDF and energy were affected by the period of excreta collection. The CTTAD of energy was higher in period 2 than in the other periods (0.916 vs. 0.893; $P < 0.05$). During the 12-h period following feed distribution, the time dedicated to feeding was higher in pigs fed meal-6h CR than for the other treatments (19.3 vs. 15.6%; $P < 0.05$; Table 3). No differences in the other activities was shown between the dietary treatments ($P < 0.05$) (Table 3).

The effect of a gradual increase of ground-6h CR on the CTTAD of energy and nutrients (Experiment 3) is presented in Table 4. Between diets 1 and 4, the incorporation rate of ground-6h CR increased from 0 to 103 g DM/d/kg BW^{0.60} in the total DM offered. Accordingly, each 10% increase in ground-6h CR led to a reduction of 9.6 g/kg of faecal DM content. The CTTAD of dietary fibre components was not influenced ($P > 0.05$) by the treatments. A gradual inclusion of ground-6h CR resulted in an increased CTTAD of OM and energy ($P < 0.05$), whereas there was an apparent decrease in nitrogen CTTAD (0.853 to 0.793, $P < 0.05$). Diet DE and ME contents were similar, with a concomitant decrease in the GE value and an improved digestibility of energy as the rate of incorporation of ground-6h CR increased. The effect of the excreta collection period on the CTTAD of energy was significant, with a higher value during period 2 than in the other three periods (0.932 vs. 0.892; $P < 0.05$).

Table 5. The estimated gross energy (GE), the CTTAD of energy and the digestible energy (DE) and metabolizable energy (ME) contents of cassava roots products dried during 6h according to the difference (Experiment 2) or regression (Experiment 3) method.

Item	Cassava root product				
	Ground-6h		Chopped-6h		Meal-6h
Experiment	2	3	2	2	2
Gross energy, MJ/kg DM	16.9	16.9	17.0	16.8	16.8
CTTAD of energy	0.913	0.933	0.942	0.932	0.932
DE, MJ/kg DM	15.5	15.8	16.0	15.7	15.7
ME, MJ/kg DM	15.3	15.7	15.8	15.6	15.6

Table 5 shows the calculations by difference (data obtained in Experiment 2) and by regression (data obtained in Experiment 3) of the average nutritional values of the CR products. The CTTAD of energy and DE content averaged 0.931 and 15.7 MJ/kg DM, respectively, regardless of the CR product.

Experiment 4: Palatability of the cassava roots

The dietary preferences recorded in Experiment 4 are presented in Figures 3 and 4. Regardless of the length of the drying duration, the pigs showed a high preference (90% of the total observations) for the ground CR (Figure 3). In the chopped CR group, the pigs showed a higher preference for product dried for 6 h than for 3 h (20 vs. 50%). However, the preference for chopped CR was lower than for ground CR. When meal-6h CR was offered with the control diet, the pigs preferred the control diet in 95% of the observations. Figure 4 shows the effects of HCN content in ground, chopped and meal CR on spontaneous consumption. Ground CR was ingested twice as much as chopped or meal CR. Regardless of the product (chopped or ground CR), the spontaneous DM intake increased with drying duration (3 vs. 6 h). With the exception of the meal form, the voluntary consumption of CR products was negatively related to their HCN contents.

Discussion

The chemical composition of fresh cassava roots and its by-products is well described in the literature. On a DM basis, the most important component is starch, which accounts for 600 to 800 g/kg DM of its composition (Gomez, 1991). This high variability is attributed to differences between cultivars, the age at harvest and soil fertility. The remainder is mainly composed of ash (23 to 50 g/kg DM) and NDF contents (30 to 64 g/kg DM) (Ocampo et al., 2005; Vasupen et al., 2008; Du Thanh et al., 2009). The chemical composition of the cassava root used in the present study was consistent with previous data. The slightly higher NDF content in ground and meal forms was attributed to the fact that the ends of the roots were not removed before the crushing process, whereas these parts were not included in the chopped CR diet.

One major concern in the use of fresh cassava products in animal feed is their HCN content, especially in bitter varieties. According to (Bolhuis, 1954), cassava root is classified as dangerous and poisonous for livestock when the HCN content is above 100 mg/kg of fresh

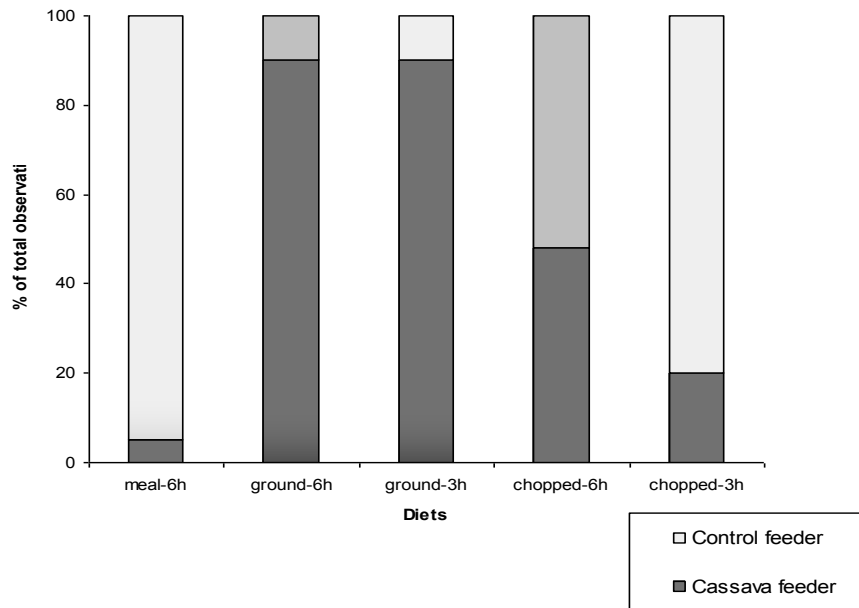


Figure 3. Frequency of spontaneous diet preference of pigs between feeders containing the control and feeders containing the cassava diet

From analysis of Chi² test (n=96, $\chi^2=48.1$, P<0.001), with ground, chopped and meal cassava root drying at 3 or 6 h.

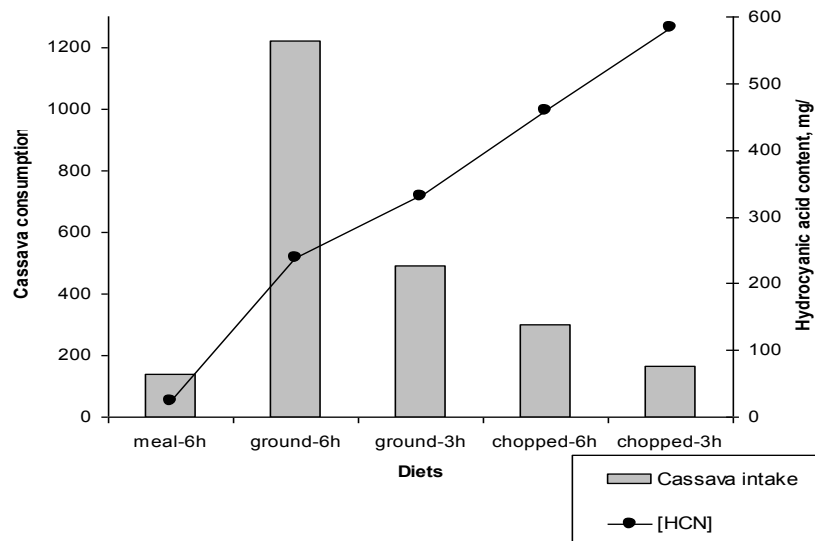


Figure 4. Effect of the hydrocyanic acid content (HCN) in ground, chopped and meal cassava root dried root 3 or 6 h (each point is the average of two values) on consumption (g) for different cassava distribution forms tested during 15 days and distributed *ad libitum* (each column is the mean of 15 values for two weeks)

tuber. However, it was reported that pigs could tolerate diets containing 50 mg/kg without any negative effects on growth performance (Bolhuis, 1954). A wide range of the total HCN concentration (140 to 890 mg/kg DM) has been found in fresh whole cassava roots (Gomez, 1991). This high variation in HCN content may be due to the cassava variety but also to changes in agronomic practices such as fertilisation. In our experiment, an even higher HCN concentration was found in fresh whole roots (1030 mg/kg DM; i.e., 237 mg/kg fresh). As a result, the cassava root used in the present experiment had to be detoxified before being fed to the pigs.

Ensiling and drying are the two main techniques used to reduce the HCN content in cassava roots and to ensure the preservation of feed (Gomez et al., 1988). In the present study, the drying technique was chosen because it is considered to be the simplest and cheapest method for detoxifying cassava roots in the tropics. Grinding reduced the HCN content by at least 40% compared with the chopped CR, presumably because of damage to the cell structure of the plant and the consequent release of linamarase. Linamarase is related to glucosides, which are transformed into HCN, a volatile acid (Atibu Kazinguvu, 2004). Once produced, the HCN was dissipated in the air during the grinding process. On average, a water loss of 20% corresponding to 3 h of drying was required to obtain a safe product when using ground CR. In contrast, the majority of HCN in the chopped CR was liberated when the pigs chewed the feed, which negatively affected its palatability (see below). Accordingly, the rate of HCN loss during drying was similar in the ground and chopped CR. As a consequence, the larger HCN content in chopped than in ground CR after 6 h of drying was mainly due to the larger HCN concentration in the chopped CR before drying. This result emphasises the importance of an initial processing method to detoxify CR.

In Experiment 4, changes in the palatability of the CR products obtained following different periods of drying or different processing methodologies were mainly related to differences in the concentration of HCN. In comparison with other livestock species, pigs are very sensitive to the organoleptic properties and the processing form of a diet (Sola-Oriol et al., 2009). It has been suggested that the bitter taste of cassava, related to the presence of HCN, reduces the palatability of the diet. Likewise, irrespective of the processing form of the feed (ground and chopped CR), an increase in drying time increased the palatability of CR in association with the changes in HCN content. In contrast, the meal CR had a very low HCN content and its palatability was reduced in comparison to the other forms. Similarly to the ground and chopped CR, meal was fed to the pigs without additional water, and thus the

“powdery aspect” of the meal might have limited the palatability of this diet. During the 12-h feeding behaviour measurements, differences in time budgets were observed between the different processing forms. The total eating time was 1.2 times longer when the pigs were fed with meal CR compared to ground CR, but the form of the feed did not influence the average daily feed intake. Similar results were reported when meal-fed pigs were compared with pigs fed pellets (Laitat et al., 1999). These results emphasise the important effect of technological treatment (grinding, drying) on the pattern of feeding and subsequent growth performance of pigs fed CR.

The most convenient and practical way to handle cassava is to dry the roots into chips and grind them into a meal. In the present study, the DE and ME values averaged 15.7 and 15.7 MJ/kg DM, respectively. These values were similar to data reported in the French tables (15.8 and 15.5 MJ/kg DM, respectively; (Sauvant et al., 2003), but higher than those published in Brazilian tables (14.5 and 14.3 MJ/kg DM, respectively; (Santiago Rostagno et al., 2005). According to (Oke, 1978), the DE and ME contents of CR can vary with age, time of harvest, country and variety in association with changes in the root starch content. According to (Noblet et al., 2003), changes in nutrient digestibility are mainly related to changes in the feed chemical composition. Logically, as the chemical composition did not vary greatly between the meal, ground and chopped CR forms, the processing form would have little influence on the energy value of CR. Our results showed that the energy CTTAD of CR products may change according to the treatment, as a higher value was obtained for chopped-6h CR whereas a lower value was obtained for ground-6h CR. According to the negative relationship between dietary fibre content and the CTTAD of energy (Le Goff et al., 2002b), the higher CTTAD of the chopped CR could have been related to its lower fibre content. The energy CTTAD of the ground CR calculated from data obtained in Experiments 2 and 3 differed slightly (Table 5) although the same raw CR was used in both experiments. This difference may be explained by a difference in energy CTTAD values for the control diet between Experiments 2 and 3.

Experiment 3 showed that the CTTAD of DM and energy increased linearly with the rate of ground-6h CR incorporation into the diet. Moreover, faecal DM decreased linearly as ground CR inclusion rate increased. This lower faecal DM content could be explained by a lower amount of undigestible matter as the ground CR level rose (Le Goff, 2001).

Conclusion

In conclusion, the results of the present study confirm that CR is a potential source of dietary energy for pigs in the tropics. Our data suggest that ground CR dried for 6 h is the most practical technique for incorporating cassava root into pig feed in small-scale farming systems.

Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge K. Benony, B. Bocage, M. Bructer, M. Giorgi, F. Sillou and A. Racon for their technical assistance, T. Etienne, S. Calif and G. Saminadin for the laboratory analyses, and B. A. N. Silva for linguistic assistance.

References

- Altmann, G.**, 1974. Observational study of behavior. Sampling methods. *Behavior* 49, 227–267.
- AOAC**, 1990. Official Methods of Analysis.
- Atibu Kazinguvu, E.**, 2004. Cinétique de l'élimination du cyanure dans le manioc. Université de Kinshasa.
- Bolhuis, G.G.**, 1954. The toxicity of cassava root. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 2, 176-185.
- Du Thanh, H., Linh, N.Q., Everts, H., Beynen, A.C.**, 2009. Ileal and total tract digestibility in growing pigs fed cassava root meal and rice bran with inclusion of cassava leaves, sweet potato vine, duckweed and stylosanthes foliage. *Livestock Research for Rural Development*, 21.
- FAO**, 1991. Production Yearbook, FAO, Rome.
- Geoffroy, F., Barreto-Velez, F.**, 1983. Revue sur le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans l'alimentation des ruminants: I. Composition chimique, valeur alimentaire, toxicité et conditionnement. *Turrialba* 33, 231-241.
- Getter, A.O., Baine, J.**, 1938. Research on cyanide detoxification. *American Journal of Medical Science*, pp. 185-189
- Gomez, G., Valdivieso, M., Santos, J.**, 1988. Cassava whole-root chips silage for growing-finishing pigs. *Nutrition Reports International* 37, 1081-1092.
- Gomez, G.G.**, 1991. Use of cassava products in pig feeding. *Pig News and Information* 12, 387-390.

- Henry, Y.**, 1987. Self-Selection by Growing Pigs of Diets Differing in Lysine Content. *J Anim Sci* 65, 1257-1265.
- Hogg, P. G.**, and Ahlgren, H. L., 1942. A rapid method for determining hydrocyanic acid content of single plants of Sudan grass. *J. Amer. Soc. Agron.* 42, 199-200.
- Laitat, M.**, Vandenheede, M., Desiron, A., Canart, B. and Nicks, B., 1999. Comparison of performance, water intake and feeding behaviour of weaned pigs given either pellets or meal. *Animal Science* 69, 491-499.
- Le Goff, G.**, 2001. Etude des mécanismes impliqués dans l'évolution de la digestion et de l'utilisation métabolique des fibres alimentaires au cours de la vie du porc. Conséquences pour l'estimation de la valeur énergétique des aliments. Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes.
- Le Goff, G.**, van Milgen, J. and Noblet, J., 2002. Influence of dietary fibre on digestive utilisation and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Animal Science* 74, 503-515.
- Noblet, J.**, Bontems, V., Tran, G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. *INRA Production Animale* 16,197-210.
- Noblet, J.**, Karege, C., Dubois, S., van Milgen, J., 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J Anim Sci* 77, 1208-1216.
- Noblet, J.**, Le Goff, G., 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 90, 35-52.
- Noblet, J.**, Shi, X.S., 1994 Effect of body weight digestive utilization of energy and nutriments of ingredients and diets in pigs. *Livestock Production Science* 72, 323-338.
- Ocampo, L.M.**, Leterme, P., Buldgen, A., 2005. A Survey of Pig Production Systems in the Rain Forest of the Pacific Coast of Colombia. *Tropical Animal Health and Production* 37, 315-326.
- Oke, O.L.**, 1978. Problems in the use of cassava as animal feed. *Anim. Feed Sci. Technol.* 3, 354-380.
- Santiago Rostagno, H.**, Fernanda Teixeira Albino, L., Lopes Donzele, J., Cezar Gomes, P., Flavia de Oliveira, R., Clementino Lopes, D., Soares Ferreira, A., Toledo Barreto, S.L., 2005. Brazilian Tables for Poultry and Swine.
- SAS**, 2008. Statistical analysis system release 8.01. Cary, NC: SAS Institute INC.

- Sauvant, D.**, Perez, J.-M., Tran, G., 2003. Tables de composition et de la valeur nutritive des matières destinées aux animaux d'élevage.
- Sola-Oriol, D.**, Roura, E., Torrallardona, D., 2009. Feed preference in pigs: Relationship with feed particle size and texture. *J. Anim Sci.*, 571-582
- Tewe, O.O.**, 1992. Detoxification of cassava products and effects of residual toxins on consuming animals. In: *Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding*. Machin, D. (ed.); Nyvold, S. (ed), 301 p. FAO, Rome (ITA).
- Tollier, M.T.**, Robin, J.P., 1979. Adaptation de la méthode à l'orcinol sulfurique au dosage automatique des glucides neutres totaux: conditions d'application aux extraits d'origine végétale. *Annales de Technologie Agricole* 28, 1-15.
- Van Soest, P.J.**, Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neural detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583-3597.
- Vasupen, K.**, Yuangklang, C., Wongsuthavas, S., Srenanul, P., Mitchaothai, J., Beynen, A.C., 2008. Macronutrient digestibility in Kadon pigs fed diets with isonitrogenous amounts of various carbohydrate sources. *Tropical Animal Health and Production* 40, 249-253.

PUBLICATION 4

**Etude de l'effet du stade de récolte sur la valeur
nutritionnelle des racines de manioc chez les porcs**

Effect of age at harvesting on the nutritional value of cassava roots in pigs

Régnier¹, C., Archimède¹, H., González-García^{1,2}, E., Renaudeau¹, D.

Abstract

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) roots (CR) are known as having a relatively high energy content as compared with other sources of energy (such as maize and wheat). Most research conducted in the past focused mainly on the differences in yield or nutritive value that depend to a large extent on genetics, environment and the stage of harvesting.

The objective of the present trial was to estimate the nutritive and energy value of cassava root harvested at 5 and 11 months of age in the local Caribbean pig breed. Once harvested, fresh CR were ground with a vegetal chopper CR and dried during 6-h in a solar dryer system. Three castrated male Creole pigs were used in a 3×3 Latin square design with a control diet (diet C) and two other dietary treatments with 200 g/kg of dry matter (DM) of the diet C replaced by dried CR harvested at 5 or 11 months of age (diet CR_5m or CR_11m, respectively). The chemical composition showed higher crude protein and gross energy contents in CR_5m than in CR_11m. (3.8 vs. 1.8 % DM and 17.1 vs. 16.8 MJ/kg DM, respectively). Energy digestibility coefficient was higher in CR harvested at 11 months of age than at 5 months of age (93.7 vs. 90.6 %), and was improved between periods 1 and 3 ($P < 0.01$) in connection with the increased pig BW. The data of the present study suggests that it is more suitable to harvest CR at 11 than at 5 months of age for feeding pigs.

Keywords : Cassava root, Creole Pig, Nutritional quality, Stage of harvesting

Introduction

A rational exploitation of local feed resources for replacing imported feed could support much more sustainable production systems in developing countries. Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is widely grown in the tropical regions mainly for human food purposes. The excess in cassava production in most of the cassava-producing countries of Latin America, Africa and Asia is generally used as feed for animal production (Ravindran, 1995). Utilization of cassava as animal feed has been extensively described (Gomez, 1991); (Tewe and Egbunike, 1992). When diets are properly balanced for energy and protein, cassava roots may replace cereals without any deleterious effect on pigs' growth performance (Perez et al., 1981). The commercial harvest age of CR in Guadeloupe generally varies between 10 and 12 months of age. In most of the published studies, cassava roots were harvested from 9 to 12 months of age which is considered as the optimal age to attain the maximal yield of tubers for human needs (Gomez, 1991). In addition, cassava foliage is known to be a potential source of crude protein for pigs. According to (Limsila et al., 2005), the crude protein yield of foliage was significantly improved when cassava was harvested at 5-6 months after planting compared to an harvest at 12 months (0.672 vs. 0.225 T/ha). However, limited information is available for cassava roots harvested at earlier ages. According to (Gomez et al., 1984), the age of plant at harvesting had some effects on the chemical composition of cassava roots and on its subsequent nutritional value for pigs. In practice, the knowledge about the change in the nutritional value of cassava roots with age of harvesting could be very useful in the context of a mixed farming system where cassava roots are essentially used for feeding pigs (Wanapat, 2009).

The objective of the current study was to evaluate the effect of age at harvesting (5 vs. 11 months) on the nutritional and energy values of cassava roots in the local Caribbean pig breed.

Material and methods

Experimental diets

Three experimental diets were used in the present study. The control diet (diet C) was prepared from corn and soya-bean meal. In the two others dietary treatments, 200 g/kg of dry matter (DM) of the diet C was replaced by dried sweet cassava roots (CR) harvested at 5 or 11 months of age (diet CR_5m or CR_11m, respectively). The experimental diets were mixed without water and given in one meal. The CR used in the present study were cultivated in a

fluvic ferralsol without any fertilizer inputs and harvested at the INRA experimental facilities in Guadeloupe, French West Indies (Latitude 16°N, Longitude 61°W).

Once harvested, fresh CR were immediately transported to the experimental farm and stored at 6°C until grinding. Subsequently, CR were ground into small particle size (less than 2-cm) with a vegetal biomass chopper (Honda 8 hp OHV engine, USA) and dried during 6 h in a Solar dryer system initially designed for hay. The basic principle of such a solar drying system consists in warming up the air by the sun, or a fuel source in case of rainy days, in a collector located below the roof and forced through the floor by a blower. Whatever the source of energy used to dry CR, the ambient temperature varies from 40 to 50°C.

The dried CR was stored in a temperature controlled room (20°C). To ensure a constant minerals and vitamins content, the CR_5m or CR_11m diets were supplemented with a vitamin and mineral premix in order to maintain an optimal balance (1 g/100 g DM). The chemical compositions of CR products and experimental diets are given in Tables 1 and 2.

Experimental design

A total of three castrated male Creole pigs were assigned to the three dietary treatments in a 3 × 3 Latin square design. Each pig received one of the three experimental diets during three successive 14-days periods. The average BW of pigs at the beginning of the experiment was 36.8 (± 1.1) kg. The feeding level was maintained at 160 g DM /d/kg BW^{0.60} close to the ad-libitum level. The animals were adapted to the diet during 7 days before a 7-d total excreta collection period. Pigs were individually housed in a pen equipped with a feed dispenser and with a system for collection and separation of feces and urine. Pigs had a free access to water through a nipple drinker. As the experimental building was semi opened, climatic parameters were not controlled but were assumed to follow those of the outdoor conditions (e.g. 25°C 80 % of humidity).

Measurements and chemical analyses

Pigs were weighed at the beginning and the end of collection period. For each diet, a representative sample of feed was daily collected and measured for its DM content and thereafter used for chemical analysis. Each morning, food refusal and spillage were also collected and analyzed for DM content. Faeces were collected daily, weighed, stored at 4°C,

homogenized and subsampled (n=3) at the end of the collection period. Two faeces subsamples were heat dried for DM determination and the last one was freeze dried for further chemical analysis. Urines were collected daily, weighed and 3% of the total daily production was stored at 4°C. At the end of the collection period, urine was subsampled for further chemical analysis.

Food and dry faecal samples were analysed for DM, ash, starch and N and fresh samples of urine for nitrogen (N). The DM, N, ether extracts (EE) and starch analysis were performed according to the AOAC methods (AOAC, 1990). Free sugars were measured according to (Tollier and Robin, 1979). Cell wall components (NDF, ADF and ADL) were determined according to (Van Soest et al., 1991); the EE in fecal samples was measured after hydrochloric acid hydrolysis.

Calculations and statistical analysis

The digestibility coefficients (DC) were calculated for the 7-days collection period using routine procedures. Digestible energy content (DE) was estimated as the difference between measured GE and estimated energy loss in faeces (Noblet, personal communication)⁵. Metabolizable energy content (ME) of diet was calculated as the difference between DE and energy loss in urines estimated from N loss (g/d) according to the equation of (Noblet and Le Goff, 2001)⁶. Value of N retained was obtained as the difference between intake and losses in faeces and urine.

Data obtained in this experiment were submitted to an analysis of variance with animal (n= 3), dietary treatment (n= 3) and collection period (n= 3) as main effects. Comparison of means was performed according to the PDIFF option using Tukey test for contrasts. SAS (2003) was used for the statistical analysis.

Results and discussion

Chemical composition of the ground cassava root is presented in Table 1.

CR harvested at 5 months of age had higher CP content but lower starch content than CR harvested at 11 months of age (3.8 vs. 1.8 and 76.7 vs. 89.0 % of DM, respectively CR at 5 and 11 months of age). The NDF and energy content did not change according to the stage of

⁵ Energy loss in faeces (MJ/kg DM) = 18.73 - 1.92 × A + 2.23 × EE + 4.07 × N, with A, EE and N for Ash, Ether Extract and Nitrogen contents in faeces (g/kg DM), R² = 0.93, RSD = 0.35.

⁶ Energy loss in urine (kJ/d) = 345 + 31.1 × N loss in urine (g/d), R² = 0.94, RSD = 110.

Table 1. Chemical composition of dried ground cassava roots according to the age at harvesting¹

Age of harvesting months	5	11
Dry matter (DM) %	873	867
Chemical composition % DM		
Ash	42	48
Crude protein (N × 625)	38	18
Starch (AOAC methods)	767	890
Ether extract	04	03
Free sugars	19	21
NDF	53	58
ADF	30	31
ADL	09	13
Gross energy MJ/kg DM	171	168

Table 2. Chemical composition of the experimental diets

Diet	C ¹	CR_5m	CR_11m
Dry matter (DM) %	871	871	870
Chemical composition % DM			
Ash	52	50	52
Crude protein (N × 625)	182	153	149
Starch	549	594	619
Ether extract	29	24	24
Free sugars	85	72	72
NDF	122	108	109
ADF	33	32	32
ADL	05	06	07
Gross energy MJ/kg DM	183	180	180

Diet C: control diet Diet CR_5m: 80 % of diet C + 20 % of cassava roots (CR) harvested at 5 months of age and Diet CR_11m: 80 % of diet C + 20 % of CR harvested at 11 months of age

¹ Formulated with corn (60%) soybean meal (25%) wheat middlings (105%) L-lysine (020) di-calcium phosphate (1%) sodium bi-carbonate (22%) salt (010%) and minerals and vitamins (1%)

harvesting (on average 5.5 g/100 g DM and 16.95 MJ/ kg of DM, respectively). The composition of the experimental diets (Table 2) reflected the differences in the chemical composition between the CR and the control diet, with a higher level of starch and a lower level of CP in the experimental diets including CR.

Data presented in Table 3 indicate a significant effect of diet on digestibility coefficients of OM, N, NDF and energy ($P < 0.05$). The digestibility coefficient of N was higher in the C diet when compared to the two others diets including CR (67.2 vs. 63.2% on average; $P = 0.007$).

For OM and energy, digestible coefficient values were lower for the C diet and higher for the CR diet, with higher values for the CR_11m than CR_5m. Due to the slightly lower gross energy content in CR products than in C diet, this improved energy digestibility coefficient did not induce an increase in DE value in CR_11m diet. In agreement with most literature data (Dierick et al., 1983; Fernandez and Jorgensen, 1986 ; Noblet and Le Goff, 2001), the presence of more fiber in the C diet reduces the apparent fecal digestibility of OM and energy. The ME/DE ratio tended to be higher in diets including CR products (96.4 vs. 95.5%; $P = 0.065$) in connection to low urinary nitrogen excretion with CR diet low in protein.

As indicated in Table 3, the collection period effect was significant ($P < 0.05$) for all the nutrients and energy digestibility coefficients except for starch and EE. OM and energy digestibility coefficients increased from 89.5 to 92.2% and from 87.0 to 90.0%, between periods 1 and 3 ($P < 0.01$). The average BW increased from 40.1 to 60.9 kg between the first and the third period. The DE value was higher in period 3 than in period 1 (15.8 vs. 16.2 MJ/kg DM; $P = 0.0267$); the same trend was found for ME value (15.1 vs. 15.6 MJ/kg DM; $P = 0.0521$). This increase of digestibility of energy with BW is in agreement with previous results (Roth et al., 1984); (Le Goff et al., 2002b) and are mainly explained by an improved digestibility of the dietary fibre fractions. Practically, these results suggest that the energy value of a raw material would depend on BW of the pigs (Noblet and Shi, 1994).

Total tract digestibility coefficient of nutrient and energy values of CR according to the stage of harvesting (5 vs. 11 months) were determined according to the difference method; data cannot be statistically compared (Table 4). Digestibility coefficient of OM and energy were numerically higher in CR harvested at 11 months of age. This difference was mainly explained by its greater high digestible starch fraction as the fibre content did not change

Table 3. Digestibility coefficients of nutrients and energy values of the experimental diets

Diet	C	CR5m	CR11m	RSD ¹	Significance level ¹		
					Diet	Period	Animal
Average BW kg	513	503	505	310	NS	**	NS
DM intake kg/d	167	171	166	012	NS	t	NS
Average daily gain g/d	669	595	581	40	NS	*	t
Digestibility coefficient %							
Dry matter	889	893	898	05	NS	*	NS
Organic matter	909 ^a	912 ^{ab}	919 ^b	04	*	**	NS
Nitrogen	671 ^a	635 ^b	627 ^b	07	**	**	*
Starch	999	999	999	01	NS	NS	NS
Ether extract	881	881	866	35	NS	NS	NS
Energy	887 ^a	891 ^{ab}	897 ^b	08	*	**	*
DE MJ/kg DM	162	160	161	02	NS	*	t
ME MJ/kg DM	155	155	155	03	NS	t	NS
ME/DE %	955	964	964	04	NS	NS	NS

Diet C: control diet Diet CR_5m: 80 % of diet C + 20 % of cassava roots (CR) harvested at 5 months of age and Diet CR_11m: 80 % of diet C + 20 % of CR harvested at 11 months of age

¹ RSD = residual standard deviation From an analysis of variance with dietary treatments (D n=3) period of measurement (P n=3) and animal (A n=3) as mains effects Levels of significance t P < 010 * P<005 ** P<001 NS not significant ^{a b c} Means in the same row with different superscripts differ significantly (P<005)

Table 4: Effect of age at harvesting on digestive and metabolic utilization of cassava roots

Digestibility coefficient	Age of harvesting	
	5 months	11 months
Dry matter	908	936
Organic matter	925	960
Nitrogen	495	448
Starch	999	999
Energy	906	937
Energy values MJ/kg DM		
DE	154	158
ME	153	157

Digestibility coefficients and energy values were calculated according to the difference method

according to the age at harvesting. As a consequence, the DE and ME values increased with the stage of harvesting. Our study suggests that it is more suitable to harvest cassava roots at 11 than at 5 months of age for feeding pigs.

Cassava roots for the animal feed market are commonly harvested, processed (mainly in chips forms) and sun-dried from the 9th and the 12th month of plant age. In the present study, the energy value of CR harvested at 11 months of age was 15.8 MJ DE/kg DM. This result is similar to those previously reported by INRA Tables (15.8 MJ DE/kg DM; (Sauvant et al., 2002a) but lower than those reported by (Perez et al., 1981) (16.1 MJ DE/kg DM) or by (Van Cauwenberghe et al., 1997) (16.9 MJ DE/kg DM). The discrepancy between these results could be attributed to changes in CR chemical composition especially in starch, ash and fibre fractions. Variations in cultivars, age of harvesting, soil fertility, or crop management practices mainly explain differences in chemical composition (Gomez, 1991). In addition, (Van Cauwenberghe et al., 1997) reported that DE value of CR is significantly increased with the BW of the pigs used for its determination. In consequence, experimental conditions such as pig BW could also be an important source of variation of energy value of CR among results in the published studies.

Acknowledgements

This work was supported by the Region Guadeloupe and European funds. The authors gratefully acknowledge B. Bocage, S. Calif, T. Etienne, and C. Marie-Magdeleine for their technical assistance and Dr J. Noblet for a critical evaluation of the manuscript.

References

AOAC 1990 Official Methods of Analysis

Fernandez J A Jorgensen J N 1986 Digestibility and absorption of nutrients as affected by fibre content in the diet of the pig. Quantitative aspects. *Livestock Production Science*, 15: 53.

Gomez G, Valdivieso M, Cuesta D d l, Salcedo T S 1984 Effect of variety and plant age on the cyanide content of whole-root cassava chips and its reduction by sun-drying. *Animal Feed Science and Technology*, 11: 57-65.

Gomez G 1991 Use of cassava products in pig feeding. *Pig News and Information* 12: 387-390.

- Le Goff G**, van Milgen J, Noblet J 2002 Influence of dietary fibre on digestive utilisation and rate of passage in growing pigs finishing pigs and adult sows. *Animal Science*, 74: 503-515.
- Limsila A**, Tangsakul S, Sarawat P, Watananonta W, Aekmahachai P, Petchburanin C, **Pichitporn S**, Howeler R 2005 Cassava leaf production research in Thailand. In: Poster prepared by the Field Crops Research Institute DoA Chatuchak Bangkok Thailand and the CIAT Cassava Office for Asia (Ed) Department of Agriculture Chatuchak Bangkok
- Noblet J**, Le Goff G 2001 Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 90: 35-52.
- Noblet J**, Shi X S 1994 Effect of body weight digestive utilization of energy and nutriments of ingredients and diets in pigs. *Livestock Production Science*, 72: 323-338.
- Perez J M**, Castaing J, Grosjean F, Chauvel J, Bourdon D, Leuillet M 1981 Valeur énergétique de deux types de manioc et utilisation comparée dans les régimes du porc en croissance et du porcelet: synthèse de résultats d'une étude concertée INRA-ITCF-ITP. *Journée de la recherche porcine en France*, 13: 125-144.
- Ravindran V** 1992 Preparation of cassava leaf products and their use as animal feeds. In: : Roots, tubers, plaintains and bananas in animal feeding (Editors: D Machin and Andrew W Speedy) AHPP 95 FAO, Rome pp: 111-125
- Roth J A**, Kaeberle M L, Hubbard R D 1984 Attempts to use thiabendazole to improve the immune response in dexamethasone-treated or stressed cattle *Immunopharmacology* 8: 121.
- Sauvant D**, Perez J M, Tran G 2004 Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage: porc, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons 2ème Edition revue et corrigée INRA Editions, Paris, pp, 301.
- Tewe O O**, Egbunike G N 1988 Utilization of cassava in non-ruminant livestock feeds. In: Proc. IITA/IICA/Univ. of Ibadan Workshop on the Potential Utilisation of cassava as Livestock Feed in Africa, IITA, Ibadan, November 14-18, 1988. pp, 28-38.
- Tollier M T** and Robin J P 1979 Adaptation de la méthode à l'orcinoI sulfurique au dosage automatique des glucides neutres totaux: conditions d'application aux extraits d'origine végétale. *Annales de Technologie Agricole*, 28: 1-15.
- Van Cauwenberghe S**, Jondreville C, Beaux M F, Grosjean F, Peyronnet C, Williatte I, Gâtel F 1997 Performances de croissance du porcelet en post-sevrage obtenues avec des régimes à base de pois et de manioc. *Journées Recherche Porcine en France*, 29: 189-196.

Van Soest P J Robertson J B and Lewis B A 1991 Methods for dietary fiber neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74: 3583-3597

Wanapat M 2009 Potential uses of local feed resources for ruminants. *Tropical Animal Health Production*, 41: 1035-1049

Tableau 12. Synthèse des résultats sur la valeur nutritionnelle des aliments et de l'énergie des feuilles de manioc, patate douce, madère et érythrine étudiées chez le porc Créole en comparaison du tourteau de soja

	Manioc	Patate douce	Madère	Erythrine	Soja¹
Matière sèche, %	25,0	16,0	8,0	24,0	87,8
Composition chimique, % MS					
Matières minérales	8,7	14,6	15,2	10,0	6,4
MAT, (N×6,25)	23,1	22,5	16,4	28,0	45,3
NDF	54,3	39,0	37,6	48,1	12,2
ADF	41,4	27,2	29,0	31,9	7,3
ADL	19,0	8,6	5,9	10,4	0,7
Matières grasses	4,3	2,4	3,9	3,8	1,9
Sucres	1,2	2,6	6,6	1,4	8,3
Tannins	2,3	1,5	0,8	3,1	-
Energie brute, MJ/kg MS	20,1	17,7	17,4	19,1	19,7
Digestibilité apparente					
Azote	8,6	31,0	21,3	-35,3	87,0
Energie	38,3	53,9	46,9	25,3	85,0
Valeur énergétique, MJ/kg MS					
Energie digestible	7,2	6,6	7,9	6,7	16,8
Energie métabolisable	6,8	6,4	7,8	6,6	15,3
Lysine g/ 16 g N	4,3	3,9	4,2	4,3	6,1
Lysine / Σ acides aminés	5,6	5,2	5,5	6,1	5,6
Lysine digestible, g/kg MS	4,2	5,3	6,3	1,9	24,9
Acides aminés digestibles, % lysine digestible					
Thréonine	0,2	0,4	0,3	-0,3	0,6
Méthionine	-0,2	0,4	0,1	0,9	0,2
Tryptophane	0,1	0,1	0,1	-0,1	0,2
Isoleucine	0,5	0,6	0,7	0,2	0,7
Valine	0,6	0,7	0,8	0,6	0,8
Leucine	1,4	1,5	1,6	2,1	1,2
Phénylalanine	1,0	0,8	0,9	1,9	0,8
Histidine	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
Arginine	1,4	1,2	1,0	3,8	1,2

1 (Sauvant et al., 2004).

DISCUSSION GENERALE

I- INTRODUCTION

L'objectif de ce travail de thèse était de contribuer à mieux connaître certaines matières premières tropicales disponibles aux Antilles et pouvant être intéressantes pour l'alimentation du porc dans le cadre de systèmes d'élevage alternatifs de type polyculture-élevage. Classiquement, chez le porc, le potentiel de croissance dépend de la quantité d'énergie et de protéines (ou d'AA) quotidiennement apportée par ration. En d'autres termes, le niveau de performance du porc est dépendant de son niveau d'ingestion et de la concentration en nutriments de l'aliment. Dans nos travaux, nous nous sommes attachés dans un premier temps à caractériser de manière fine (ingestibilité, valeurs énergétiques et protéiques) quatre plantes pouvant être utilisées comme sources de protéines (érythrine et madère) ou apporter à la fois des protéines (feuilles) et de l'énergie (tubercules) tels que le manioc et la patate douce. Dans un second temps, l'objectif de ces travaux était d'intégrer ces connaissances pour pouvoir concevoir des rations composées uniquement de matières premières locales, aspects développés dans ce chapitre.

II- CARACTERISATION DE L'INGESTION DES PRODUITS DE L'ERYTHRINE, DU MADERE, DU MANIOC ET DE LA PATATE DOUCE

Compte tenu de leur composition généralement atypique (richesse en eau, fibres et/ou tanins), les ressources alimentaires locales peuvent poser des problèmes d'ingestibilité. Hors, ce critère est essentiel pour la conception de rations alimentaires dans des systèmes type polyculture-élevage car il peut déterminer la manière dont nous devons : 1/associer différentes matières premières dans une même ration et/ou 2/ traiter la matière première pour la rendre plus « ingestible ». Paradoxalement, à quelques exceptions près (Quynh Tram and Preston, 2004; Hang and Preston, 2005; Leterme et al., 2005; Malavanh and Preston, 2006b), l'ingestibilité des matières premières tropicales est très peu décrite dans la bibliographie. Néanmoins, l'ingestion représente un paramètre important dans l'alimentation du porc et dans la conceptualisation des rations, car elle détermine la possibilité qu'a l'animal à consommer suffisamment de nutriments pour répondre à ses besoins nutritionnels.

Dans les systèmes d'élevage, les fourrages tropicaux ou les tubercules sont distribués préférentiellement en frais immédiatement après la récolte. Pour les raisons évoquées précédemment, ce mode de distribution peut poser un problème d'ingestion pour les porcs.

Pour l'atténuer, des traitements / méthodes de conservation existent et peuvent être envisagées en cohérence avec les capacités techniques (matériel/main d'œuvre) disponibles au sein de l'exploitation.

A- Ingestion des feuilles

Les feuillages tropicaux sont caractérisés par leur faible MS (17% en moyenne). Cette forte teneur en eau peut limiter l'ingestibilité de ces feuilles. Par ailleurs, les feuillages tropicaux contiennent des fortes teneurs en fibres (44% en moyenne) et des tanins ou autres métabolites secondaires pouvant également avoir des conséquences sur l'ingestion de ces produits. Dans la bibliographie, très peu d'études ont caractérisé l'ingestibilité des feuillages tropicaux chez le porc. Dans ce travail de thèse, cette problématique a été abordée *via* deux essais expérimentaux dont les résultats sont en cours de publication. Dans un premier temps, nous avons évalué l'impact de la forme de distribution (fraîche entière vs. séchée en farine) sur l'ingestibilité de ces fourrages chez le porc Créole dans un dispositif en carré latin 4 × 4 (2 types de feuilles, 2 modalités de traitement). En pratique, tous les matins les animaux ont reçu un aliment témoin à base de maïs et de tourteau de soja (18% MAT, 14 MJ/kg EM) à raison de 90 g MS/j/kg PV^{0.60}. Une fois cette ration de base ingérée, les animaux ont reçu 45 g MS/j/kg PV^{0.60} de feuilles fraîches ou de farine de feuilles séchées distribuées sous la forme de farine mélangée avec de l'eau (1 volume de farine/ 1 volume d'eau). Après la récolte de chaque type de feuille, une partie du produit a été séchée et transformée en farine et l'autre partie a été congelée pour assurer un apport quotidien de qualité constante. Pour des raisons pratiques, les feuilles fraîches ont été conditionnées sous la forme de portions correspondantes approximativement aux besoins en feuilles pour une journée avant d'être congelées. L'ingestibilité et le comportement alimentaire ont été mesurés sur une période de 4 jours consécutifs à une période d'adaptation aux feuilles de 5 jours. Les résultats sont exprimés en g MS ingérée/j et sont présentés dans la Figure 2. L'ingestion volontaire des feuilles et l'effet du séchage varient selon l'origine botanique des feuilles. Pour les feuilles de patate et de manioc, la forme de distribution n'influence pas significativement l'ingestion (respectivement, en moyenne 480 et 460 g MS/j). Ces résultats confirment ceux obtenus par Ty et Preston (2006) et Quynh Tram and Preston (2004) pour les feuilles de manioc distribuées sous forme fraîche et en farine. La bonne ingestibilité des feuilles fraîches de manioc peut paraître surprenante au regard de leur forte concentration en HCN. Dans notre

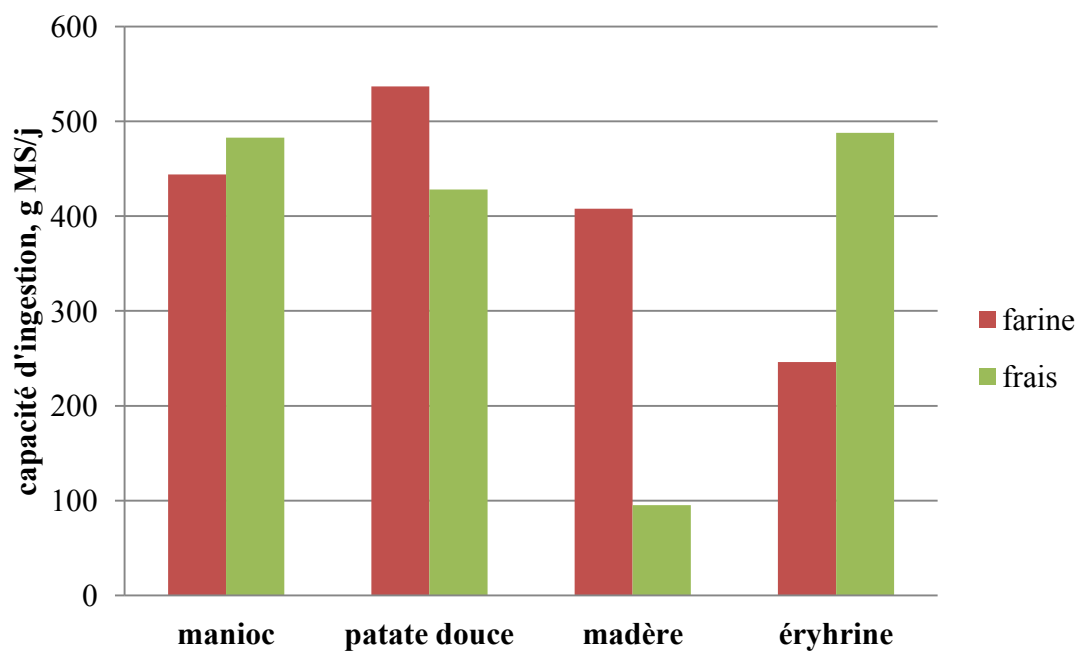


Figure 2. Capacité maximale d'ingestion exprimée en matière sèche (MS, g/j) pour les feuilles de manioc, patate douce, madère et érythrine distribuées sous forme de farine ou de feuilles fraîches

étude, la congélation et la décongélation des feuilles ont indirectement permis de réduire la teneur en HCN jusqu'à 410 mg/kg MS, un seuil n'ayant apparemment pas d'influence négative sur l'ingestion. En revanche, pour les feuilles d'érythrine et de madère, la forme de présentation influence directement l'ingestion volontaire. Pour l'érythrine, le niveau d'ingestion exprimé en MS est plus important lorsque les feuilles sont données sous forme fraîche. A notre connaissance, aucun résultat dans la bibliographie n'est disponible sur le sujet. Néanmoins, nous pouvons supposer que le séchage a concentré certaines molécules (tanins ou autres) présentes naturellement dans la feuille d'érythrine et ayant un effet négatif sur l'ingestion. Nos résultats montrent que les feuilles de madère distribuées sous forme de farine sont beaucoup plus « ingestibles » que la forme fraîche (35 vs. 8 g MS/j/kg PV^{0,60}). La capacité d'ingestion pour la farine est en accord avec les résultats de Hang et Preston (2009), qui mesurent une capacité d'ingestion pour les feuilles de madère de 23,8 g MS/j/kg PV^{0,75} lorsque les feuilles sont données sous formes cuites ou ensilées, et de 13,5 g MS/j/kg PV^{0,75} pour les feuilles distribuées en frais. Cette variation d'ingestion entre les formes de distribution, peut être expliquée par la présence de facteurs antinutritionnels présents dans la plante à l'état frais. Le madère utilisé dans les deux études appartient à la variété de *Colocasia esculenta* qui est connue pour contenir des quantités importantes d'acide oxalique à l'état frais. Ngo Huu et Preston (2010) observent une baisse de l'ingestion lorsque des feuilles de *Colocasia esculenta*, riches en acide oxalique, sont incorporées dans la ration de base. L'acide oxalique est un facteur antinutritionnel présent dans certaines variétés de madères qui provoquent des démangeaisons lorsque les animaux ingèrent les feuilles sous forme fraîche. Cet effet indésirable disparaît lorsque les feuilles sont séchées ou ensilées (Du Thanh and Preston, 2010). La capacité d'ingestion des feuilles fraîches de madère a aussi été mesurée par Leterme et al. (2005) chez des truies (32 g MS/j/kg PV^{0,60}). Cette capacité largement supérieure à celle de nos travaux et ceux de Hang et Preston (2009), est principalement due à la différence de cultivars utilisés. Dans l'étude de Leterme, les feuilles proviennent du genre *Xanthosoma sagittifolium* dont la forme des cristaux d'oxalate diffère du genre *Colocasia* ce qui ne gêne pas l'ingestion des feuilles à l'état frais. Ces résultats montrent qu'il est possible d'avoir des capacités d'ingestion pour les feuilles fraîches aussi importante que les feuilles en farine si l'on utilise des variétés pauvres en acide oxalique ou présent sous une autre forme.

Une deuxième étude a permis d'évaluer les effets d'une augmentation du taux d'incorporation (0, 5, 20 et 35 %) de farine de feuilles sur l'ingestibilité de la ration selon l'origine botanique des produits. Le taux maximal de 35% a été déterminé lors d'une pré-

Tableau 14. Effet du taux d'incorporation de farine de feuille sur la consommation d'aliment des porcs en croissance

	Taux d'incorporation, %				ETR	Statistiques
	0	5	15	35		
Nombre de mesures	4	4	4	4		
Ingestion MS, g/j						
Patate douce	1989	2006	2005	1894	163	P
Erythrine	2219 ^a	2269 ^a	1876 ^b	1330 ^c	173	P*, T***
Madère	2357	2278	1965	2166	257	
Manioc	2237 ^a	2212 ^a	1889 ^b	1756 ^c	61	P*, A*, T***
WHC, g d'eau/g MS						
Patate douce	2,23	2,26	2,46	2,73		T***
Erythrine	2,23	2,27	2,47	2,68		
Madère	2,23	2,30	2,65	3,18		
Manioc	2,23	2,17	2,08	2,09		
Tannins, g/100 g MS						
Patate douce	0	0,07	0,30	0,55		T***
Erythrine	0	0,16	0,62	1,08		
Madère	0	0,04	0,16	0,28		
Manioc	0	0,12	0,46	0,81		
Ingestion MS, g/j/kg PV^{0,60}						
Patate douce	218	217	218	210	19	
Erythrine	212 ^a	209 ^a	185 ^b	132 ^c	14	T***
Madère	185	178	158	170	21	
Manioc	219 ^a	216 ^b	198 ^c	175 ^d	7	A*, T***

Les données ont été traitées avec un modèle d'analyse de variance prenant en compte les effets du taux d'incorporation (T), de l'animal (A) et de la période (P), Pour une même ligne, les moyennes d'ingestion sont significativement affectées par T ($P < 0,05$) quand les lettres sont différentes.

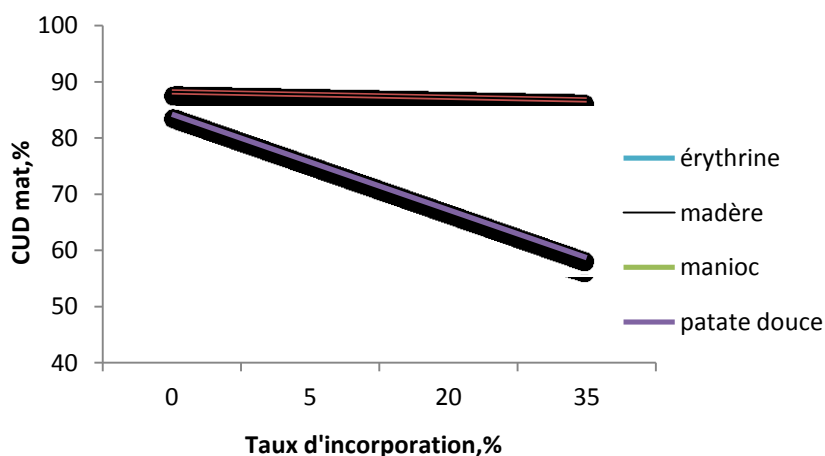


Figure 3. Effet du taux d'incorporation des feuilles dans le régime sur le coefficient d'utilisation digestive des matières azotées totale (CUDmat) chez le porc en croissance (étude N°5 sur l'ingestion)

expérience. Quelque soit le niveau d'incorporation de feuilles, les régimes étaient formulés avec du maïs, tourteau de soja, du son, de l'huile et de la farine de feuilles pour contenir la même quantité de protéines (14,0 g/100 g du régime) et d'énergie (12 MJ EM/kg). L'ingestibilité et la digestibilité des rations ont été mesurées dans un dispositif en carré latin 4×4 pour chaque origine de feuilles (soit 16 porcs Créole en croissance mis en expérimentation).

Le tableau 14 présente les effets de l'augmentation du taux d'incorporation de la farine de feuilles sur la consommation d'aliments des porcs en croissance. Quelque soit le taux d'incorporation des feuilles de patate et de madère dans la ration, l'ingestion du régime ne varie pas (en moyenne de 1970 g/j et 2200 g/j, respectivement pour la patate et le madère). En revanche, nous observons une réduction notable de l'ingestion pour les lots contenant de l'érythrine et du manioc en particulier quand le taux d'incorporation dépasse 5%. La Figure 4 représente l'évolution de l'ingestion en fonction du taux d'incorporation des feuilles d'érythrine ou du manioc. Bien que le seuil marquant la baisse de l'ingestion soit fortement dépendant du modèle mathématique utilisé, nos résultats montrent que la réduction de l'ingestion en fonction du taux d'incorporation de feuilles est un peu plus précoce avec le manioc qu'avec l'érythrine (8 vs 12%). En revanche, la réduction de l'ingestion après le seuil est beaucoup plus marquée dans les régimes contenant des feuilles d'érythrine. Comparativement aux feuilles de manioc, les feuilles d'érythrine contiennent plus de fibres et de tanins. Les relations entre la teneur en fibres et l'encombrement de la ration sont bien décrites dans la bibliographie. Mises en présence d'eau ou simplement réhydratées au cours du processus digestif, les fibres réagissent par une étape commune de gonflement, dans laquelle l'eau écarte les macromolécules les unes des autres, induisant alors leur dispersion. L'augmentation du volume des fibres lors de cette étape donne un caractère pondéreux et encombrant à la ration, ce qui a pour conséquence de diminuer la prise alimentaire, d'allonger les temps de repas et de fractionner les prises alimentaires en plusieurs petits repas (Kyriazakis and Emmans, 1995) (Bindelle et al., 2008). Selon ces auteurs, la capacité de rétention en eau (WHC pour 'Water Holding Capacity') permet d'apprécier indirectement l'encombrement d'une ration. Selon Kyriazakis et Emmans (1995), l'ingestion de MS est réduite lorsque la WHC dépasse 3,5 g d'eau/g de MS. Dans notre étude, la WHC ne dépasse jamais cette valeur pour des taux d'inclusion de feuilles allant jusqu'à 35%. Ce résultat laisse supposer que l'encombrement de la ration ne peut pas complètement expliquer les effets négatifs de l'incorporation des feuilles d'érythrine ou de manioc sur l'ingestibilité. La figure 5

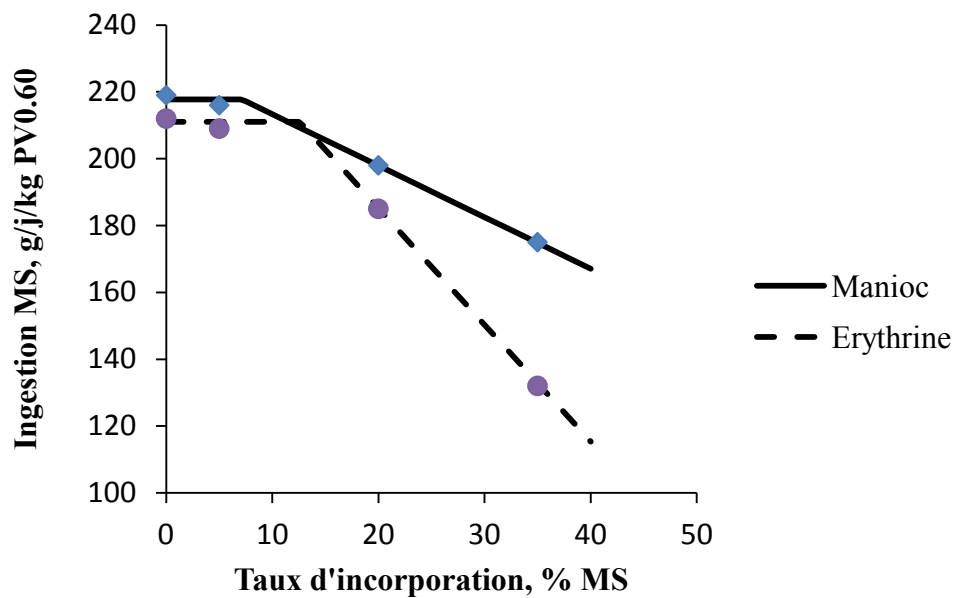


Figure 4. Effet du taux d'incorporation des feuilles de manioc et d'érythrine sur l'ingestion des porcs selon un modèle linéaire

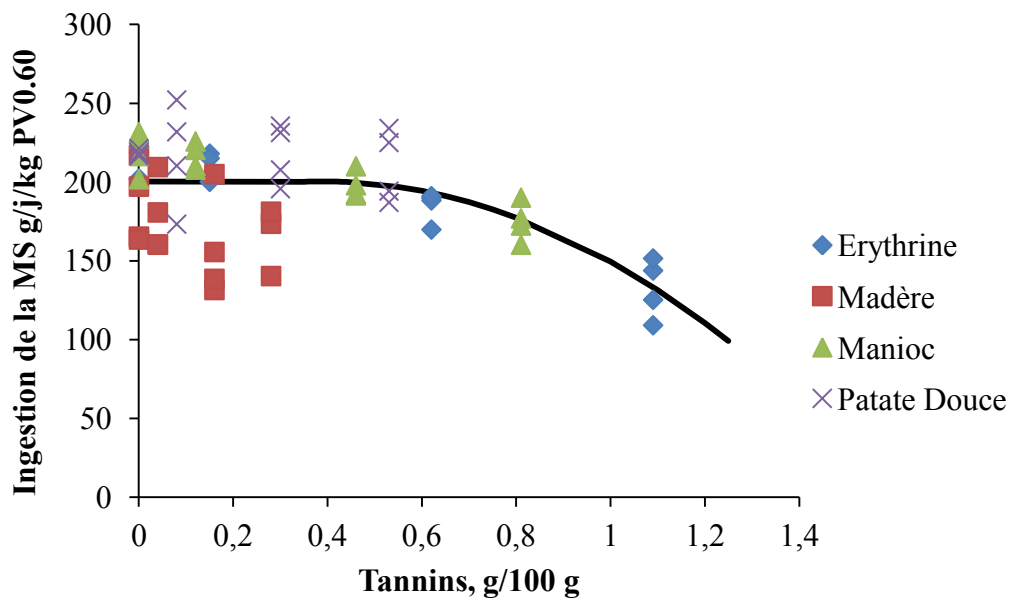


Figure 5. Effet du taux d'incorporation des feuilles de manioc et d'érythrine sur l'ingestion des porcs selon un modèle quadratique

présente l'effet de l'augmentation de la teneur en tanins dans la ration sur l'ingestion pour toutes les feuilles confondues. Nos résultats montrent clairement que les composés polphénoliques ont un effet négatif sur l'ingestion lorsque leurs teneurs dépassent 0,38 g/100 g de MS. Compte tenu de la plus forte teneur en tanins dans les feuilles d'érythrine, ce résultat permettrait d'expliquer la chute d'ingestion plus marquée par rapport au manioc. En fait, les tanins ont la faculté de précipiter les protéines, notamment celle de la salive, ce qui donne un côté astringent à l'aliment, désagréable en bouche pour l'animal et qui a comme principal effet de diminuer l'appétence de la ration (Bennick, 2002). Les tanins agissent à différents niveaux sur l'appétence et sur la digestibilité de la ration. La Figure 3 montre par exemple une baisse de la digestibilité de la matière azotée en fonction de taux d'incorporation des feuilles dans la ration excepté les régimes avec les feuilles de madère. Cette baisse s'explique principalement par la présence de tanins dans les feuilles et leur effet négatif sur les protéines. Les feuilles de madère étant faiblement concentrées en tanins, aucun effet n'est visible avec l'incorporation de feuilles.

B- Ingestion des tubercules

Comme pour les fourrages (mais pour différentes raisons), les données sur l'ingestion des tubercules sont rares dans la bibliographie. Généralement, il est considéré que les tubercules tropicaux ne posent pas de problèmes, en particulier du point de vue de leur ingestibilité et de par leurs faibles teneurs en fibres et en tanins. Comme pour la partie aérienne de la plante, les tubercules de manioc peuvent contenir des teneurs élevées d'HCN, notamment dans les espèces dites « amères ». Une forte teneur en HCN réduit sensiblement l'ingestibilité du tubercule de manioc chez le porc (Bolhuis, 1954). Par conséquent, dans certains cas, un traitement doit être envisagé pour réduire les teneurs en HCN afin d'en limiter les effets négatifs. Dans nos travaux, nous avons mis en avant l'effet du traitement technologique (broyage ou chips) et la durée du séchage (3 ou 6 h) sur la réduction de la teneur en HCN et sur l'ingestibilité des tubercules de manioc. Nos résultats montrent que le broyage des racines associé à un séchage est la méthode la plus efficace et la plus rapide pour détoxifier les racines. Quel que soit le traitement, dans nos conditions expérimentales, trois heures de séchage sont suffisantes pour abaisser la teneur en HCN en dessous d'un taux toxique pour le porc. La mesure de la préférence alimentaire en utilisant un protocole de type self-choice montre que les porcs préfèrent le broyat séché pendant 6 heures, qui est la forme contenant le moins de HCN. En effet, d'après nos résultats, il y a une relation négative entre

la teneur en HCN et l'ingestion de tubercules de manioc. En moyenne, la capacité maximale d'ingestion du manioc est voisine de 100 g MS/kg PV^{0,60} (broyat séché 6 heures).

En conclusion, les résultats de cette étude montrent que la forme de distribution et le taux d'incorporation des feuillages tropicaux n'est pas sans conséquence sur l'ingestibilité de la ration. De même, la concentration en HCN présent dans les tubercules ou les feuilles (même si, dans notre cas, cela n'a pas été démontré) de manioc peuvent également influencer l'appétence des produits. L'ingestibilité est donc un paramètre particulièrement important à prendre en compte dans la caractérisation des matières premières fourragères. Chez les porcs en croissance, l'ajout de fourrages tropicaux dans leur ration conduit généralement à une baisse des performances de croissance. Ces faibles performances sont liées dans certains cas à une baisse de l'ingestion de MS mais surtout à une réduction de la densité énergétique et protéique de la ration. C'est la raison pour laquelle dans notre travail de thèse l'accent a été mis sur la caractérisation nutritionnelle des ressources alimentaires locales. Les paragraphes suivants font la synthèse des principaux résultats obtenus.

III- CARACTERISATION DE LA VALEUR ENERGETIQUE DES PRODUITS DE L'ERYTHRINE, DU MADERE, DU MANIOC ET DE LA PATATE DOUCE

A- Feuilles

A notre connaissance, les valeurs énergétiques des feuilles provenant de plantes tropicales potentiellement utilisables dans l'alimentation du porc sont peu décrites dans la bibliographie.

En se basant sur la teneur en énergie métabolisable (EM), nos résultats montrent que la densité énergétique des feuilles est en moyenne 50 % plus faible que celle du tourteau de soja (Tableau). Cette faible teneur en énergie est principalement expliquée par le fait qu'en moyenne seulement 41 % de l'énergie des feuilles est digérée par les porcs (vs. 85% pour le tourteau de soja).

La réduction du coefficient de digestibilité de l'énergie (CUDe) des feuillages tropicaux peut s'expliquer d'abord par leurs fortes teneurs en MM (12 % en moyenne). En effet, le coefficient associé aux MM dans les équations de prédiction du CUDe est généralement négatif (Noblet and Perez, 1993; Le Goff and Noblet, 2001a). A cet effet négatif des MM sur le CUDe, s'ajoute un effet « diluant » et digestible sur l'EB. Cet effet négatif ne

se limite pas à l'énergie, selon Cromwell et al. (1995) et Ravindran et al. (1999), les minéraux impliquent aussi une augmentation des pertes azotées endogènes, qui diminue le CUDmat. La faible digestibilité de l'énergie des feuilles tropicales s'explique aussi en grande partie par leurs fortes teneurs en parois végétales en accord avec les résultats de Le Goff et al (2001b). Le rôle dépressif des fibres sur la digestibilité de l'énergie est expliqué d'une part, par une faible digestibilité des fibres alimentaires et, d'autre part, par leurs effets dépressifs sur la digestibilité des autres constituants de la ration. L'introduction de matières riches en fibres accélère la vitesse de transit des digesta ce qui explique en partie la diminution de la digestion des nutriments au niveau du tube digestif. Par ailleurs, la présence de fibres dans la ration stimule les sécrétions endogènes *via* une stimulation des sécrétions digestives et un effet « abrasif » avec comme conséquence une augmentation de la desquamation des cellules épithéliales (de Lange et al., 1990; Nyachoti et al., 1997). La figure 6 représente la relation entre la teneur en NDF et le coefficient de digestibilité de l'énergie calculée à partir des données de la publication 1 ou issus de travaux publiés dans la bibliographie. L'effet de l'augmentation de la teneur en NDF sur le CUDe est nettement plus marqué dans notre étude comparativement aux autres travaux. Selon Noblet (2007), l'effet dépressif des fibres sur la digestibilité de l'énergie dépend principalement de leur quantité dans le régime mais également de leur origine botanique (richesse en lignine). La teneur en lignine (estimée *via* la teneur en ADL) dans les feuillages tropicaux est en moyenne de 31 g/100 g NDF, ce qui représente une valeur bien plus élevée que celles rapportées dans la plupart des matières premières riches en fibres et généralement utilisées dans l'alimentation du porc (en moyenne de 3 à 15 g/100 g NDF d'après Sauvante et al. (2002a)). En d'autres termes, les faibles CUDe mesurés sur les feuillages tropicaux s'expliquent par leur teneur élevée en fibres et par le fait que ces fibres soient fortement lignifiées.

La comparaison des feuillages tropicaux entre eux fait apparaître de grandes différences dans les CUDe selon l'origine botanique des produits. Les valeurs des CUDe sont supérieures pour les feuilles de patate et de madère comparativement aux feuilles de manioc et érythrine. Cet effet s'explique d'abord par des différences de teneurs et de composition en fibres. Par ailleurs, les feuilles de manioc et d'érythrine contiennent de fortes teneurs en tanins. Les tanins représentent une large classe de facteurs antinutritionnels qui généralement se complexent avec les protéines et diminuent leur digestibilité en limitant l'accès aux enzymes digestives (Jansman, 1993). D'après l'étude 1, il existe une relation linéaire entre la

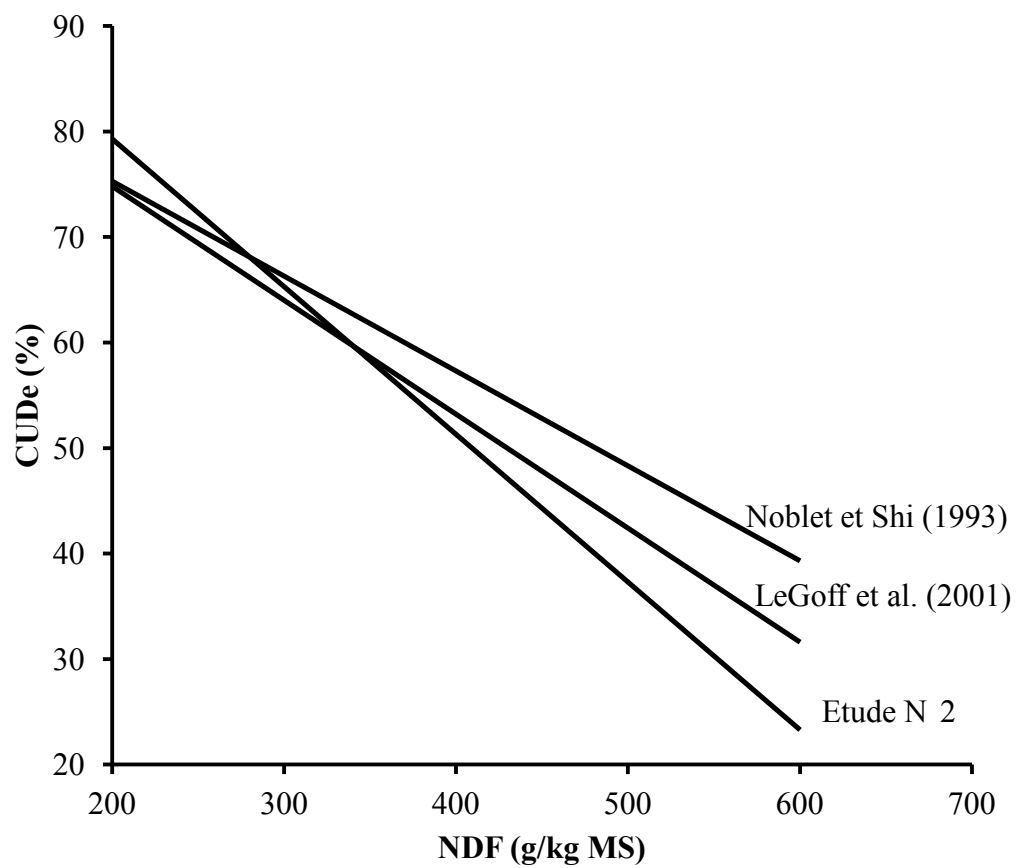


Figure 6. Effet de la teneur en fibres alimentaires (NDF) sur le coefficient d'utilisation digestive de l'énergie (CUDe) chez le porc en croissance.

teneur en tanins et la digestibilité fécale des protéines (CUDmat) ; chaque point d'augmentation de la teneur en tanins se traduit par une diminution de 3 % du CUDmat. Ces faibles digestibilités de la protéine contribuent aussi à diminuer le CUDe de la ration. Nos résultats montrent que la teneur en ED des feuilles ne varie pas selon l'origine botanique du produit. En effet, les plus faibles CUDe pour le manioc et l'érythrine sont compensés par une plus forte teneur en EB par rapport à la patate et au madère. Cette faible teneur en EB dans ces deux feuillages tropicaux s'explique à son tour par une forte teneur en MM. L'étude N°1 montre des différences de CUDe selon les fractions de la plante utilisées (feuilles seules ou feuilles + tiges) pour le manioc et la patate douce. Pour le manioc, l'incorporation des tiges n'a pas d'effet marqué sur le CUDe. La teneur en ED des feuilles + tiges est légèrement inférieure à celle des feuilles seules, principalement à cause d'une plus faible teneur en EB. Pour les patates, le CUDe est supérieur pour le traitement feuilles + tiges en comparaison du traitement feuilles seules. Bien que ce résultat puisse paraître surprenant, il est possible que l'incorporation des tiges avec les feuilles ait eut comme effet de diluer certains composés présents uniquement dans la feuille et ayant un effet négatif sur la digestion. En revanche, la nature et les effets précis de ces composés sont inconnus à ce jour et des travaux complémentaires sont donc nécessaires pour confirmer notre hypothèse. Nos travaux semblent donc suggérer que l'ensemble feuilles + tiges peut être distribué au porc sans effets négatifs majeurs sur la valeur énergétique du produit. Compte tenu du temps nécessaire pour séparer les feuilles des tiges (opération manuelle), d'un point de vue pratique ce résultat révèle toute son importance.

En conclusion, les feuillages tropicaux étudiés dans nos travaux ont une faible densité énergétique, en grande partie liée à leur composition chimique atypique (minéraux, fibres, tanins). L'utilisation de ces feuillages comme source de protéines dans la ration d'un porc en croissance va avoir pour conséquence de diluer la teneur en énergie de la ration. En revanche, l'utilisation de ce type de matières premières pourrait être adaptée à des stades physiologiques ayant une plus grande capacité à utiliser efficacement les fibres de la ration et/ou devant être rationnés. Selon Le Goff et al (2002a), la digestibilité des fibres alimentaires est augmentée avec le PV de l'animal. Ces matières premières tropicales peuvent donc trouver une voie de valorisation intéressante en tant qu'aliment chez les truies notamment en gestation, période pendant laquelle l'animal doit être rationné. Des études ont déjà montré la possibilité d'utiliser les feuilles de madère (une autre variété que celle utilisée dans notre étude) chez la

Tableau 13. Synthèse des résultats sur la valeur nutritionnelle des aliments et de l'énergie des tubercules de manioc et la patate douce étudiés chez le porc Créole en comparaison du maïs

	Manioc				Patate douce		Maïs ¹
	Broyé*	Chips*	Farine*	Farine (5mois)	Farine (11mois)	Broyée	
Matière sèche, %	89,0	87,7	88,8	87,5	86,7	87,9	86,4
Composition chimique, % MS							
Matières minérales	3,7	3,0	3,9	4,2	4,8	3,9	1,4
Matières azotées totales (N*6,25)	2,0	2,4	2,4	3,8	1,8	2,5	9,4
Amidon	75,1	74,6	72,8	76,7	89,0	77,6	74,2
NDF	7,0	5,2	8,7	5,3	5,8	6,4	12,0
ADF	4,3	3,2	5,2	3,0	3,1	3,8	3,0
ADL	1,0	0,5	1,3	0,9	1,3	1,0	0,6
Matières grasses	0,3	0,5	0,3	0,4	0,3	0,4	4,3
Energie brute, MJ/kg MS	16,9	17,0	16,8	17,1	16,8	ND	18,7
Digestibilité apparente							
Energie brute	92,3	94,2	93,2	90,6	93,7	ND	88,0
Valeur énergétique, MJ/kg MS							
Energie digestible	15,6	16,0	15,7	15,4	15,8	ND	16,4
Energie métabolisable	15,5	15,8	15,6	15,3	15,7	ND	16,0

* recolté à 12 mois.

1 (Sauvant et al., 2004).

ND: valeur non déterminée

truie (Leterme et al., 2006). Des travaux complémentaires sont nécessaires pour tester les modalités d'utilisation des autres fourrages pour ce type d'animal.

B- Tubercules

Contrairement aux feuilles, la valeur énergétique des tubercules de manioc et de patate est relativement bien décrite dans la bibliographie (Gomez, 1991; Tewe and Egbunike, 1992; Ly, 1998). Le Tableau 13 résume les compositions des tubercules utilisés dans nos différentes études. Le protocole de mesure sur la digestibilité des tubercules de patate venant de se terminer (janvier 2011), nous n'avons à l'heure actuelle que des données incomplètes à présenter. Les tubercules de manioc et de patate douce ont sensiblement la même composition chimique avec de fortes teneurs en amidon (74-77 % MS) et de faibles teneurs en fibres (NDF : 5,2 à 8,7 % MS) et en protéines ($N \times 6,25$: 3,0 vs 3,9 % MS). Sur la base de la valeur en EM (MJ/kg MS), la valeur énergétique du manioc utilisé dans nos travaux est très proche de celle du maïs. Cette valeur énergétique élevée est principalement liée à leur forte teneur en amidon et leur faible teneur en fibres (< 10% MS). Nos résultats montrent que la valeur énergétique des tubercules est aussi fonction de son stade de récolte. Pour les tubercules de manioc, issus d'une récolte de cultivars doux (sans HCN), l'étude N°4 montre une augmentation du CUDe lorsque les tubercules sont récoltés à l'âge de 11 mois par rapport à 5 mois. Cette évolution est principalement due à une augmentation de la concentration d'amidon (76,7 vs. 89,0 %) entre 5 et 11 mois. De la même manière que l'âge de récolte, l'effet du traitement technologique sur la valeur énergétique du tubercule de manioc a été mesuré dans l'étude 2. Nos résultats montrent une augmentation du CUDe et de la valeur ED des tubercules présentés sous forme de chips comparativement à un broyat. Ce résultat est expliqué par une différence de teneur en fibres liée à la technique utilisée pour obtenir les deux formes de distribution. Les extrémités (riches en fibres) du tubercule étaient enlevées pour la conception des chips alors que l'ensemble du tubercule était broyé pour obtenir le broyat. Dans cette étude, la durée de séchage (3 vs 6 h) n'a pas eut de conséquences sur la valeur nutritionnelle du tubercule de manioc.

En conclusion, nos résultats confirment que les tubercules de patate et de manioc sont de très bonnes sources d'énergie pour l'alimentation du porc. Cependant, le taux de substitution avec les céréales ne peut pas être de 100% car ces tubercules ont des faibles teneurs en protéines. Pratiquement, le manioc ou la patate peut constituer la seule source d'énergie de la ration (taux d'incorporation de 60 à 70%) pour un porc en croissance, en

complémentant avec une source de protéines de bonne qualité (ex : tourteau de soja ou farine de poisson).

IV- CARACTERISATION DE LA VALEUR PROTEIQUE DES PRODUITS DE L'ERYTHRINE, DU MADERE, DU MANIOC ET DE LA PATATE

Compte tenu de leur faible teneur en protéines, la contribution des tubercules (manioc ou patate) pour répondre aux besoins en azote de l'animal est quasi nulle. Dans ce paragraphe seule la valeur protéique des feuilles est discutée.

La teneur en protéines des feuilles ($N \times 6,25$, en g/100 g MS) était comprise entre 16 et 28% avec une plus forte teneur pour les feuilles d'érythrine et une plus faible valeur pour les feuilles de madère. Indépendamment de l'origine botanique du feuillage tropical, la teneur moyenne en lysine (4,1 g/100 g de protéines) représente 67 % de celle du tourteau de soja. Lorsqu'elle est exprimée en g/100 g de la somme des AA, cette valeur augmente à environ 92 %. En moyenne, la somme des AA représente seulement 74,7 % de la protéine totale (contre 100% pour la caseine et 97 % pour le tourteau de soja). En considérant que 6,25 est un coefficient de conversion de l'azote en protéines correct pour les feuillages tropicaux (ce qui reste à vérifier), nos résultats montrent qu'une partie non négligeable de l'azote des feuilles (environ 25%) est constitué d'azote non protéique théoriquement difficilement utilisable par le porc.

A notre connaissance, la digestibilité vraie ou standardisée des AA dans les feuillages tropicaux est peu décrite dans la bibliographie (Phuc and Lindberg, 2001; An et al., 2005; Leterme et al., 2005) Dans beaucoup d'autres études, la valeur protéique a été jugée à partir du profil en AA bruts. Notre travail montre que les AA des feuilles sont faiblement digestibles (23 % en moyenne) avec des fortes disparités selon le type de feuille et les AA. Par calcul, la digestibilité iléale des AA varie en fonction des pertes azotées endogènes et de la quantité d'AA non digérés par l'animal. Les pertes azotées endogènes proviennent des sécrétions digestives et des desquamations intestinales. Une partie de ces pertes est considérée comme non spécifique car uniquement dépendante de la quantité de matière sèche ingérée. L'utilisation de régimes protéoprives permet de prendre en compte indirectement ces pertes. Une autres partie des pertes endogènes sont spécifiques des matières premières utilisées dans la ration. Selon Nyachoti et al. (1997), ces pertes augmentent pour des régimes très riches en facteurs anti nutritionnels (fibres, composés polyphénoliques, facteurs antitrypsiques, etc...).

Dans le cas des feuillages tropicaux, la faible digestibilité des AA est la conséquence de leur forte teneur en fibres. Comme nous l'avons décrit pour l'énergie, la faible digestibilité d'un régime riche en fibres peut s'expliquer d'abord par une augmentation de la vitesse de transit des digesta qui se traduit par une augmentation de la quantité d'AA non digérés et des pertes azotées endogènes (PAE).

Les PAE sont formées des différentes sécrétions digestives (jus pancréatique, bile, mucus) qui ont la particularité d'être riches en certains AA (sérine, glycine, proline, thréonine et des acides aspartique et glutamique ; (Wünsche et al., 1987; de Lange et al., 1990; Jansman, 1993). La composition en AA de ces sécrétions restent la même quelque soit les ingrédients ingérés, seules les quantités sécrétées peuvent varier selon la composition du régime et notamment la teneur en fibres (Wünsche et al., 1987). De plus, le profil en AA des PAE (exprimé en % de la lysine) est généralement très différent de celui des aliments. Dans le cas d'une matière première riche en protéines « classique » comme le tourteau de soja, la quantité d'AA apportée par l'aliment est nettement supérieure à celle secrétée dans les PAE. Ces pertes ont donc très peu de conséquences sur le profil des AA absorbés par l'animal. Au contraire, pour les feuillages tropicaux, le poids relatif des PAE est plus important, avec des conséquences également plus importantes sur le profil en AA réellement absorbés par l'animal. Ceci explique pourquoi la digestibilité des AA des feuillages tropicaux telles que la thréonine et la glycine sont très faibles comparativement aux autres AA de la ration.

Selon les travaux de Shayo et Udène (1999) et de Leterme et al. (2005), une part non négligeable des protéines des feuillages tropicaux est liée physiquement aux fibres (20 à 50 % selon les feuilles). Malheureusement, cette quantité d'azote liée au NDF n'a pas été mesurée dans nos travaux. Cette protéine et les AA qui la composent sont théoriquement peu accessibles aux enzymes de la digestion et sont donc peu digestibles chez le porc (Sève and Hess, 2000). Les effets de ses complexes protéines-fibres dépendent du taux de lignine dans les fibres (Dierick et al., 1983) et du taux de fibres dans l'aliment (Oke, 1978).

Contrairement aux ressources protéiques classiques, les feuillages tropicaux contiennent des concentrations plus ou moins importantes de métabolites secondaires, qualifiées le plus souvent de facteurs antinutritionnels. Ces facteurs antinutritionnels sont constitués d'une grande variété de métabolites (Les saponosides, les alcaloïdes, les polyphénols, les terpènes, les stéroïdes, les AA non protéiques, les glucosides cyanogènes et

les autres hétérosides) dont les quantités respectives et leur impact sur les processus digestifs sont très peu décrits dans la bibliographie. Le screening phytochimique de l'étude N°2 a permis de faire une analyse descriptive des composés présents dans les 4 feuillages tropicaux étudiés dans nos travaux. La plupart d'entre eux appartient à la classe des polyphénols. Parmi ces polyphénols, les tanins condensés et hydrosolubles sont identifiés comme les principaux facteurs limitant la valeur nutritionnelle de certains fourrages (Jansman, 1993; Osborne and McNeill, 2001). Les polyphénols sont reconnus pour précipiter les protéines en solution aqueuse (Butler, 1989) et pour former des complexes stables face aux enzymes digestives de l'animal. Les tanins peuvent aussi se lier et inactiver les enzymes de la digestion (comme la trypsine) (Mole and Waterman, 1987). Dans l'étude N°2, nous montrons que 1% de tanin en plus dans la ration diminue la digestibilité fécale de l'azote de 3%, ce qui est en accord avec les résultats de (Kemmer et al., 1984).

La digestibilité des AA peut varier énormément d'une feuille à l'autre. Nos travaux montrent que les AA des feuilles de madère et de patate douce sont plus digestibles que ceux des feuilles d'érythrine et de manioc. Cette variation s'explique principalement par des différences de teneurs en fibres et en tanins. En effet, les feuilles de manioc et d'érythrine contiennent plus de fibres et de tanins que les feuilles de patate et de madère. Pour les feuilles de manioc, la méthionine a une digestibilité négative. Si on exclut un éventuel problème de dosage, cette très faible digestibilité pourrait être la conséquence de l'utilisation des AA soufrés pour la conversion des l'HCN en thiocyanate. Les substrats essentiels pour cette réaction chimique sont le thiosulfate et 3-mercapto-pyruvate qui sont des dérivés de la cystéine, de la cystine et de la méthionine. En pratique, les effets de l'HCN seront accentués chez un animal alimenté avec un régime pauvre en protéines et plus spécifiquement pauvre en AA soufrés car sa capacité de détoxification de l'HCN est réduite (Job, 1975).

Les données issues de cette étude sont originales, car jusqu'à présent, aucune étude n'avait évalué la digestibilité standardisée des AA présents dans les 4 feuilles étudiées. L'analyse des résultats de la bibliographie montre qu'il existe de grandes variations pour une même feuille en ce qui concerne la digestibilité apparente des AA notamment lorsque l'on compare nos résultats à ceux déjà publiés sur le sujet. Dans l'étude de Phuc and Lindberg (2001), la digestibilité des AA essentiels des feuilles de manioc séchées était en moyenne de 50 % (contre 23 % en moyenne dans l'étude N°2, en incluant la digestibilité fortement négative de la méthionine). De la même manière, les digestibilités des AA essentiels des feuilles de patate douce dans nos travaux sont également inférieures par rapport aux résultats

obtenus par An et al. (2004). Ces grandes disparités entre les études sont principalement dues à des différences de composition chimique entre les feuilles utilisées d'une étude à l'autre. De manière générale, les feuilles utilisées dans l'étude N°2 sont plus riches en fibres et souvent moins concentrées en protéines que les feuilles des autres études, de la même manière que les études bibliographiques ne font aucune référence sur la teneur en tanins de leur feuille. Or il a été démontré plus haut que ceux-ci jouaient un rôle important sur les digestibilités des AA. Néanmoins, ces différences de compositions chimiques ne suffisent pas à justifier autant de variabilité. Les méthodes utilisées pour mesurer les digestibilités iléales des AA peuvent aussi être discutées. Les taux d'incorporation des feuilles dans les régimes sont parfois faible (seulement 15 % dans l'étude de Phuc and Lindberg (2001)) ainsi la sensibilité de la méthode peut être faussée. De la même manière, la méthode utilisée pour déterminer la digestibilité apparente diffère d'une étude à l'autre. En effet, dans le protocole de Phuc and Lindberg (2001) et An et al. (2004), les auteurs ont utilisé un marqueur afin de mesurer la digestibilité en faisant des récoltes de fécès partiels. Lors de notre étude, des récoltes totales étaient effectuées. Cette différence de protocole peut ainsi potentiellement expliquer cette différence de résultats. De plus, les études font peu références aux techniques de dosage qu'elles utilisent pour doser les AA. Or d'une méthode à l'autre la précision du dosage peut varier énormément. Ces diverses explications soulignent le fait que d'une étude à l'autre, outre la composition chimique du produit qui influe sur les résultats, la fiabilité des protocoles de mesures sont aussi à reconsidérer. Ceci est d'autant plus vrai lorsque l'on doit étudier des ressources telles que les feuillages tropicaux qui présentent la caractéristique d'avoir des faibles teneurs en AA et de contenir une grande variabilité de facteurs anti nutritionnels. Ces éléments peuvent influencer fortement la qualité de la mesure des AA.

Les résultats sur l'ingestibilité et la valeur nutritionnelle de ces ressources (feuilles et tubercules), permettent d'envisager la formulation de rations dites « locales », c'est-à-dire composées majoritairement de l'association de ces ressources (protéiques et énergétiques). L'efficacité de ces rations sur les performances de croissance des porcs doit alors être démontrée dans des essais zootechniques, et valider ainsi l'ensemble des résultats obtenus au cours de ces travaux de thèse.

V- MODALITES D'UTILISATION DES MATIERES PREMIERES TROPICALES POUR L'ALIMENTATION DU PORC

Tableau 15. Estimation des besoins protéiques pour un porc Créole et apport protéique selon les différentes feuilles

Feuille	Manioc	Patate douce	Madère	Erythrine
Forme la mieux ingérée	frais/farine	frais/farine	sec	frais
Ingestion Maximale ¹ , g MS/j	463	482	408	488
Ingestion Maximale ¹ , g MS/j/kg PV ^{0,60}	39,5	41,6	34,7	41,6
Quantité de lysine _{dig} apporté, g/j	1,9	2,6	2,6	0,9
Besoin en lysine _{dig} ² g/j	7,7	7,7	7,7	7,7
Apport des besoins par les feuilles,%	25,2	33,1	33,4	12,1

¹ Ingestion déterminé au préalable au cours d'une expérimentation

² Besoin estimé pour un porc Créole avec la méthode factoriel pour une croissance de 500g/j.

Un des derniers objectifs de notre travail était de concevoir des rations pour le porc dans lesquelles les protéines et l'énergie seraient apportées uniquement pas la combinaison de deux ou plusieurs matières premières étudiées dans la thèse. Le Tableau 15 résume nos résultats en présentant, pour chaque feuille distribuée sous une forme permettant d'en maximiser l'ingestion par le porc, la part relative des besoins protéiques du porc qu'elles peuvent couvrir. Dans ce calcul, nous avons fait l'hypothèse que le profil en AA (exprimé en % de la lysine digestible) était bien équilibré pour la croissance du porc, ce qui, comme nous l'avons vu dans nos travaux, n'est pas forcément vérifié pour toutes les feuilles. Par exemple, il est nécessaire d'utiliser une complémentation en méthionine dans les feuilles de manioc pour compenser les pertes liées à la détoxification du HCN. Par ailleurs, nous avons estimé qu'une croissance moyenne de 500 g/j pour le porc CR était suffisante pour assurer la rentabilité économique d'un système polyculture élevage.

Selon le tableau 15, le potentiel de chaque feuille à répondre aux besoins azotés du porc Créole varie selon l'origine botanique du produit. En moyenne, un tiers des besoins en lysine peut être couvert lorsque les porcs sont alimentés avec des feuilles de patate distribuées en frais ou en farine et des feuilles de madère sous forme de farine. L'utilisation des feuilles de manioc fait baisser ce taux de couverture à 25%. Enfin, seulement 12% des besoins en lysine digestible peuvent être couverts par une alimentation à base de feuilles fraîches d'érythrine. Par conséquent, ces résultats théoriques ne permettent donc d'envisager une couverture partielle des besoins protéiques du porc avec les feuillages tropicaux. Ces données doivent être relativisées en fonction de plusieurs critères et notamment l'objectif de croissance des animaux, ainsi que d'autres aspects socio-économiques (coût du travail lié à la récolte des feuilles, valeur ajoutée d'une viande produite dans ce type d'élevage, etc...).

A partir de cette première validation théorique, nous avons mis en place des essais zootechniques pour valider nos hypothèses relatives aux taux de couverture des besoins azotés par le porc. Dans ces essais, nous avons décidé d'associer les tubercules et les feuilles issus d'une même plante (manioc ou patate). Même si d'un point de vue technique ce choix pouvait être discutable au regard de nos résultats notamment sur la valeur protéique des feuilles de manioc, nous avons considéré que cette option pouvait avoir une réalité pratique.

Cette étude a constitué le 6^{ème} protocole réalisé dans le cadre de ce travail de thèse et qui s'est déroulée entre août et décembre 2010. Pratiquement, deux essais d'engraissement impliquant 12 porcs Créoles (males castrés et femelles) ont été successivement conduits en

conditions expérimentales. Dans chaque répétition, les porcs étaient suivis pendant 30 jours après une période d'adaptation au nouveau régime de 10 jours. Nous avons choisi de distribuer des feuilles sous forme fraîche pour coller à la réalité du terrain où les possibilités techniques de séchage sont généralement faibles. Dans chaque essai, des blocs de 3 frères ou sœurs ont été constitués sur la base du PV. Un animal par bloc recevait une des 3 rations expérimentales constituées du mélange tubercule broyé/séché et tourteau de soja (ration 1) ou d'un mélange tubercule, feuille et tourteau de soja (rations 2 et 3). Dans la ration 2, l'apport de lysine par les feuilles était totalement complété par l'apport en tourteau de soja (basé sur les calculs du Tableau 15). Dans la ration 3, la complémentation avec du tourteau de soja était limitée à un apport permettant de couvrir uniquement 50 % des besoins azotés du porc CR. Ce dernier lot était destiné à se rapprocher de la réalité du terrain où d'un point de vue économique, une complémentation complète avec le tourteau de soja n'est pas viable. Tous les aliments étaient formulés pour apporter les mêmes quantités en EM (environ 20 MJ/j) et en micro nutriments (sels, minéraux, vitamines).

Dans le premier essai, nous avons utilisé les produits du manioc. Malheureusement et pour des raisons encore mal identifiées, les porcs ont refusé de consommer les feuilles de manioc, ce qui a entraîné l'arrêt prématuré de cet essai. Dans des mesures préliminaires, nous avons vérifié que la teneur en HCN était faible et du même niveau que celle des feuilles utilisées dans l'étude sur l'ingestion. D'autres hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette faible ingestibilité. Compte tenu de l'importance des tanins dans l'ingestibilité des feuilles de manioc, nous pouvons supposer que la teneur en tanins des feuilles utilisées dans cet essai était anormalement élevée. Des dosages en cours dans notre laboratoire permettront prochainement de vérifier cette hypothèse. Par ailleurs, il est également important de noter que les tubercules utilisés dans cette étude étaient sensiblement plus riches en fibres comparativement à ceux utilisés dans l'étude N°3. En d'autres termes, nous pouvons supposer que ces caractéristiques ont augmenté le caractère pondéreux de la ration ce qui a pu contribuer à limiter l'ingestion de feuilles. En effet, dans ce protocole, nous avons d'abord distribué le broyat de tubercule avec le tourteau de soja puis ensuite les feuilles de manioc. Autrement dit, nous pouvons suggérer que la capacité des feuilles à répondre aux besoins protéiques du porc pourrait dépendre également en partie de l'ingestibilité de la source d'énergie de la ration.

Dans le second essai, nous avons utilisé les produits de la patate douce selon les mêmes modalités que l'essai 1. Contrairement au manioc, nous n'avons pas rencontré de

Tableau 16. Effet d'un régime alimentaire à base de patate douce (tubercules + feuilles) sur les performances de croissance du porc Créole

	Lot 1	Lot 2	Lot 3
Quantité de feuille ingérée, g MS/j	0	420	428
GMQ, g/j	572	500	365
Consommation totale, g MS/j	1330	1157	1328
IC, kg/kg	3,17	3,54	5.71

Lot 1 : mélange de 27% de MS de tourteau de soja + 73% MS de tubercule ; Lot 2 : mélange de 17% MS de tourteau de soja + 61% MS tubercule + 22% MS de feuille +; Lot 3: mélange 8% MS tourteau de soja + 61% tubercule + des feuilles ad-libitum

problèmes quant à l'ingestion des feuilles par les porcs. Ce premier résultat confirme ceux obtenus dans les études sur l'ingestibilité des feuilles, à savoir que la feuille de patate est un produit très appétant chez le porc. Les résultats concernant les performances de croissance sont résumés dans le Tableau 16. D'un point de vue statistique, les performances de croissance obtenues dans les lots 1 et 2 ne sont pas différentes et sont en cohérence avec nos hypothèses de départ (niveau d'ingestion des feuilles, niveau de complémentation en soja, etc...). Les faibles performances obtenues dans le lot 3 étaient prévisibles compte tenu de plus faible apport en AA digestibles, même si le niveau d'ingestion des feuilles de patate a été plus élevé que prévu.

Ces résultats semblent valider notre hypothèse de départ, qu'avec un mélange de tourteau de soja et de feuilles de patate (dont 38 % des besoins protéiques est couverts par les feuilles), il est possible d'avoir les mêmes performances de croissance qu'avec une ration où 100 % des besoins protéiques sont couverts par du tourteau de soja. En revanche, la réduction de l'apport de soja (ramener à 50 % des besoins en protéines par rapport aux 72 % dans le lot 2) entraîne une diminution de la vitesse de croissance (-170 g/j en moyenne) et une augmentation de l'indice de consommation.

Le moins bon niveau de performance obtenu avec le lot 3 est à relativiser en fonction de considérations économiques. En effet, si l'on considère que les produits de la patate (feuilles + tubercules) sont produits dans l'exploitation, la perte de production liée à l'allongement de la période de croissance sera largement compensée par la réduction du coût alimentaire lié à l'achat du tourteau de soja en particulier compte tenu des cours actuels. En moyenne, d'après nos calculs, un producteur pourrait faire une économie atteignant 20 % sur le coût alimentaire en utilisant la 3^{ème} ration. Ces calculs doivent être revus en fonction du coût associé à la production et de récolte des tubercules et des feuilles de patate.

Ces premiers essais de validation mériteraient d'être approfondis avec un nombre plus important d'animaux et en considérant les autres feuilles ou un mélange de feuilles et d'autres critères de mesures comme des données sur la qualité de la carcasse ou de la viande. Malheureusement, faute de temps, ces validations n'ont pas pu être réalisées dans le cadre de ce travail de thèse. Cependant, les données biotechniques produites dans notre travail permettent de prévoir avec une assez bonne précision, l'effet de l'utilisation des feuilles sur les performances des porcs.

Au regard des résultats de notre travail de thèse, nous avons caractérisé la valeur protéique aux feuilles de patate, de manioc, de madère et d'érythrine. Dans nos conditions expérimentales, la concentration AA digestibles apportée par ces différentes feuilles est globalement faible en raison 1/ de la faible digestibilité des (voir paragraphes précédents)

mais également des faibles teneurs en protéines des produits utilisés dans nos différents travaux. Par exemple, des travaux disponibles dans la littérature montrent que l'utilisation de feuilles de madère permet de couvrir plus de 50% des besoins azotés du porc (contre seulement 30 % dans notre étude) (Hang and Preston, 2009; Hang and Preston, 2010). Cette différence s'explique principalement par le fait que nous avons utilisé un madère sauvage moins riche en protéines (16 %) que le madère cultivé (24 %) utilisé dans les études de Hang et Preston (2010). Compte tenu de l'importance des cultivars, des conditions de cultures (type de sol, fertilisation, etc.) et du stade de récolte sur la composition chimique des feuilles, ces facteurs doivent être pris en compte pour augmenter la qualité nutritionnelle des feuilles pour l'alimentation du porc. Pratiquement, l'optimisation du stade de récolte doit tenir compte à la fois de la valeur nutritionnelle et de la productivité des feuilles, mais également de celles du tubercule car les deux parties de la plantes sont à l'heure actuelle récoltées en même temps.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'ensemble des résultats de notre travail de thèse montre que les ressources alimentaires locales peuvent être des matières premières potentiellement intéressantes à utiliser pour l'alimentation du porc dans le cadre de systèmes d'élevage de type polyculture élevage. Un des principaux objectifs de ce travail était de caractériser aussi complètement que possible certaines matières premières disponibles localement afin de fournir toutes les informations nécessaires pour une utilisation optimale dans une ration pour le porc. Nos résultats confirment que les tubercules de manioc et de patate sont de très bonnes sources d'énergie et qu'avec un traitement minimum ces ressources peuvent facilement être utilisées dans l'alimentation du porc. Nous confirmons également que la valeur énergétique et protéique de feuillages tropicaux sont globalement faibles lorsque ces produits sont comparés à des matières premières dites « conventionnelles ». Cependant, l'utilisation de ces ressources peut être viable économiquement dans le cadre de systèmes peu intensifs où elles sont produites à moindre coût sur l'exploitation. Ceci est d'autant plus vrai dans le contexte actuel où les cours du tourteau de soja sont très élevés.

Plusieurs leviers d'action peuvent être utilisés pour améliorer la valeur nutritionnelle des feuillages et contribuer à couvrir une part plus importante des besoins protéiques du porc. Comme nous l'avons vu dans nos travaux, l'ingestibilité peut varier de manière importante selon la forme de distribution ou le traitement mis en œuvre pour réduire l'influence de certains métabolites secondaires. Nos résultats montrent que le séchage a des effets contrastés selon les feuilles, avec notamment pour l'érythrine une réduction significative de l'ingestion du produit séché. Des travaux complémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les facteurs responsables de cet effet et, le cas échéant, tenter d'apporter une solution de traitement. Par ailleurs, tous les moyens doivent être recherchés pour maximiser l'ingestion des feuilles. Face à une ressource protéique faiblement ingestible, il peut être conseillé par exemple d'y associer une source d'énergie très faiblement pondéreuse et très appétente.

L'amélioration de l'utilisation digestive des feuillages tropicaux doit faire l'objet d'études complémentaires. L'adaptation des pratiques culturales et de la récolte à des stades optimaux du point de vue de la valeur nutritionnelle de la matière première peuvent être des voies intéressantes notamment pour obtenir des produits plus riches en protéines et moins riches en fibres ou en tanins.

Pour nos expérimentations, les feuillages tropicaux ont été récoltés à la main ce qui d'un point de vue pratique est difficilement concevable pour un agriculteur quand la taille du troupeau de porcs dépasse un certain seuil. Une réflexion doit être conduite pour trouver la meilleure stratégie afin de limiter le coût de la main d'œuvre. Il semble qu'il soit par exemple possible d'exploiter une parcelle de manioc comme du fourrage avec plusieurs fauches dans l'année sans affecter de manière importante le rendement de production des tubercules. Cette option demande à être validée pour déterminer la fréquence et la hauteur de coupe et les variétés de manioc à utiliser. Les feuilles de patates peuvent être valorisées suivant un schéma similaire. Ce procédé de coupe n'est pas applicable pour les autres feuillages utilisés dans notre étude. Une alternative pourrait être de laisser les porcs se nourrir seuls dans la parcelle. Cette solution pourrait être viable pour la patate douce où l'animal aurait accès à une source d'énergie et de protéines dans la même parcelle. Le temps de rotation entre les parcelles pourrait être défini pour que les animaux laissent une quantité minimale de tubercules pour favoriser le redémarrage de la croissance des feuilles après le passage des animaux. Toutes ces alternatives mériteraient d'être testées dans de futures expérimentations.

ANNEXE 1

Leucaena leucocephala



Erythrina. spp.



Morus Alba (Murier)



Trichanthera spp.



ANNEXE 2

Ipomea aquatica



Lemna minor



Azolla foliculoides



ANNEXE 3

Manihot esculenta (cassava)



Ipomea batatas (patate douce)



Colocasia esculenta (madère)



Xanthosoma sagitifolium (madère)



ANNEXE 4

Palatability and ingestion of tropical foliage in pig

C. Rognier*, B. Bocage*, H. Archimède*, D. Renaudeau*

*143 U.R. INRA Antilles-Guyane, Unité de Recherche Zootechniques, 97170 Petit-Bourg, FW.I.

*1294 U.E. PTBAP plateforme Tropicales d'Expérimentation Animale, 97170 Petit-Bourg, FW.I.

contact: carolero@antilles.inra.fr



Introduction and objective

Tropical forages have potentially a high biomass yield and could partially cover the one part of the proteins requirement of a pig. The main constraints of these local feed resources could be their palatability.

Objective : Quantify the palatability of four tropical forages (cassava *Manihot esculenta*, sweet potatoes (pommes de terre), erythrina *Erythrina esculenta* and wild cocoyam *Colocasia esculenta*) in the Creole pig (2 experiments).

Material and methods



Cassava

CP: 30.0 % DM
NDF: 67.3 % DM
Tannins: 5.3 mg/100 g DM



Erythrina

CP: 32.7 % DM
NDF: 47.7 % DM
Tannins: 5.1 mg/100 g DM



Sweet potatoes

CP: 30.8 % DM
NDF: 38.6 % DM
Tannins: 1.8 mg/100 g DM



Wild cocoyam

CP: 18.6 % DM
NDF: 33.8 % DM
Tannins: 0.8 mg/100 g DM

Experiment 1: The impact of the incorporation rate of tropical forages on voluntary feed intake

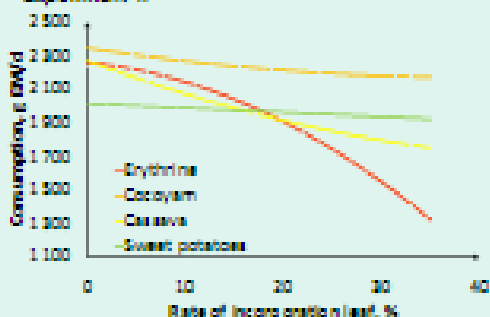
- 12 creole pigs (males and females; average BW= 45 kg)
- 4 latin square designs 4*4
- 10 d of measurements
- 4 rates of incorporation of leaf: meat 0, 5, 20, 35 % of DM
- Isotrogonous and isoengetic diets
- (14.5% CP; 11.5 MJ ME/kg DM)
- Pig fed ad libitum

Experiment 2: The effects of the processing form (fresh vs. sun dried) on voluntary feed intake

- 8 creole pigs (males and females; average BW= 55 kg)
- 2 latin square designs 4*4
- 10 d of measurements
- Feeding: 50 g/kg BW^{0.75} of a commercial CSBM + 45 g/kg BW^{0.75} of dry or the fresh leaves

Results

Experiment 1:

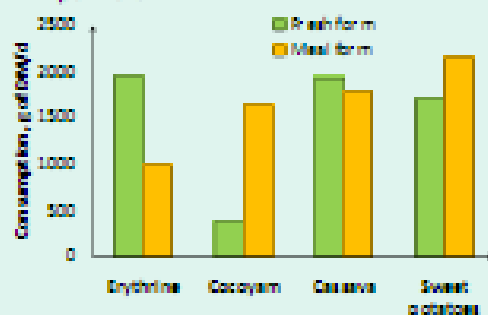


As the incorporation rate of foliage increases:

- Cassava and erythrina diet consumption decreases.
- Sweet potatoes and wild cocoyam diet consumption remains constant.

These differences can be explained by difference in chemical composition (fibre content/tannins).

Experiment 2:



- Low palatability of fresh cocoyam leaves are probably related to the presence of oxalic acid.

- For sweet potatoes, cassava and erythrina leaves, the drying process does not improve their palatability.

Fresh sweet potatoes appears to be the most suitable in the pig feeding.

Conclusion

The palatability of tropical forages varies according to the plant species. These differences are probably related to their high fibre content and the presence of secondary metabolites.

These results suggest that sweet potatoes, cassava and erythrina leaves could be allowed to the pigs without any treatment as a protein resources.

www.antilles.inra.fr



This program was supported by European Union, Région Guadeloupe and INRA



ANNEXE 5

Revista Computadorizada de Producción Porcina
Cerdos criollos y recursos alimentarios locales en Guadeloupe/ Creole pigs and local feed resources in Guadeloupe

Volumen 17 (número 2) 2010

ASOCIACION ENTRE UNA RAZA LOCAL Y RECURSOS ALIMENTARIOS LOCALES: EL EJEMPLO DE LOS CERDOS CRIOLLOS DE GUADELOUPE

Carole Régnier, J.L. Gourdine, X. Xandé, D. Renaudeau y H. Archimède

Unité de Recherches Zootechniques (UR143). Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). F-97170, Petit Bourg. Guadeloupe, Francia
email: carole.regnier@antilles.inra.fr , jean-luc.gourdine@antilles.inra.fr

RESUMEN

En nutrición animal, los cereales y sus subproductos son considerados la fuente principal de energía para alimentar los animales de granja, especialmente cerdos y aves. En las áreas tropicales, una explotación racional de razas locales y recursos alimentarios locales incrementaría la sostenibilidad de los sistemas de producción. En regiones del Caribe, el cerdo criollo es la principal raza local y representa aproximadamente el 40% de la producción de cerdos. El cerdo criollo se caracteriza por su baja prolificidad, una velocidad de crecimiento lenta y un engrasamiento corporal en sistemas intensivos de manejo. Prácticamente, el cerdo criollo es producido generalmente bajo manejo extensivo en sistemas con granjas de pequeña escala y una alimentación basada en el uso de recursos locales.

Los objetivos generales de los estudios hechos en la unidad de Producción Animal del Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) en Guadeloupe (Indias Occidentales Francesas) es evaluar el cerdo criollo de Guadeloupe en sistemas integrados en los que hay una cercana asociación entre los cultivos y el ganado. El objetivo de este artículo es reseñar el conocimiento científico disponible sobre el comportamiento y los requerimientos nutricionales del cerdo criollo y sobre el potencial de algunos recursos alimentarios locales, como la caña de azúcar y las raíces de yuca, para reemplazar cereales importados para la alimentación del cerdo.

Para concluir, se presentan modelos integrados de todo el conocimiento actual sobre el funcionamiento de un sistema de crianza basado en recursos locales y animales.

Palabras claves: sistemas integrados, razas locales, recursos alimentarios locales, cerdos

Título corto: Cerdos locales y recursos alimentarios locales en Guadeloupe

ASSOCIATION BETWEEN A LOCAL BREED AND LOCAL FEED RESOURCES. THE EXAMPLE OF THE CREOLE PIG IN GUADELOUPE

SUMMARY

In animal nutrition, cereals and their by-products are considered as major sources of energy to feed the livestock animals, especially pig and poultry. In tropical areas, a rational exploitation of local breeds and local feed resources would increase the sustainability of production systems. In Caribbean regions, the Creole pig is the main local breed and it represents approximately 40% of the total pig production. The Creole pig is characterized by a lower prolificacy, a slower growth rate and a greater fatness under intensive management system. Practically, the Creole pig is generally produced under extensive management in small scale farming systems with a feeding mainly based on the use of local feed resources.

The general aim of studies performed at the Animal Production unit of Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) in Guadeloupe (French West Indies) is to valorise Guadeloupean Creole pigs in integrated farming system in which there is a close association between crops and livestock. The purpose of this paper is to review the available scientific knowledge on the performance and the nutritional requirements of the Creole pig and on the potentiality of some local feed resource (sugar cane and cassava roots) to replace imported cereals in pig feeding.

To conclude, model integrating all the current knowledge about the functioning of a breeding system based on the use of local and animal resources are presented.

Key words: integrated farming system, local breed, local feed resources, pig

Short title: Creole pigs and local feed resources in Guadeloupe

Tabla de contenido

Introducción, 117
 Principales características del cerdo criollo de Guadeloupe, 117
 Orígenes del cerdo criollo de Guadeloupe, 117
 Rasgos de crecimiento, 118
 Calidad de la carne, 118
 Adaptación al ambiente tropical, 118
 Características nutricionales de los productos de yuca y de la caña de azúcar, 119
 Caña de azúcar, 119
 Raíces de yuca, 120
 Conclusiones, 122
 Agradecimientos, 122
 Referencias, 122

INTRODUCCION

Al comienzo del milenio, la seguridad alimentaria ha devenido un tema de preocupación mundial. En muchos países en desarrollo, es difícil para la producción agrícola, responder la demanda de alimento relacionada con un crecimiento demográfico acelerado. El crecimiento económico y la urbanización de países emergentes han modificado los hábitos de comida de la población con un aumento en el consumo de proteína, especialmente de productos cárnicos.

La industrialización de la producción animal está creciendo rápidamente para satisfacer la alta demanda de productos cárnicos, y los sistemas tradicionales están siendo reemplazados por unidades intensivas, lo que es más notable en Asia, América del Sur y partes de África. Son sistemas intensivos basados en el uso de razas altamente productivas y de dietas altamente concentradas formuladas con harina de soya y cereales. Más aún, en la mayoría de los países en desarrollo, los granos de cereales como el maíz son utilizados primero en la dieta de humanos, lo cual incrementa el precio y dificulta incluirlos en los piensos. Adicionalmente, en los países en desarrollo, la producción porcina es a menudo considerada no como un componente del sistema de granja, sino más bien una actividad especializada para producir carne. En contraste, en un sistema integrado, los cerdos son animales multipropósito que producen fertilizante y energía al igual que carne. Estos sistemas tienen la ventaja de beneficiar a partir de un máximo de recursos locales, en la explotación tanto del ganado como de los cultivos.

La evaluación de las características nutricionales de los productos locales constituye el principal tema de investigación en el área tropical. Entre estos recursos locales, la caña de azúcar y la yuca son los principales recursos energéticos tropicales. Sin embargo, estos recursos son molestos cuando los materiales frescos son ofrecidos directamente a los cerdos. En otras palabras, la habilidad de un cerdo para extraer energía de estos alimentos está a menudo limitada por la capacidad del tracto digestivo. Adicionalmente, estos alimentos locales son deficientes en proteína y necesitan ser complementados para asegurar un crecimiento normal. Ahora, en el contexto económico actual, el uso de estos recursos locales para alimentar cerdos son beneficiosos, especialmente en cría extensiva, si son producidos o están disponibles dentro de la explotación.

El objetivo de este documento es revisar el conocimiento científico disponible en la Unidad de Investigación Zootécnica (URZ, siglas en francés) del Instituto Nacional de la Recherche Agronomique (INRA), en cuanto al comportamiento y los requerimientos nutricionales de los cerdos criollos, EN Guadeloupe, Francia, y sobre el potencial de algunos recursos alimentarios locales, caña de azúcar y raíces de yuca, para reemplazar cereales importados para la alimentación porcina.

PRINCIPALES CARACTERISTICAS DEL CERDO CRIOLLO DE GUADELOUPE**Orígenes del cerdo criollo de Guadeloupe**

Este estudio de caso enfoca los requerimientos de la principal raza indígena de cerdos así como sus cruces en la región del Caribe, la raza de cerdos criollos. Ahora, los cerdos exóticos y cruzados predominan, mientras que los cerdos locales llegan solamente al 40% de la pira nacional, principalmente en Guadeloupe, Francia. Los genotipos criollos son el resultante de cruzamientos sucesivos entre diversas poblaciones importadas durante la colonización europea y fueron el resultado de la selección natural dentro de su entorno (Naves et al 2001). La gran diversidad del fenotipo de los cerdos criollos puede ser descrita en el Caribe y América del sur. Esta diversidad está confirmada a nivel molecular con un alto grado de diversidad genética en comparación con las principales razas locales francesas, como Vasco, Gascón, Limousine y Blanco del Oeste (Ollivier et al 2005). Esta consanguinidad no está envuelta en ningún programa genético de Guadeloupe. Aún así, esta variedad explicaría la rusticidad del genotipo criollo para soportar más o menos largos períodos de escasez. En Guadeloupe, una descripción estrecha del cerdo criollo ha sido hecha por Le Mentec (1970).

Los cerdos locales fueron caracterizados por tener un hocico largo y cóncavo, tren posterior levantado, cuerpo anguloso y bajo comportamiento reproductivo y de crecimiento en comparación con las razas exóticas. En lo que respecta al comportamiento de los cerdos criollos, los datos publicados en la literatura son raramente comparables, puesto que los genotipos locales han sido investigados en condiciones

extensivas de granja, con bajos insumos, mientras que los animales exóticos o cruzados son a menudo probados bajo condiciones mejoradas o en estación.

Rasgos de crecimiento

Desde 1970, la URZ del INRA en Guadeloupe, ha contribuido a mejorar el conocimiento del cerdo criollo. Los rasgos de comportamiento fueron primeramente caracterizados por Canope y Raynaud (1981). Estos autores midieron una ganancia media diaria de 440 g. Más recientemente, Renaudeau et al (2005a) mostró que los cerdos criollos alimentados con maíz/harina de soya podían crecer hasta 642 g/día entre 45 y 90 kg de peso corporal. La diferencia entre estos dos estudios está relacionada principalmente en una mejoría en las condiciones de crianza y alimentación más bien que en un incremento del potencial de crecimiento de los cerdos criollos. De acuerdo con nuestros resultados, el consumo promedio diario de alimento no difiere de acuerdo con a raza cuando la comparación se realiza en un rango constante de peso corporal. Sin embargo, el patrón de consumo fue significativamente afectado por el genotipo (Renaudeau et al 2006a). Lógicamente, la conversión alimentaria y la adiposidad de la canal es mayor en cerdos criollos que en los Large White. De acuerdo con Renaudeau y Mourrot (2007), la gran habilidad de los individuos criollos para depositar lípidos está relacionada probablemente con un efecto indirecto de diferencia concomitante entre razas en la velocidad de deposición de proteína, con más energía extra disponible para síntesis de lípidos más bien que un efecto directo de genotipo para la síntesis de estos lípidos. La gran adiposidad limita claramente el uso de cerdos criollos en sistemas intensivos. Otros rasgos menos favorables de los cerdos criollos incluyen un alto contenido de grasa y una proporción de carne magra, una velocidad lenta de crecimiento y una baja fertilidad, lo que los hace menos adecuados para responder a altos insumos, a menos que su calidad de carne especial sea apreciada por los consumidores.

Calidad de la carne

Las características de la calidad de la carne en los individuos criollos fue estudiado extensivamente en comparación con la de razas exóticas, como los Large White, de acuerdo con la edad al sacrificio o el peso corporal, así como con el sistema de alimentación, convencional o con caña de azúcar. Estos estudios subrayaron la superioridad de los criollos al compararlos con los Large White desde el ángulo de las propiedades tecnológicas y sensoriales de la carne. En particular, cualquiera que fuera el músculo considerado, el pH final y el contenido de grasa intramuscular fue significativamente más alto en los cerdos criollos en contraste con los Large White. Los estudios de Renaudeau et al (2003) y Deprès et al (1992) confirmaron las recomendaciones de Canope (1982), las cuales consistieron en sacrificar los cerdos criollos a los 65 kg de peso corporal debido a su precocidad para depositar grasa en el cuerpo.

Los resultados de estos estudios mostraron que el pH final fue más alto en la carne de los cerdos criollos que en los Large White. Más aún, se demostró que la pérdida de agua total en el músculo longissimus fue menos importante en cerdos criollos que en otros Large White. Un pH final alto y poca pérdida de agua son considerados buenos indicadores de la

calidad tecnológica de la carne para su procesamiento como jamón curado seco u otros productos de transformación.

El genotipo afecta el contenido de lípido intramuscular en el longissimus. Estas cantidades fueron más importantes en los animales del genotipo criollo. Muchos estudios han demostrado la relación existente entre el contenido de lípidos y el sabor y terneza de la carne (Deprès et al 1992). Aún más, hubo un desbalance de ácidos grasos poliinsaturados y saturados, y el bajo contenido de ácidos grasos insaturados decreció su calidad nutricional.

En sistemas intensivos, estos datos demostraron que la calidad de la carne de cerdos criollos fue superior a la de animales Large White. La calidad del tratamiento dietético influyó los índices sensoriales de la carne, especialmente cuando la naturaleza de la dieta afectó la calidad y cantidad de lípidos intramusculares (Girard et al 1986).

Adaptación al ambiente tropical

Las razas locales son conocidas por su habilidad para desenvolverse en condiciones ambientales desfavorables, como la variación en el clima, la desnutrición, la no prevención de enfermedades y el alojamiento rudimentario. El carácter rústico de los cerdos criollos estuvo en relación con su capacidad para soportar períodos de ayuno. Los cerdos criollos toleran las características del clima tropical. Hay estudios que han demostrado que cerdos criollos en crecimiento o cerdas lactantes de ese genotipo se desenvolvían mejor en un estrés calórico que razas exóticas como la Large White (Chen et al 2005; Gourioine et al 2005). Esta mejor tolerancia al calor de los cerdos criollos pudiera explicarse parcialmente por las diferencias en la histología de la piel y por la histometría de las glándulas sudoríparas (Renaudeau et al 2006b). En este sentido, Renaudeau (2005) y Renaudeau et al (2005b) han comparado los efectos de exposiciones a corto plazo a altas temperaturas y humedad relativa, en la respuesta termoreguladora de cerdos en crecimiento Large White y criollos. Los resultados demostraron que la temperatura crítica máxima fue menor en los cerdos criollos y que el ritmo respiratorio fue significativamente menor en los criollos que en los Large White, o sea, 19.0 y 27.6 veces por minuto, en una temperatura tropical

Los rasgos de adaptación favorable con respecto a factores ambientales, condiciones de bajo insumo para la producción, y baja susceptibilidad para las enfermedades) así como ser más robustos son los que se describen para razas de cerdos locales, junto con los rasgos favorables de calidad de carne. Estas características devienen ventajas en un sistema de granja a pequeña escala con una alimentación basada en el uso de recursos alimentarios locales. De acuerdo con sus bajos requerimientos nutricionales, las razas de cerdos locales puede valorizar estos alimentos locales. En Guadeloupe y ampliamente en zonas tropicales, la caña de azúcar y la yuca están muy presentes en los sistemas de granja. La caña de azúcar y la yuca pueden ser usadas como el recurso alimentario mayoritario para la mayoría del ganado, lo mismo para el agricultor pequeño que tiene cerdos, ganado vacuno y pequeños rumiantes (Preston y Murgueitio 1992). El principal objetivo de nuestros trabajos con recursos alimentarios locales lo es el caracterizar su valor nutricional para el cerdo según el tratamiento tecnológico, variedad, el

rendimiento. En este artículo, se hace énfasis en productos de la caña de azúcar y de la yuca.

CARACTERÍSTICAS NUTRICIONALES DE LOS PRODUCTOS DE YUCA Y DE LA CAÑA DE AZÚCAR

La caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) y la yuca (*Manihot esculenta*) pueden usarse como el principal recurso alimentario para la mayoría del ganado, y aún para el pequeño agricultor (Gómez 1991; Preston y Murgueitio 1992). A continuación se discuten detalles de las características nutricionales de distintos productos de yuca y de caña de azúcar, en los programas de alimentación de cerdos criollos de Guadeloupe con estos alimentos localmente disponibles.

Caña de azúcar

El uso de la caña de azúcar o sus subproductos han sido ensayados como sustituto o sustituto parcial, de granos de cereales en las dietas para cerdos. Se han publicado muchos estudios sobre la utilización de las melazas como principal fuente de energía en el cerdo. Sin embargo, poco se ha publicado sobre el uso de jugo o cañas como sustitutos de la dieta convencional.

De acuerdo con nuestros resultados, el jugo de caña de azúcar tiene un alto contenido de energía y puede reemplazar los cereales como principal fuente de energía en el cerdo. La tabla 1 resume resultados recientes obtenidos en esta estación del INRA, en cuanto a caña de azúcar. Estos resultados mostraron diferencias en el uso digestivo entre los subproductos de la caña de azúcar.

Las melazas ya han sido objeto de numerosas publicaciones. Originadas de la manufactura del azúcar a partir del jugo, la composición química de las melazas difiere mucho de acuerdo con el proceso de fabricación. Sin embargo, expresado como porcentaje de la materia seca, las melazas consisten como promedio en 73% de azúcar libre, 15.1% de minerales y 4.7% de proteína bruta (tabla 1). El valor de energía bruta obtenido en nuestros estudios, 15.7 MJ/kg MS, está en línea con los valores de las tablas francesas (Sauvant et al 2003). En comparación con los valores del cereal, 18.7 MJ/kg MS, la energía bruta de las melazas es bajo. Así como la energía bruta, los valores de energía digestible y metabolizable son menores que los del maíz, 12.6 y 12.2; 16.4 y 16.0 MJ/kg MS respectivamente. El alto contenido de minerales pudiera ser la causa de la baja densidad energética y contenido de N en las melazas (Christon y Le Dividich 1978).

De acuerdo con los estudios guadalupenses, hechos con miel final como complemento energético, los principales resultados demostraron que las melazas incorporadas a un nivel de 23% en la dieta de cerdos en crecimiento entre 30 y 60 kg no mostró cambios en los rasgos de comportamiento. Este nivel fue insuficiente, pero con más del 40% de melaza, hubo un riesgo de diarrea (Christon y Le Dividich 1978). Más aún, estos estudios confirmaron el efecto depresivo de las melazas en la digestibilidad del N de la dieta. El uso de melazas como sustitutos del maíz en la ración es difícil. La melaza es viscosa y ocasiona diarreas. El aumento de mieles de caña de azúcar en la ración tiene efectos negativos en el crecimiento de los cerdos. Por otra parte, las melazas son recomendadas en bajos niveles como un factor de palatabilidad para dietas de cerditos destetados.

Tabla 1. Síntesis de los resultados del valor nutricional y energético de tres productos de caña de azúcar estudiados en cerdos criollos de Guadeloupe

	Productos de caña de azúcar ¹				
	Miel final	Jugo	Tallos de caña		Maíz ²
			Oferta	Consumo	
MS %	74.3	19.3	25.8	43.7	86.4
Composición química, % MS					
Materia mineral	15.1	1.6	1.5	1.1	1.4
FDN	-	-	40.3	23.2	12.0
FDA	-	-	26.6	14.9	3.0
LDA	-	-	4.4	0.0	0.6
Azúcares libres	73.8	73.1	51.5	80.2	1.9
Almidón	-	-	-	-	74.2
Grasa cruda	-	-	-	-	4.3
N	4.7	1.4	1.2	0.0	9.4
Energía bruta, MJ/kg DM	15.7	17.5	17.9	17.6	18.7
Digestibilidad rectal, %					
Materia orgánica	83.3	99.4	31.9	71.4	91.0
Azúcares libres	93.6	100	33.4	100.0	-
Almidón	82.3	99.1	31.8	70.8	88.0
N	65.9	85.2	73.0	74.8	81.0
Valor energético, MJ/kg MS					
Energía digestible	12.6	17.3	5.5	12.3	16.4
Energía metabolizable	12.2	17.1	5.2	12.0	16.0

¹ Xandé (2008)

² Sauvant et al (2003)

Al igual que las melazas, se encontró que el jugo de caña de azúcar o guarapo era muy palatable como alimento. En la URZse focalizó la utilización digestiva de nutrientes y energídel

jugo de caña y de la caña de azúcar como tal. El jugo de caña se caracteriza por una baja concentración de MS, 20%, un alto contenido de azúcares libres, 78% de la MS, y una ausencia de fibra; el contenido energético del jugo es muy alto, 17.5 MJ/kg MS. En oposición, las cañas son ricas en fibra y contienen 50.3% de azúcar libre. La energía bruta de la caña es similar a la del jugo, 17.9 MJ/kg MS. Los estudios de digestibilidad rectal hechos con cerdos en crecimiento, y los estudios sobre la calidad de la carne y la canal, permitieron disponer de datos originales sobre el uso de la caña de azúcar. Entre ellos, los valores de energía digestible y metabolizable del jugo y de los tallos, 17.3 y 17.1 por una parte, y 12.3 y 12.0 MJ/kg MS por la otra. El bajo valor para las cañas molidas se debe a su alto contenido de fibra detergente neutro en el producto, 40.3% de la MS (Xandé 2008).

Es importante subrayar que en la caña de azúcar, el material ingerido es muy distinto del material ofrecido. El uso de tallos molidos de caña de azúcar induce hábitos particulares de comida en el cerdo. Los cerdos mastican las cañas para extraer el jugo y escupen los residuos fibrosos no consumidos (Mederos et al 2004). Esta conducta difiere de acuerdo con el tamaño y el monto de cañas ofrecidos. Según Bravo et al (1996), la extracción del azúcar de los tallos decrece en los cerdos cuando la cantidad de cañas aumenta. Aún más, Mederos et al (2004) hallaron que la extracción del azúcar fue más efectiva en fragmentos de cañas superiores a 3 cm. Un estudio de Xandé (2008) llevado a cabo en la Estación subrayó estas diferencias entre la composición del producto brindado y el ingerido (tabla 2)

Esta diferencia está conectada directamente a la conducta individual del cerdo, pero generalmente el crecimiento no excede los 200 g diarios para cerdos entre 30 y 65 kg de peso corporal, alimentados ad libitum con tallos de caña de azúcar (Xandé 2008). Los rasgos de comportamiento aún en estas condiciones se duplican en valor con el uso del jugo de caña de azúcar, 550 g/día (Xandé 2008). Estos resultados están explicados por la alta digestibilidad de los azúcares libres contenidos y la alta palatabilidad del jugo. Si los rasgos de comportamiento son buenos, la calidad de la canal y la carne son menos importantes con el jugo que con los tallos de caña de azúcar.

Los estudios hechos en la Estación por Xandé (2008) mostraron una consecuencia negativa en la adiposidad de la canal y en el pH final de cerdos alimentados con jugo de caña. Este resultado mostró que la carne de cerdo alimentado con jugo de caña tiene una calidad tecnológica menor que la de caña de azúcar. Pero el estudio con jamones demostró que los jamones de cerdos con jugo de caña fueron más apreciados que los de cañas. La grasa limitó las pérdidas de agua durante los estudios de salazón y reposo, haciendo a los jamones de jugo de caña menos secos que los de tallos (Xandé 2008)

El uso de cañas de azúcar en el cerdo es limitado debido a su baja ingestión. La fibra no es valiosa en el cerdo en crecimiento, pero estos tallos tienen interés para el racionamiento de animales y en las cerdas gestantes. Como cosa opuesta, la palatabilidad del jugo de caña y su alto valor energético permite su uso como única fuente de energía para alimentar cerdos. El mayor problema en la utilización del jugo lo es su conservación. El jugo de caña debe ser almacenado a 4°C durante cuatro días

Para el mantenimiento de un buen comportamiento durante el crecimiento, es necesario suministrar a los cerdos como promedio 24 MJ/día ó 1.136 kg de maíz, 4.585 kg de jugo y el doble, 8.900 kg de cañas de azúcar. Con esta energía, la proteína es el otro componente necesario para obtener un buen crecimiento. Las dietas de caña de azúcar son pobres en proteína y toda ella debe provenir de una fuente exterior. Como contrario, en las dietas convencionales de cereales, 50% de las necesidades de proteína son suplidas por cereales con bajo perfil de aminoácidos.

Este dato completa la recomendación del uso de la caña de azúcar en el programa de alimentación del cerdo criollo.

Raíces de yuca

Al igual que la caña de azúcar, la yuca desempeña un rol importante en la investigación de fuentes de alimentos alternativos y locales para apoyar la producción porcina en países tropicales. La planta de yuca ha sido cultivada en los trópicos por sus raíces ricas en almidón. Es una fuente de carbohidratos para los seres humanos, pero durante los últimos 30 años, este interés en su valor como alimento para el ganado porcino ha ido en aumento. En la literatura, varios estudios informaron la sustitución de cereales por yuca. Pero la producción animal usando raíces de yuca como sustituto del maíz es difícil de llevar a la práctica debido a los componentes tóxicos de las raíces. El problema principal es el contenido de glucósidos cianogénicos, la linamarina y la laustralina. Estos glucósidos, en contacto con una enzima endógena, la linamarasa, produce ácido cianhídrico. Para la alimentación animal, las raíces de yuca no son consumidas frescas y necesitan ser desintoxicadas para reducir o eliminar los glucósidos cianogénicos.

Los métodos de hervir, trocear, aplastar, secar y ensilar han sido usados para destruir la enzima y remover el ácido cianhídrico (Maner 1973; Tewe y Egbunike 1992). En algunos países la yuca se convirtió en un producto seco en forma de hojuelas o harina para reducir el contenido de HCN en las raíces y para asegurar la preservación de materiales alimentarios durante períodos de abundancia o exceso. Esta es la más conveniente y práctica de las vías informada en la literatura para manipular la yuca. Sin embargo, esta tecnología no está adaptada a la restricción del sistema de granjas pequeñas. En este contexto, el principal objetivo de nuestros estudios sería probar el efecto de métodos simplificados de tratamiento de desintoxicación, en la digestibilidad y palatabilidad de raíces de yuca en cerdos en crecimiento. Nuestros resultados demostraron que el valor nutricional de las raíces de yuca no difirió de acuerdo con el tratamiento: molida, troceo o como harina, ni con la duración de secado al sol. Sin embargo, el año pasado, se condujo un experimento con raíces amargas de yuca cosechada a los ocho meses de edad, en que hubo tres pruebas. El comportamiento de los cerdos alimentados con la dieta basal y 40% de raíces de yuca procesada por las tres formas arriba descritas, mostró que el coeficiente de digestibilidad de la energía no estuvo influido por la forma de procesamiento

La tabla 2 muestra la composición química y la digestibilidad de las raíces de yuca en forma de harina, molida o troceada. Esta composición y la digestibilidad de la energía no estuvieron influidas por la forma de procesamiento. En este estudio, los valores de energía digestible y metabolizable promediaron 15.7 /kg MS.

Tabla 2. Síntesis de los resultados del valor nutricional y energético de tres formas de procesar raíces de yuca estudiadas en cerdos criollos de Guadeloupe

	Raíces de yuca ¹				
	Molida	Picada	Troceada	Harina	Maíz ²
MS %	89.0	89.0	87.7	88.8	86.4
Composición química, % MS					
Materia mineral	3.7	3.7	3.0	3.9	1.4
FDN	7.0	7.0	5.2	8.7	12.0
FDA	4.3	4.3	3.2	5.2	3.0
LDA	1.0	1.0	0.5	1.3	0.6
Azúcares libres					1.9
Almidón	75.1	75.1	74.6	72.8	74.2
Grasa cruda	0.3	0.3	0.5	0.3	4.3
N x 6.25	2.0	2.0	2.4	2.4	9.4
Ácido cianhídrico, mg/kg	212	212	367	25	-
Energía bruta, MJ/kg MS	16.9	16.9	16.9	16.8	18.7
Digestibilidad rectal, %					
Materia orgánica	92.5	94.5	93.7	94.4	91.0
Energía	91.3	93.3	92.6	93.2	88.0
N	79.3	78.1	84.1	81.6	81.0
Valor energético, MJ/kg MS					
Energía digestible	15.4	15.7	15.7	15.7	16.4
Energía metabolizable	15.3	15.7	15.7	15.7	16.0

¹ C. Regnier (2008, datos no publicados)

² Sauviant et al (2003)

Estos valores de energía digestible y metabolizable fueron similares a los datos informados en tablas francesas, 15.8 y 15.5 MJ/kg MS, respectivamente (Sauviant et al 2003), pero fueron más altas que las publicadas en tablas brasileñas, 14.5 y 14.3 MJ/kg MS respectivamente (Rostagno 2005). Aún más, en la prueba 2, la digestibilidad de la energía se incrementó linealmente con el aumento de la incorporación de raíces molidas en la dieta, sugiriendo que no hay interacción digestiva entre los nutrientes de las raíces y la dieta control. Este estudio apuntó hacia los cambios en palatabilidad de los productos de raíces de yuca obtenidos con distintos tiempos de secado o metodologías de secado y las diferencias en la concentración de HCN. La figura 1 muestra que la ingestión aumentó con un decrecimiento en el contenido de HCN:

En resumen, los resultados de Guadeloupe confirmaron que las raíces de yuca son una fuente de energía dietética muy buena para los cerdos. El secar durante seis horas y el proceso de molida parece ser la forma más práctica para incorporar la yuca en la alimentación porcina en sistemas de pequeñas granjas. Estos métodos fueron considerados los más simples y baratos a usar para desintoxicar las raíces de yuca en los trópicos. Como la caña de azúcar, la yuca es pobre en proteína bruta. Es necesario completar la dieta con un suplemento proteico. En el sistema de granjas pequeñas, la proteína es una limitante muy grande debido a su alto precio. Más estudios son necesarios para cuantificar el valor de la proteína de las fuentes locales de alimentación que están disponibles en la granja. Actualmente, en la Estación de Guadeloupe, se llevan a cabo estudios para hallar una

asociación estrecha entre las raíces y las hojas de la yuca para formular una ración completa para genotipos locales de cerdos, debido a la riqueza en proteína de las hojas de yuca.

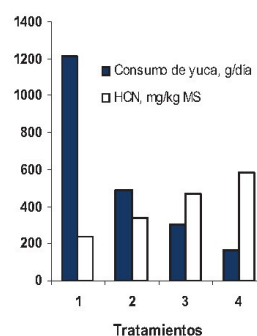


Figura 1. Efecto del contenido de ácido cianhídrico en raíces de yuca molida (GCR) o troceadas (CCR) en el consumo de distintas formas de raíces brindadas ad libitum a cerdos criollos en crecimiento durante 15 días
1,2,3 y 4 expresan GCR durante 6 ó 3 horas, o CCR durante 6 ó 3 horas
Fuente de los datos: Regnier (2009, datos no publicados)

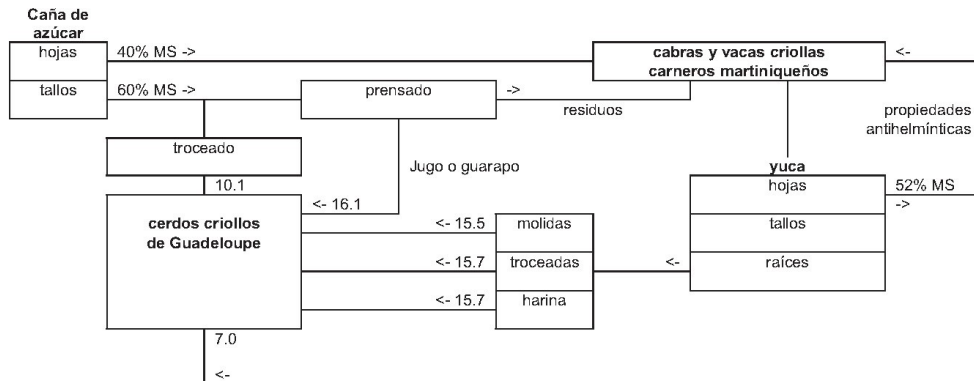


Figura 2. Modelo integrado para el funcionamiento de un sistema de crianza basado en recursos locales y animales. El ejemplo de Guadeloupe, Francia

CONCLUSIONES

Los objetivos generales de los estudios hechos en la unidad de Producción Animal del INRA en Guadeloupe, en las Indias Occidentales Francesas, ha sido el evaluar al cerdo criollo en sistemas integrados en los que hay una cercana asociación entre los cultivos y el ganado. El objetivo de este artículo ha sido reseñar el conocimiento científico disponible sobre el comportamiento y los requerimientos nutricionales del cerdo criollo en Guadeloupe, Francia, y sobre el potencial de algunos recursos alimentarios locales, como la caña de azúcar y las raíces de yuca, para reemplazar cereales importados para la alimentación del cerdo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la traducción del inglés al español del presente texto a J.L., así como sus sugerencias críticas.

REFERENCIAS

Bravo, M., Lasso, M., Esnaola, M.A. y Preston, T.R. 1996. Preliminary studies on the use of chopped sugar cane stalks as the basal diet for fattening pigs. *Livestock Research for Rural Development*, 8(3): versión electrónica disponible in: <http://www.cipav.org.col/lrrd/8/3/brav083.htm>

Canope, I. 1982. Etudes des interactions entre le type génétique et le régime alimentaire chez le porc en milieu tropical humide. Tesis DrSci. Institut National Polytechnique de Toulouse. Toulouse, pp 183

Canope, I. y Raynaud, Y. 1981. Etude comparative des performances de reproduction, d'engraissement et de carcasse des porcs Créoles et Large White en Guadeloupe. *Journée de la Recherche Porcine en France*, Paris, 13:307-316

Chen, M., Tu, C., Huang, S., Lin, J., Tzang, B., Hseu, T. y Lee, W. 2005. Augmentation of thermotolerance in primary skin fibroblasts from a transgenic pig overexpressing the porcine HSP70.2. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 18:107-112

Christon, R. y Le Dividich, J. 1978. Utilisation de la mélasse de canne-à-sucre dans l'alimentation du porc: essai d'interprétation des acquisitions récentes. *Annals de Zootechnie*, 27:267-288

Deprés, E., Tamisiet, F., Naves, M. y Rinaldo, D. 1992. Comparaison de porcs Créoles et Large White pour les performances de croissance et la qualité de la viande en fonction de l'âge de l'abattage. *Journée de la Recherche Porcine en France*, Paris, 24:17-24

Girard, J.P., Goutefongea, R., Monin, G. y Rouraille, C. 1986. Qualités des viandes de porcs. In: *Le Porc et son Elevage* (J.M. Perez, M. Mornet y A. Rérat, editores). Editorial Maloine. Paris, p 461-480

Gómez, G. 1991. Use of cassava products in pig feeding. *Pig News and Information*, 12:387-390

Gourdine, J.L., Renaudeau, D., Anaïs, C., Benony, K. y Bocage, B. 2005. A comparison of lactating performance of Creole and Large White sows in a tropical humid climate: preliminary results. *Archivos de Zootecnia*, 54:423-428

- .Le Mentec, C. 1970. Etude monographique du porc local en Guadeloupe. Bulletin Technique d'Information, 251:435-446
- Maner, 1973. Cassava in swine feeding tapioca leaves to pigs. Malaysian Agricultural Journal, 48:60-68
- Mederos, C.M., Figueroa, V., García, A., Alemán, E., Martínez, R.M. y Ly, J. 2004. Livestock Research for Rural Development, versión electrónica disponible in: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd16.mede.html>
- Naves, M., Alexandre, G., Leimbacher, F., Mandonnet, N y Menéndez, A. 2001. Les ruminants domestiques de la Caraïbe: le point sur les ressources génétiques et leur exploitation. Production Animale, 14:182-192
- Olivier, L., Alderson, L., Gandini, G.C., Foulley, J.L., Haley, C.S., Joosten, R., Rattink, A.P., Harlizius, M.A., Groenen, M., Amigues, Y., Boscher, M.Y., Russell, G., Law, A., Davoli, R., Russo, V., Maassino, D., Désautés, C., Fimland, E., Bagga, M., Delgado, J.V., Vega-Pla, J.L., Martínez, A.M., Ramos, A.M., Glodek, P., Meyer, J.N., Plastow, G.S., Signes, K.W., Archivald, A.L., Milan, D., San Cristóbal, M., Laval, G., Hammond, K., Cardellino, R. y Chevalet, C. 2005. An assessment of European pig diversity using molecular markers. Partitioning of diversity among breeds. Conservation Genetics, 6:729-741
- Preston, T.R. y Murgueitio, E. 1992. Strategy for Sustainable Livestock Production in the Tropics. CONDRIIT Limitada. Cali, pp 89
- Renaudeau, D. 2005. Effects of short-term exposure to high ambient temperature and relative humidity on thermoregulatory responses of European (Large White) and Caribbean (Creole) restrictively-fed growing pigs. Animal Research, 54:81-93
- Renaudeau, D., Bocage, B. y Noblet, J. 2006a. Influence of energy intake on protein and lipid deposition in Creole and Large White growing pigs in a humid tropical climate. Animal Science, 82:937-945
- Renaudeau, D., Hilaire, M. y Mouroi, J. 2005a. A comparison of growth performance, carcass and meat quality of Creole and Large White pigs slaughtered at 150 days of age. Animal Research, 54:43-54
- Renaudeau, D., Hilaire, M., Weisbecker, J.L. y Mouroi, J. 2003. Comparaison des performances de croissance, de carcasse et de qualité de la viande du porc Créole et Large White. Journée de la Recherche Porcine en France, 35:
- Renaudeau, D., Georgi, M., Silou, F. y Weisbecker, J.L. 2005b. Effect of breed (lean and fat pigs) and sex on performance and feeding behaviour of group housed growing pigs in a tropical climate. Asian-Australasian Journal of Animal Science, 19:593-601
- Renaudeau, D., Leclercq-Smekens, M. y Herin, M. 2006b. Differences in skin characteristics in European (Large White) and Caribbean (Creole) growing pigs with reference to thermoregulation. Animal Research, 55:209-217
- Renaudeau, D. y Mouroi, J. 2007. A comparison of carcass and meat quality characteristics of Creole and Large White pigs slaughtered at 90 kg BW. Meat Science, 76:165-171
- Rostagno, H.S. 2005. Tabelas brasileiras para aves e suínos: Composição química de alimentos e exigências nutricionais. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, pp 87
- Sauvant, D., Perez, J.M. y Tran, G. 2003. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, chevaux, poissons. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA) Editions. Paris, pp 310
- Tewe, O.O. y Egbunike, G.N. 1992. Utilization of cassava in nonruminant livestock feeds. In: Cassava as Livestock Feed in Africa. International Institute of Tropical Agriculture. Ibadan (Nigeria), p 28-38
- Xandé, X. 2008. Valorisation d'aliments non conventionnels par une race locale dans un contexte de système d'élevage alternative de type polyculture-élevage. Exemple de la canne-à-sucre valorisée par le porc Creole de Guadeloupe. Tesis DrSci. Université des Antilles et de la Guyane. Point-à-Pitre, pp 157

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (CIPAV), C.p.I.I.e.S.S.d.P.A., 1996. Arboles utilizados en la alimentacion animal como fuente proteica. Cali, Colombia, 123 pp.
- Acero, L.E., 1985. Arboles de la zona cafetera colombiana. Bogota, Ediciones Fondo Cultural Cafetero. 16, 132.
- Agunbiade, J.A., Susenbeth, A., Sudekum, K.H., 2004. Comparative nutritive value of cassava leaf meal, soya beans, fish meal and casein in diets for growing pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 88, 30-38.
- Akinfala, E.O., Tewe, O.O., 2001. Utilisation of whole cassava plant in the diets of growing pigs in the tropics. *Livestock Research for Rural Development* 13, 1-6.
- Akinfala, E.O., Tewe, O.O., 2004. Supplemental effects of feed additives on the utilization of whole cassava plant by growing pigs in the tropics. *Livestock Research for Rural Development* 16, article 82.
- Alalade, O.A., Lyayi, E.A., 2006. Chemical Composition and the Feeding Value of Azolla (*Azolla pinnata*) Meal for Egg-Type Chicks. *International Journal of Poultry Science* 5, 137-141.
- Almaguel, R.E., Ly, J., Mederos, C.M., Cruz, E., Martin, G., 2008. Effect of the use of mulberry forage (*Morus alba*) on the performance traits of swine livestock, Multifunctional grasslands in a changing world, Volume II: XXI International Grassland Congress and VIII International Rangeland Congress, Hohhot, China, 29 June-5 July 2008., Guangdong People's Publishing House, p. 217.
- Altmann, J., 1974. Observational study of behaviour: sampling methods. *Behaviour* 49, 226-267.
- 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 batatas* L. (Lam.)) plant parts. *Field Crop Research* 82, 49-58.
- An, L.V., Hong, T.T.T., Ogle, B., Lindberg, J.E., 2005. Utilization of ensiled sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) leaves as a protein supplement in diets for growing pigs. *Tropical Animal Health and Production* 37, 77-88.
- An, L.V., Hong, T.T.T., Lindberg, J.E., 2004. Ileal and total tract digestibility in growing pigs fed cassava root meal diets with inclusion of fresh, dry and ensiled sweet potato (*Ipomoea batatas* L. (Lam.)) leaves. *Animal Feed Science and Technology* 114 127-139.
- Antia, B.S., Akpan, E.J., Okon, P.A., Umoren, I.U., 2006. Nutritive and Anti-Nutritive Evaluation of Sweet Potato (*Ipomoea batatas*) Leaves. *Pakistan Journal of Nutrition* 5, 166-168.
- AOAC, 1990. Official Methods of Analysis.
- Araque, H., Gonzalès, C., Pok, S., Ly, J., 2005. Performance traits of finishing pigs fed mulberry and thrichantera leaf meal. *revista Científica. FCV-LUZ* 15, 517-522.
- Archimede, H., Dulorme, M., Tournebize, R., Saminadin, G., Periacarpin, F., Xande, A., 2001. The effects of *Gliricidia* supplementation on intake and digestion of a *Digitaria decumbens* hay by Black-belly sheep. *Journal of Agricultural Science* 137, 105-112.
- Arora, Singh, 2003. Comparison of biomass productivity and nitrogen fixing potential of *Azolla* Spp. *Biomass and Bioenergy* 24 175- 178
- Atibu Kazinguvu, E., 2004. Cinétique de l'élimination du cyanure dans le manioc, Université de Kinshasa
- Atibu Kazinguvu, E., 2004 Cinétique de l'élimination du cyanure dans le manioc, Université de Kinshasa

- Becerra, M., Murgueitio, E., Reyes, G., Preston, T.R., 1990. Azolla filiculoides as partial replacement for traditional protein supplements in diets for growing-fattening pigs based on sugar cane juice Livestock Research for Rural Development 2, (2).
- Benavides, J., Pezo, D., 1986. Evaluación del crecimiento y consumo de materia seca en corderos alimentados con follaje de poró (*E. poeppigiana*) ad lib suplementadas con distintas fuentes de energía. In: Resumen de las investigaciones realizadas con ruminantes menores en el proyecto de sistemas de producción animal. Tropical Agricultural Research and Training Center (CATIE), Turrialba, Costa Rica. Informe Técnico 67 43-47.
- Benavides, J.E., Lachaux, M., Fuentes, M., 1994 Efecto de la aplicación de estiércol de cabra en el suelo sobre la calidad y producción de biomasa de Morera (*Morus sp.*). In: J.E. Benavides ed. "Árboles y arbustos forrajeros en América Central". Vol. II. Serie técnica, Inf. técnico No. 236. Turrialba, C.R. CATIE. pp. 495-514.
- Benavides, J.E., Rodríguez, R.A., Borel, R., 1989. Production and quality of king grass (*Pennisetum purpureum* X *P. typhoides*) and *Erythrina poeppigiana* forages grown in association Paturages et alimentation des ruminants en zone tropicale humide.
- Bennick, A., 2002. Interaction of plant polyphenols with salivary proteins. Critical Review in oral Biology & Medicine 13, 184-196.
- Bindelle, J., Leterme, P., Buldgen, A., 2008. Nutritional and environmental consequences of dietary fibre in pig nutrition: a review. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 12, 69-80.
- Bolhuis, G.G., 1954. The toxicity of cassava root. Netherlands Journal of Agricultural Science 2, 176-185.
- Bolhuis, G.G., 1954 The toxicity of cassava roots Neth. J. Agric. Sci. 2 176-185.
- Borin, K., Lindberg, J.E., Ogle, B., 2005a. Effect of variety and preservation method of cassava leaves on diet digestibility by indigenous and improved pigs. Animal Science 80, 319-324.
- Borin, K., Ty, C., Ogle, B., Preston, T.R., 2005b. Research on the use of the cassava leaves for livestock feeding in Cambodia. In: Proceeding of the regional Workshop on "The Use of Cassava Roots and Leaves for On-Farm Animal Feeding", Hue, Vietnam. January 17-19, 2005.
- Budowski, G., Russo, R.O., Mora, E., 1985. Productividad de una cerca viva de *Erythrina berteroana* Urban en Turrialba, Costa Rica. Turrialba 35, 83-86.
- Buntha, P., Borin, K., Preston, T.R., B., O., 2008a. Effect of Taro (*Colocasia esculenta*) leaf silage as replacement for fish meal on feed intake and growth performance of crossbred pigs. Livestock Research for Rural Development 20.
- Buntha, P., Borin, K., Preston, T.R., Ogle, B., 2008b. Digestibility and nitrogen balance studies in pigs fed diets with ensiled taro (*Colocasia esculenta*) leaves as replacement for fish meal. Livestock Research for Rural Development 20.
- Butler, L.G., 1989. Sorghum polyphenols. In: P. R. Cheeke (Ed.) Toxicants of Plant Origin. Vol 4. p. 95. CRC Press Boca Raton, FL.
- Canope, I., Le Dividich, J., 1977. Influence d'un traitement technologique sur l'efficacité alimentaire de principaux produits amyliques tropicaux (patate douce et banane) dans l'alimentation du porc. Nouv. Agro. Antilles-Guyane 3, 310-322.
- Chinh, B.V., Ly, L.V., 2001. Studies on the processing and use of cassava tops as animal feed. Use of Cassava as Animal Feed.
- Coates Palgrave, K., 1983. Tree of southern Africa. 2nd édition. Capetown: C. Struik.
- Cock, J.H., 1982. Cassava basic energy-source in the tropics Science 218, 755-762.
- Contino Esquijerosa, Y., Ojeda Garcia, F., Herrera Gonzalez, R., Altunaga Perez, N., Perez Rubalcaba, M.G., 2008. Productive performance of fattening pigs fed with *Morus alba* fresh foliage as partial substitute of concentrate, V Congreso Latinoamericano de Agroforesteria

- para la Produccion Pecuaria Sostenible, Maracay, Venezuela, 1-5 December, 2008., Instituto Nacional de Investigaciones Agricolas (INIA), pp. 391-394.
- Cook, B.G., Pengelly, B.C., Brown, S.D., Donnelly, J.L., Eagles, D.A., Franco, M.A., Hanson, J., Mullen, B.F., Partridge, I.J., Peters, M., Schultze-Kraft, R., 2005. The production of tropical forages: an alternative selection tool. . CSIRO, DPI&F(Qld), CIAT and ILRI.
- Corring, T., Rettagliati, J., 1969. Utilisation de la patate douce dans l'alimentation du porc en Guadalupe. Journée Recherche Porcine, Fance 105.
- Cozannet, P., Primot, Y., Gady, C., Métayer, J.P., Callu, P., Lessire, M., Skiba, F., Noblet, J., 2010. Ileal Digestibility of amino acids in wheat distillers dried grains with solubles for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 158, 177-186.
- Cromwell, G.L., Coffey, R.D., Parker, G.R., Monegue, H.J., Randolph, J.H., 1995. Efficacy of a recombinant-derived phytase in improving the bioavailability of phosphorus in corn-soybean meal diets for pigs. *J. Anim. Sci.* 73, 2000–2008.
- de Lange, C.F., Souffrant, W.B., Sauer, W.C., 1990. Real ileal protein and amino acid digestibilities in feedstuffs for growing pigs as determined with the 15N-isotope dilution technique. *J. Anim. Sci.* 68, 409-418.
- Dierick, N.A., Vervaeke, I.J., Decuypere, J.A., Henderickx, H.K., 1983. Influence de la nature et du niveau des fibres brutes sur la digestibilité ileale et fécale apparente de la matière sèche, des protéines et des acides aminés et sur la rétention azotée chez les porcs. *Rev. Agric.* 6, 1691.
- Dohou, N., Yamni, K., Tahrouch, S., Massani, L.M.I., Badoc, A., Gmira, N., 2003. Screening phytochimique d'une endémique Libéro-Marocaine, *Thymelaea luthroïdes*; . *Bull. Pharm. Bordeaux*, 142 61-78.
- Dominguez, P.L., 1992. Feeding of sweet potato to monogastrics. *FAO Animal Production and Health Paper No. 85*. Food and Agriculture Organisation of the United Nation, Rome, pp. 217-233.
- Dominguez, P.L., Ly, J., 1997. An approach to the nutritional value for pigs of sweet potato vines (*Ipomoea batatas (L.) Lam*). *Livestock Research for Rural Development* 9.
- Domínguez, P.L., Molinet, Y., Ly, J., 1996. Ileal and in vitro digestibility in the pig of three floating aquatic macrophytes. *Livestock Research for Rural Development* 8, (4).
- Dong, N.T.K., Thu, N.V., Ogle, B., Preston, T.R., 2008. Effect of supplementation level of water spinach (*Ipomoea aquatica*) leaves in diets based on para grass (*Brachiaria mutica*) on intake, nutrient utilization, growth rate and economic returns of crossbred rabbits in the Mekong Delta of Vietnam. *Livestock Research for Rural Development* 20, (9).
- Du Thanh, H., Linh, N.Q., Everts, H., Beynen, A.C., 2009. Ileal and total tract digestibility in growing pigs fed cassava root meal and rice bran with inclusion of cassava leaves, sweet potato vine, duckweed and stylosanthes foliage. *Livestock Research for Rural Development* 1.
- Du Thanh, H., 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. *Livestock Research for Rural Development* 22, 68.
- Dumas, J.B.A., 1831. Procédés de l'analyse organique. *Annal. Chem. Phys. (Paris)* (2) 47.
- Dung, N.T., Mui, N.T., Ledin, I., 2005. Effect of replacing a commercial concentrate with cassava hay (*Manihot esculenta* Crantz) on the performance of growing goats *Animal Feed Science and Technology* 119, 271-281.
- Duyet, H.N., Son, N.D., An, N.V., Thuan, T.T., 2003. Effect of high dietary levels of sweet potato leaves on the reproductive performance of pure and crossbred Mong Cai sows. *Livestock Production for Rural Development* 15, 6.
- Echeverria, V., Belmar, R., Ly, J., Santos-Ricalde, R.H., 2002. Effect of *Leucaena leucocephala* leaf meal treated with acetic acid or sodium hydroxide on apparent digestibility and nitrogen retention in pig diets. *Animal Feed Science and Technology* 101, 151-159.

- Ecoport, 2009. Ecoport database. Ecoport.
- Eggum, B.O., 1970. The protein quality of cassava leaves. 24, 761.
- Espinoza, 1996. Efecto del sitio y de la fertilización nitrogenada sobre la producción y calidad de la biomasa de tres variedades de Morera (*Morus alba*) Tesis Mag.Sc. Turrialba, C.R., CATIE. 86 p.
- FAO, 1991. Production Yearbook, FAO, Rome.
- FAO, 2001.
- FAO, 2009. <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>.
- Farell, D.J., Jibril, H., Mannion, P.F., 2000. A note on a comparaisón of the feeding value of sweet potato vines and lucerne meal for boiler chickens. *Animal Feed Science and Technology* 85, 145-150.
- Favier, J.C., 1969. Etude de la digestibilité "in vitro" de l'amidon de diverses plantes alimentaires du Sud du Cameroun Influence des transformations technologiques sur l'amidon de manioc *Industrie alimentaire et agricole* 1, 9-13.
- Fernandez, J.A., Jorgensen, J.N., 1986 Digestibility and absorption of nutrients as affected by fibre content in the diet of the pig. . *Quantitative aspects. Livest. Prod. Sci.* 15, 53.
- Figuroa, V., Ly, J., 1990. Alimentacion porcina no convencional. GEPLACEA.
- Furuya, S., Kaji, Y., 1992. The effects of the feed intake and purified cellulose on the endogenous ileal flow in growing pig. *British Journal of Nutrition* 68, 463-472.
- Garcia, I.M.D., Leboute, E.M., 1979. Roots of cassava (*Manihot utilissima*) as energy source for growing and finishing pigs. *Anuario Tecnico do Instituto de Pesquisas Zootecnicas "Francisco Osorio"* 6, 387-457.
- Garcia, M., Dale, N., 1999. Cassa root meal for poultry. *J. App. Poultry Res.* 8, 132-137.
- Gavina, L.D., 1994. Pig-duck-fish-Azolla integration in La Union, Philipines. *in: Working Papers from The WorldFish Center.*
- Geoffroy, F., Barreto-Velez, F., 1983. Revue sur le manioc (*Manihot esculenta* Crantz) dans l'alimentation des ruminants: I. Composition chimique, valeur alimentaire, toxicité et conditionement. *Turrialba* 33, 231-241.
- Getter, A.O., Baine, J., 1938 Research on cyanide detoxification. *American Journal of Medical Science*, pp. 185-189
- Giang, H.H., Ly, L.V., Ogle, B., 2004. Digestibility of dried and ensiled sweet potato roots and vines and their effect on the performance and economic efficiency of F1 crossbred fattening pigs. *Livestock Research for Rural Development* 16.
- Gomez, G., Noma, A.T., 1986. The amino-acid composition of cassava leaves, foliage, root tissues and whole-root chips. *Nutrition reports International* 33, 595-601.
- Gomez, G., Valdivieso, M., 1983. The effect of variety and plant age on cyanide content, chemical composition and quality of cassava roots. *Nutrition Reports International* 27, (4).
- Gomez, G., Valdivieso, M., Cuesta, D.d.l., Salcedo, T.S., 1984. Effect of variety and plant age on the cyanide content of whole-root cassava chips and its reduction by sun-drying. *Animal Feed Science and Technology* 11, 57-65.
- Gomez, G., Valdivieso, M., Santos, J., 1988. Cassava whole-root chips silage for growing-finishing pigs. *Nutrition Reports International* 37, 1081-1092.
- Gomez, G., Valdivieso, M., Santos, J., Hoyos, C., 1983. Evaluation of cassava root meal prepared from low- or high-cyanide containing cultivars in pig and broiler diets. *Nutrition Reports International* 28, 693-704.
- Gomez, G.G., 1991. Use of cassava products in pig feeding. *Pig News and Information* 12, 387-390.
- Gomez, M.E., Murgueitio, E., 1991. Efecto de la altura de corte sobre la produccion de biomasa de nacedero (*Trichanthera gigantea*). *Livestock Research for Rural Development* 3 14-23.

- Gonzalez, C., Diaz, I., Leon, M., Ly, J., Vecchionacce, H., Bianco, A., 2003. Performance and carcass traits in pigs fed sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) root meal. *Cuban Journal of Agricultural Science* 37, 415-419.
- Griffiths, D.W., 1986. The inhibition of digestive enzymes by polyphenolic compounds. *Adv. Exp. Med. Biol.* 199, 509-516.
- Hang, D.T., 1998. Ensiled cassava leaves and duckweed as protein sources for fattening pigs on farms in central vietnam. *Livestock Research for Rural Development* 10.
- Hang, D.T., Preston, T.R., 2005. The effects of simple processing methods of cassava leaves on HCN content and intake by growing pigs. *Livestock Research for Rural Development* 17.
- Hang, D.T., Preston, T.R., 2009. Taro (*Colocacia esculenta*) leaves as a protein source for growing pigs in Central Viet Nam. *Livestock Research for Rural Development* 21, 164.
- 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. *Livestock Research for Rural Development* 22, 68.
- Hartemink, A.E., Poloma, S., Maino, M., Powell, K.S., Egenae, J., O'Sullivan, J.N., 2000. Yield decline of sweet potato in the humid lowlands of Papua New Guinea. *Agric. Ecosyst. Environ.* 79, 259-269.
- Haustein, A.T., Gonzalez, A.E., Gillman, R.H., Campos, K., Caldas, M., Armas, F., Madrid, C., Castro, M., 1992 Uso de Lemnaceae en la alimentacion del ganado porcino Asociación Benéfica PRISMA - Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad Nacional Mayor de San Marcos - personal communications
- Herrera, R., Accardi, A., Aranguren, J., Navidad, E., Escalante, G., Toro, M., Cuenca, G., 1987. Coffee and cacao plantations under shade trees in Venezuela. *In: Beer, J.A., Fassbender, H.W. and Heuveldop J. (eds), Advances in Agroforestry Research. CATIE, Serie Tecnica, No. 117.* .
- Hess, V., Sève, B., 1999. Investigation of the variation of the basal endogenous losses in the growing pigs. *J. Anim. Sci.* 82, 715-724.
- Hillman, W.S., Culley, D.D., 1978 The uses of duckweed. *American Scientist* 66, 442-451.
- Hock-Hin, Y., Kalanetsee, P., 1989. Variation in leaf protein contents and amino acid compositions of Cassava cultivars. *Biochemical systematics and ecology* 17, 199-202.
- Hoffman, P.C., Brehm, N.M., Variability of bypass protein in forages. Department of Dairy Science. University of Wisconsin-Madison.
- Hogg, P.G., Ahlgren, H.L., 1942. A rapid method for determining hydrocyanic acid content of single plants of Sudan grass. *J. Amer. Soc. Agron.* 42, 199-200.
- Huang, C.-C., Chen, W.-C., Wang, C.-C.R., 2007. Comparison of Taiwan paddy- and upland-cultivated taro (*Colocasia esculenta* L.) cultivars for nutritive values. *Food Chemistry* 102, 250-256.
- Hulman, B., Owen, E., Preston, T.R., 1977. Comparaison of leucaena leucocephala and groundnut cake as protein sources for beef cattle fed ad libitum molasses/urea in mauritius. *Trop Anim Prod* 3, 11.
- Isaac, R., Oswaldo, R., 1995. Effects of leucaena (*Leucaena leucocephala*) leaf flour in feeding of finishing pigs. *Revista Científica, Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad del Zulia* 5 131-137.
- Jansman, A.J.M., 1993. Tannins in Feedstuffs for Simple-Stomached Animals Nutrition Research Reviews 6, 209-236.
- Jaramillo, C.J., Corredor, G., 1989. Plantas forrajeras: proteína barata para el ganado. *Revista Federacion Nacional de Cafeteros de Colombia.*
- Jaramillo, C.J., Rivera, P.E., 1991. Efecto del tipo de estaca y la densidad de siembra sobre el establecimiento y produccion inicial de nacedero *Trichanthera gigantea* Humboldt & Bonpland. Tesis de Grado. Zotecnia. Universidad Nacional de Colombia, Palmira.

- Jiménez, R.F., Gonzalez, C., Ojeda, A., Vecchionacce, H., Ly, J., 2005. Performance traits of finishing pigs fed graded levels of cassava roots and a mixed foliage meal of cassava and *trichanthera* leaves. *Livestock Research for Rural Development* 17.
- Job, T.A., 1975. Utilization and protein supplementation of cassava for animal feeding and the effects of sulphur sources on cyanide detoxification. Ph.D. Dissertation. Univ. of Ibadan, Nigeria. p 519.
- Jorgensen, H., Zaho, X.Q., Eggum, B.O., 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hind-gut and energy metabolism in pigs. *British Journal of Nutrition* 75, 365 - 378.
- Just, A., Fernández, J., Jørgensen, H., 1983. The net energy value of diets for growth in pigs in relation to the fermentative processes in the digestive tract and the site of absorption of the nutrients *Livestock Production Science* 10, 171-186.
- Juste, C., 1982. Apports endogènes par les sécrétions digestives chez le porc. . *In: Physiologie Digestive chez le Porc* (Laplace, J. P., Corring, T. & Réat, A., eds.), Les Colloques de l'INRA, Paris, France. 12
155-173.
- Kass, D.L., Jimenez, J., Sanchez, J., Soto, M.L., Garzon, H., 1993. Erythrina in alley farming. *In: Erythrina in the New and Old Worlds*. NFTA-CATIE. (In press.)
- Kassuma, S., 1987. Recent advances in swine feeding and management in Thailand. *In: Pig breeding and development in Asia; Pig Res. Inst. Taiwan*. Chuman p J1-J19.
- Kean, S., Preston, T.R., 2001 Comparison of biodigester effluent and urea as fertilizer for water spinach vegetable. *Livestock Research for Rural Development* 13.
- Kemm, E.H., Ras, M.N., Daiber, K.H., 1984. Nutrient digestibility of pigs fed sorghum varying in polyphenol concentration and maize as grain sources. *South African Journal of Animal Science* 14.
- Khanmparn, P., Preston, T.R., 2006. Effect of supplement of fresh water spinach (*ipomea aquatica*) on feed intake and digestibility in goats fed a basal diet of cassava foliage. *Livestock Research for Rural Development* 18, (3).
- Kumar, R., Singh, M., 1984. Tannins: their adverse role in ruminant nutrition. *J. Agric. Food Chem.* 32, 447 - 458.
- Kyriazakis, I., Emmans, G.C., 1995. The voluntary feed intake of pigs given feeds based on wheat bran, dried citrus pulp and grass meal, in relation to measurements of feed bulk. *British Journal of Nutrition*, 81, 191-207.
- Lahaye, L., Ganier, P., Thibault, J.N., Seve, B., 2004. Technological processes of feed manufacturing affect protein endogenous losses and amino acid availability for body protein deposition in pigs. *Animal Feed Science and Technology* 113, 141-156.
- Lai, N.V., Rodriguez, L., 1998. Digestion and N metabolism in Mong Cai and Large White pigs having free access to sugar cane juice or ensiled cassava root supplemented with duckweed or ensiled cassava leaves. *Livestock Research for Rural Development* 10, (2).
- Laitat, M., Vandenheede, M., Desiron, A., Canart, B., Nicks, B., 1999. Comparison of performance, water intake and feeding behaviour of weaned pigs given either pellets or meal. *Anim. Sci.* 69, 491-499.
- Laplace, J.P., Souffrant, W.B., Hennig, U., Chabeauti, E., Février, C., 1994. Measurement of pre-caecal dietary protein and plant cell wall digestion in pigs: comparison of four surgical procedures for ileorectal anastomosis. *Livest. Prod. Sci.* 40, 313-328.
- Larbi, A., Thomas, D., Hanson, J., 1993. Forage potential of *Erythrina abyssinica*: intake, digestibility and growth rates for stall-fed sheep and goats in southern Ethiopia. *Agroforestry Systems* 21.

- Laswai, G.H., Ocran, J.N., Lekule, F.P., Sundstøl, F., 1997. Effects of dietary inclusion of *Leucaena* leaf meal with or without ferrous sulphate on the digestible components and growth of pigs over the weight range 20-60 kg. *Animal Feed Science and Technology* 65, 45-57.
- Le Duc, N., Nguyen Kim, D., Nguyen Thi, L., Du Thanh, H., 1996. Local feed resources in smallholder pig development in Central Vietnam, Exploring approaches to research in the animal sciences in Vietnam: a workshop held in Hue, Vietnam, 31 July-3 August, 1995., Australian Centre for International Agricultural Research (ACIAR), Canberra Australia, pp. 82-85.
- Le Goff, G., Dubois, S., van Milgen, J., Noblet, J., 2002a. Influence of dietary fibre level on digestive and metabolic utilisation of energy in growing and finishing pigs. *Animal Research* 51, 245-259
- Le Goff, G., Noblet, J., 2001a. Comparative total tract digestibility of dietary energy and nutrients in growing pigs and adult sows. *Journal of Animal Science* 79, 2418-2427
- Le Goff, G., Noblet, J., 2001b. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journées de la Recherche Porcine en France* 33, 211-220.
- Le Goff, G., van Milgen, J., Noblet, J., 2002b. Influence of dietary fibre on digestive utilisation and rate of passage in growing pigs, finishing pigs and adult sows. *Animal Science* 74, 503-515.
- Le Houérou, H.N., 1980. Browse in Africa. The current state of knowledge. *International livestock for Africa*. Edited by H. N. Le Houérou. Addis Abba, Etiopia.
- Leng, R.A., Stambolie, J.H., Bell, R., 1995. Duckweed - a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development* 7, (1).
- Leterme, P., Botero, M., Londono, A.M., Bindelle, J., Buldgen, A., 2006. Nutritive value of tropical tree leaf meals in adult sows. *Animal Science* 82, 175-182.
- Leterme, P., Froidmont, E., Rossi, F., Thewis, A., 1998. The High Water-Holding Capacity Of Pea Inner Fibers Affects The Ileal Flow Of Endogenous Amino Acids In Pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46, 1927-1934.
- Leterme, P., Londono, 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. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85, 1725-1732.
- Leterme, P., Londono, 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. *Animal Feed Science and Technology* 149 135-148.
- Limsila, A., Tangsakul, S., Sarawat, P., Watananonta, W., Aekmahachai, P., Petchburanin, C., Pichitporn, S., Howeler, R., 2005 Cassava leaf production research in Thailand In: Poster prepared by the Field Crops Research Institute, D.o.A., Chatuchak, Bangkok, Thailand and the CIAT Cassava Office for Asia, (Ed.), Department of Agriculture, Chatuchak, Bangkok, Thailand. .
- Liu, Z., Liu, Z., Huang, J., Yang, F., Zhong, Z., Liu, W., 2004. Sweetpotato roots silage for efficient feeding of weaner and finishing pigs in China. Sweetpotato post-harvest research and development in China. Proceedings of an International Workshop held in Chengdu, Sichuan, China on 7-8 November 2001, 88-99.
- Loc, N.T., Huy, L.K., Giang, V.D., 2000. Effect of different level of ensiled cassava roots in diets on performance and carcass quality of F1 (MC x LW) fattening pigs. *Science & Technology J. of Agric. & Rural Development* 10, 441-443.
- Loc, N.T., Ogle, B., Preston, T.R., 1997. Cassava root silage for crossbred pigs under village conditions in Central Vietnam. *Livestock Research for Rural Development* 9.
- Ly, J., 1998. Cassava roots (*Manihot esculenta* Crantz) for pigs; A short review on its nutrient content. *Revista Computadorizada de Produccion Porcina* 5, 1-13.

- Ly, J., 2009. Sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Lam L) for feeding pigs. Characteristics of the chemical composition and antinutritional factors. *Revista Computadorizada de Produccion Porcina* 16, 159-171.
- Ly, J., Castellanos, M., Domínguez, P.L., 1997. Nutrient digestibility of leucaena meal and sugar cane molasses based-diets on growing-finishing pigs. *Tropical Agriculture (Trinidad)* 74, 290-293.
- Ly, J., Chhay, T., Chiev, P., Preston, T.R., 2001. Some aspects of the nutritive value of leaf meals of *Trichanthera gigantea* and *Morus alba* for Mong Cai pigs. *Livestock Research for Rural Development* 13, (3).
- Ly, J., Diaz, C., Macias, M., Reyes, J.L., Dominguez, P.L., Samkol, P., Santos, R., Ruiz, R., 2004. Studies on digestive processes in pigs fed Leucaena foliage meal digestibility data, In: VI Taller Silvopastoril "Los Arboles y Arbustos en la Ganadería". , Holguín (copia electrónica, ISBN 959-16-0285-01).
- Lyayi, E.A., Tewe, O.O., Effect of protein deficiency on utilization cassava peel by growing pigs.
- Makkar, H.P.S., Singh, B., Negi, S.S., 1989. Relationship of rumen degradability with some microbial colonization, cell wall constituents and tannin level in some tree leaves. *British Society of Animal Production* 49 299-303.
- Malavanh, C., Preston, T.R., 2006a. Intake and digestibility by pigs fed different levels of sweet potato leaves and water spinach as supplements to a mixture of rice bran and cassava root meal. *Livestock Research for Rural Development* 18.
- Malavanh, C., Preston, T.R., 2006b. Intake and digestibility by pigs fed different levels of sweet potatoes leaves and water spinach as supplement.
- Malavanh, C., Preston, T.R., Ogle, B., 2008. Effect of replacing soybean meal with a mixture of Taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) leaf silage and water spinach on apparent digestibility in Mong Cai gilts at two stages of gestation. *Livestock Research for Rural Development* 20.
- Mamun, M.M., Billah, M.M., Ashek, M.A., Ahassal, M.M., Hossain, M.J., Sultana, T., 2003. Evaluation of Diuretic Activity of *Ipomoea aquatica* (Kalmisak) in Mice Model Study. *Journal of Medical Sciences* 3, 395-400.
- Manbrini, M., Peyraud, J.L., 1997. Retention time of feed particles and liquids in the stomachs and intestines of dairy cows. Direct measurement and calculations based on faecal collection. *Reproduction, Nutrition, Development* 37, 427-442.
- Manh, L.H., Xuan Dung, N.N., Yamasaki, S., Takada, R., 2002 Replacement of Concentrate by Water Hyacinth (*Eichroria Crassipes*): Effects on Digestibility, Feed Intake and Live Weight Gain in Pig Production. Proceeding of the final workshop of JIRCAS Mekong Delta project.
- Mariscal-Landin, G., Sève, B., Colléaux, Y., Lebreton, Y., 1995. Endogenous Amino Nitrogen Collected from Pigs with End-to-End Ileorectal Anastomosis is Affected by the Method of Estimation and Altered by Dietary Fiber. *The Journal of Nutrition* 125, 136-146.
- McDade, L.A., 1983. Pollination intensity and seed set in *Trichanthera gigantea* (ACANTHACEAE). *Biotropica* 15, 122-124.
- McDowell, L.R., Conrad, J.H., Thomas, J.E., Harris, L.E., 1974. Latin American Tables of Feed Composition. Gainesville, USA: University of Florida.
- Men, L.T., Ogle, B., Son, V.V., Preston, T.R., 2010. Evaluation of water spinach (*Ipomoea aquatica*) as a protein source for Ba Xuyen and Large White sows. *Livestock Research for Rural Development* 22.

- Men, L.T., Van, B.H., Chinh, M.T., Preston, T.R., 1997. Effect of dietary protein level and duckweed (*Lemna* spp) on reproductive performance of pigs fed a diet of ensiled cassava root or cassava root meal. *Livestock Research for Rural Development* 9, (1).
- Mitaru, B.N., Blair, R., Reichert, R.D., Roe, W.E., 1984. Dark and yellow rapeseed hulls, soybean hulls and a purified fiber source: Their effects on dry matter, energy, protein and amino acid digestibilities in cannulated pigs. *J. Anim. Sci.* 59, 1510.
- Mole, S., Peter, G.W., 1987. Allelochemicals: Role in Agriculture and Forestry. American Chemical Society.
- Mole, S., Waterman, P.G., 1987. Tannic acid and proteolytic enzymes: enzyme inhibition or deprivation. *Phytochemistry* 26, 99-102.
- Moozhiyil, M., Pallauf, J., 1989. Chemical composition of the water fern *Salvinia molesta*, and its potential as feeds source for ruminants. *Econ. Botany* 40 375-383.
- Mossé, J., 1990. Nitrogen-to-protein conversion factor for 10 cereals and 6 legumes or oilseeds. *J. Agric. Food Chem.* 38, 18-24.
- Neill, D., 1988. Experimental studies on species relationships of *Erythrina* (Leguminosae: Papilionoideae). *Annals of the Missouri Botanical Gardens* 75, 886-969.
- Ngamsaeng, A., Ty, S., Preston, T.R., 2004. Duckweed (*Lemna minor*) and water spinach (*Ipomoea aquatica*) as protein supplements for ducks fed broken rice as the basal diet. *Livestock Research for Rural Development* 16, (3).
- Ngo Huu, T., Preston, T.R., 2010. Taro as a local feed resource for pigs in small scale household condition. *Livestock Research for Rural Development* 22, 152.
- Ngudi, D.D., Kuo, Y.H., Lambein, F., 2003. Amino acid profiles and protein quality of cooked cassava leaves or 'saka-saka'. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 529-534.
- Nguyen, L.Q., Everts, H., Hue, H.T., Beynen, A.C., 2004. Feeding of spinach or sweet-potato leaves and growth performance of growing pigs kept on smallholder farms in Central Vietnam. *Tropical Animal Health and Production* 36, 815-822.
- Nguyen Thi Hoa, L., 2006. The use of ensiled cassava leaves for feeding pigs on-farm in central Vietnam.
- Nhan, N.T.H., Van Hon, N., Preston, T.R., Dolberg, F., 1996. Effect of shade on biomass production and composition of the forage tree *Trichanthera gigantea*. *Livestock Research for Rural Development* 8, 93.
- Noblet, J., 2007. Recent developments in net energy research for swine. *In: R. Ball (Ed.), Advances in Pork Production* 18, 149-156.
- Noblet, J., Bontems, V., Tran, G., 2003. Estimation de la valeur énergétique des aliments pour le porc. *INRA Production Animale.* 16 197-210.
- Noblet, J., Fortune, H., Dupire, C., Dubois, S., 1990. Nutritional value of thirteen feedstuffs for growing pigs. 1. Digestible, metabolizable and net energy contents. Effect of the choice of energy evaluation methods. *Journées de la Recherche Porcine en France*, 175-183.
- Noblet, J., Karege, C., Dubois, S., van Milgen, J., 1999. Metabolic utilization of energy and maintenance requirements in growing pigs: effects of sex and genotype. *J Anim Sci* 77, 1208-1216.
- Noblet, J., Le Goff, G., 2001. Effect of dietary fibre on the energy value of feeds for pigs. *Animal Feed Science and Technology* 90, 35-52.
- Noblet, J., Perez, J.M., 1993. Prediction of digestibility of nutrients and energy values of pig diets from chemical analysis. *J. Anim Sci.* 71, 3389-3398.
- Noblet, J., Sève, B., Jondreville, C., 2004. Nutritional values for pigs. . *In: Sauvart, D., Perez, J.M., Trans, G. (eds.), Tables of Composition and Nutritive Value of Feed Materials.* INRA Editions, Versailles, pp. 25-35.

- Noblet, J., Shi, X.S., 1994 Effect of body weight digestive utilization of energy and nutriment of ingredients and diets in pigs. *Livestock Production Science* 72, 323-338.
- Nyachoti, C.M., De Lange, C.F.M., McBride, B.W., Schulze, H., 1997. Significance of endogenous gut nitrogen losses in the nutrition of growing pigs: A review. *Canadian Journal of Animal Science* 77, 149-163.
- Ocampo, L.M., Leterme, P., Buldgen, A., 2005. A Survey of Pig Production Systems in the Rain Forest of the Pacific Coast of Colombia. *Tropical Animal Health and Production* 37, 315-326.
- Oke, O.L., 1967. The present state of nutrition in Nigeria. *World Rev. Nutr. Diet* 8, 25-61.
- Oke, O.L., 1978. Problems in the use of cassava as animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 3, 345-380.
- Oke, O.L., 1984. The use of cassava as pig feed. *Nutrition Abstracts and Reviews*, B 54, 301-314.
- Osborne, N.J.T., McNeill, M.D., 2001. Characterisation of *Leucaena* condensed tannins by size and protein precipitation capacity. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, 1113-1119.
- Paterson, R.T., 1994. Use of Trees by Livestock.
- Perez, J.M., Castaing, J., Grosjean, F., Chauvel, J., Bourdon, D., Leuillet, M., 1981. Valeur énergétique de deux types de manioc et utilisation comparée dans les régimes du porc en croissance et du porcelet: synthèse de résultats d'une étude concertée, I.N.R.A.-I.T.C.F.-I.T.P. *Journée de la recherche porcine en France* 13, 125-144.
- Peters, D., 1998. Improving small-scale pig production in northern Vietnam. *World Animal Revue* 91, 2-12.
- Pezo, D., Kass, M., Benavides, J., Romero, F., Chares, C., Benavides, J.E., 1989. Potential of legume tree fodders as animal feed in Central America. *Shrubs and tree fodders for farm animals. Proceedings of a workshop in Denpasar, Indonesia, 24-29 July*
- Phiny, C., Ogle, B., Preston, T.R., Borin, K., 2008. Growth performance of pigs fed water spinach mixed with mulberry leaves, as protein sources in basal diets of cassava root meal plus rice bran or sugar palm syrup plus broken rice. *Livestock Research for Rural Development* 20, (supplement).
- Phiny, C., Preston, T.R., Borin, K., 2010. Effect of fresh mulberry leaves and sweet potato vines on growth performance of pigs fed a basal diet of broken rice. *Livestock Research for Rural Development* 22, 44.
- Phiny, C., Preston, T.R., Ly, J., 2003. Mulberry (*Morus alba*) leaves as protein source for young pigs fed rice-based diets : Digestibility studies. *Livestock Production for Rural Development* 5, 1.
- Phuc, B.H.N., 2000. Tropical forages for growing pigs. Digestion and nutritive value.
- Phuc, B.H.N., Lindberg, J.E., 2000. Ileal and total tract digestibility in growing pigs given cassava root meal diets with inclusion of cassava leaves, *Leucaena* leaves and groundnut foliage. *Animal Science* 71, 301-308.
- 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. *Animal Science* 72, 511-517.
- Phuc, B.H.N., Ogle, B., Lindberg, J.E., 2001. Nutritive value of cassava leaves for monogastric animals. *International Workshop "Current Research and Development on use of Cassava as Animal Feed"*. p 31-40.
- Phuc, B.H.N., Ogle, B., Lindberg, J.E., Preston, T.R., 1996. The nutritive value of sun-dried and ensiled cassava leaves for growing pigs. *Livestock Research for Rural Development* 8.
- Ping, L.J., Tang, Z.Z., 2000a. The use of dry cassava roots and silage from leaves for pig feeding in yunnan province of China.

- Ping, L.J., Tang, Z.Z., 2000b. The Use of Dry Cassava Roots and Silage from Leaves for Pig Feeding in Yunnan Province of China. in Asia in the 21st Century: Present Situation and Future Research and Development Needs. Proc. 6th Regional Workshop, held in Ho Chi Minh city, Vietnam. Feb 21-25, 2000. pp. 527-537. .
- Pond, W.G., Pond, K.R., Ellis, W.C., Matis, J.H., 1986. Markers for Estimating Digesta Flow in Pigs and the Effects of Dietary Fiber. J. Anim. Sci. 63, 1140-1149.
- Preston, T.R., 1995. Research, extension and training for sustainable farming systems in the tropics. Livestock Research for Rural Development 7.
- Preston, T.R., 2006. Forages as protein sources for pigs in the tropics. Workshop-seminar, 21-24 August 2006, MEKARN-CelAgrid.
- Preston, T.R., Murgueitio, E., 1992. Strategy for sustainable livestock production in the tropics. CONDRIT Ltda: Cali, 89.
- Quynh Tram, N.D., Preston, T.R., 2004. Effect of method of processing cassava leaves on intake, digestibility and N retention by Ba Xuyen piglets. Livestock Production for Rural Development 16, (14).
- Ravindran, S., Kenkpen, D., 1992. Cassava production and utilization in Liberia, Cassava as livestock feed in Africa: proceedings of the IITA/ILCA/University of Ibadan workshop on the potential utilization of cassava as livestock feed in Africa, 14-18 November 1988, Ibadan, Nigeria., International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan Nigeria, pp. 142-145.
- Ravindran, S., Kornegay, E.T., Rajaguru, A.S.B., 1987. Influence of processing methods and storage time on the cyanide potential of cassava leaf meal. Animal Feed Science and Technology 17, 227-234.
- Ravindran, V., 1993. cassava leaves as animal feed : potential and limitation. Journal of the Science of Food and Agriculture 61, 141-150.
- Ravindran, V., 1995. Use of cassava and sweet potatoes in animal feeding, FAO Better Farming Series, Food and Agriculture Organization (FAO), Rome Italy, p. 47 pp.
- Ravindran, V., Cabahug, S., Ravindran, G., Bryden, W.L., 1999. Influence of microbial phytase on apparent ileal amino acid digestibility of feedstuffs for broilers. Poult. Sci. 78, 699-706.
- Ravindran, V., Kornegay, E.T., Notter, D.R., Rajaguru, A.S.B., 1984. Utilization of cassava leaf meal in swine diets. Animal Science Research Report, Virginia Agricultural Experiment Station, 92-96.
- Record, S.J., Hess, R.W., 1972. Timbers of the new world. Use and abuse of America's natural resources. Arno Press. New York. 642 pp.
- Rodríguez, L., Lopez, D.J., Preston, T.R., Peters, K., 2006. New Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*) leaves as partial replacement for soya bean meal in sugar cane juice diets for growing pigs. Livestock Research for Rural Development 18, (7).
- Rodríguez, L., Peniche, I., Preston, T.R., Peters, K., 2009. Nutritive value for pigs of New Cocoyam (*Xanthosoma sagittifolium*); digestibility and nitrogen balance with different proportions of fresh leaves and soybean meal in a basal diet of sugar cane juice. Livestock Research for Rural Development 21.
- Rodríguez, L., Preston, T.R., 1996 Comparative parameters of digestion and N metabolism in Mong Cai and Mong Cai Large White cross piglets having free access to sugar cane juice and duckweed. Livestock Research for Rural Development 8, (1).
- Rogers, D.J., Milner, M., 1963. Studies on *Manihot esculenta* Crantz and related species. Bulletin Torrey Bot. Club., 43.
- Rosales, M., 1997a. Avances en la investigación en el valor nutricional de *nacedero* (*Trichanthera gigantea*, *Humboldt et Bonpland* Nees) In: Árboles y arbustos forrajeros utilizados en la alimentación animal como fuente proteica. CIPAV. Cali p 127-144.

- Rosales, M., 1997b. *Trichanthera gigantea* (Humboldt & Bonpland.) Nees: A review. *Livestock Research for Rural Development* 9, (4).
- Rosales, M., Laredo, M., Cuesta, A., Anzola, A., Hernandez, L., 1989. Use of tree forages for the control of rumen protozoa. *Livestock Research for Rural Development* 1 (1).
- Roth, J.A., Kaerberle, M.L., Hubbard, R.D., 1984. Attempts to use thiabendazole to improve the immune response in dexamethasone-treated or stressed cattle. *Immunopharmacology* 8, 121.
- Ruiz, M.E., Pezo, D., Martinez, L., 1980. The use of sweet potato (*Ipomea batatas*, L. (Lam.)) in animal feeding. I. Agronomic Aspects. *Tropical Animal Production* 5, 144 - 151.
- Sachez, M.D., 1999. Commentarios generales. *In: Agroforesteria para la Produccion Animal en América Latina*. (M D Sanchez and M Rosales, editors) Estudios FAO de Produccion y Sanidad Animal, Rome. 143 p 363-365.
- Samkol, P., Water Spinach (*Ipomea aquatica*) as feed resource for growinf rabbits. Center for livestock and agriculture Development.
- Samur, C., 1984. Producción de Leche de Cabras Alimentadas con King Grass (*Pennisetum purpureum*) y Poró (*Erythrina poeppigiana*) Suplementadas con Fruto de Banano (Muse sp. cv. Cavendish). MSc thesis, Turrialba, Costa Rica: Universidad de Costa Rica/Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Sanchez, T., Salcedo, E., Ceballos, H., Dufour, D., Mafla, G., Morante, N., Calle, F., Pérez, J.C., Debouck, D., Jaramillo, C.J., Moreno, I.X., 2009. Sreening of starch quality traits in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Starch* 61, 12-19.
- Sanginga, N., Hove, C., 1989. Amino acid composition of azolla as affected by strains and population density. *Plant and Soil* 117, 263-267.
- Santiago Rostagno, H., Fernanda Teixeira Albino, L., Lopes Donzele, J., Cezar Gomes, P., Flavia de Oliveira, R., Clementino Lopes, D., Soares Ferreira, A., Toledo Barreto, S.L., 2005. *Brazilian Tables for Poultry and Swine*.
- Sarria, P., 1994. Efecto del nacedero (*Trichanthera gigantea*) como reemplazo parcial de la soya en cerdas en gestacion y lactancia recibiendo una dieta basica de jugo de cana. *Livestock Research for Rural Development* 6, 62-73.
- Sarria, P., Villavicencio, E., Orejuela, L.E., 1991. Utilizacion de follaje de nacedero *Trichanthera gigantea* en la alimentacion de cerdos de engorde. *Livestock Production for Rural Development* 3, 51-58.
- Sarwat, S.V., Kakala, S.N., Kategile, J.A., 1988. Performance of growing-finishing pigs when fed diets containing fresh cassava leaves and roots. *East African Agricultural and Forestry Journal* 53, 111-115.
- SAS, 2002. Statistical analysis system release 8.01. Cary, NC: SAS Institute INC.
- SAS, 2008. Statistical analysis system release 8.01. Cary, NC: SAS Institute INC.
- Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G., 2002a. Tables de composition et de la valeur nutritive das matières destinées aux animaux d'élevage.
- Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G., 2002b. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. . Paris: INRA Editions.
- Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G., 2003. Tables de composition et de la valeur nutritive das matières destinées aux animaux d'élevage.
- Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G., 2004. Tables of composition and nutritional value of feed materials. Pigs, pultry, cattle, sheep, goats, rabbits, horses, fish. Paris: INRA Editions.
- Sefa-Dedeh, S., Kofi Agyir-Sackey, E., 2004. Chemical composition and the effect of processing on oxalate content of cocoyam *Xanthosoma sagittifolium* and *Colocasia esculenta* cormels *Food Chemistry* 85, 479-487.

- Sethi, P., Kulkarni, P.R., 1993. In vitro protein digestibility of *Leucaena leucocephala* seed kernels and protein isolate. *Food Chemistry* 46, 159-162.
- Sève, B., Hess, V., 2000. Amino acid digestibility in formulation of diets for pigs: present interest and limitations future prospects. Page 167 in *Recent Advances in Animal Nutrition 2000*. P. C. Garnsworthy and F. Wiseman. ed. Nottingham Univ. Press. Nottingham. UK.
- Shayo, C.M., Udèn, P., 1999. Nutritional uniformity of crude protein fractions in some tropical browse plants estimated by two in vitro methods. *Animal Feed Science and Technology* 78, 141-151.
- Singh, B., Makkar, H.P.S., 2002. The potential of Mulberry tree foliage as animal feed supplement in India. In: Sanchez (ed) *Mulberry for animal production*. FAO Animal Production and Health paper 147.
- Snyder, G.H., Morton, J.F., Genung, W.G., 1981. Trials of *Ipomoea aquatica*, nutritious vegetable with high protein- and nitrate- extraction potential. In: *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 94, 230-235.
- Sola-Oriol, D., Roura, E., Torrallardona, D., 2009 Feed preference in pigs: Relationship with feed particle size and texture. *J. Anim Sci.*, 571-582
- Solarte, J.A., 1994. Experiences from two ethnic groups of farmers participating in livestock research in different ecological zones of the Cauca Valley of Colombia. M.Sc. Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala. 80p.
- Sonaiya, E.B., Omole, T.A., 1983. Cassava meal and cassava peel meal in diets for growing pigs. *Animal Feed Science and Technology* 8, 211-220.
- Stambolie, J.H., Leng, R.A., 1994. Unpublished observations. UNE, Armidale NSW Australia
- Stanogias, G., Pearce, G.R., 1985. The digestion of fibre by pigs. 1. The effects of amount and type of fibre on apparent digestibility, nitrogen balance and rate of passage. *British Journal of Nutrition* 53, 50-55.
- Stein, H.H., Sève, B., Fuller, M.F., Moughan, P.J., de Lange, C.M.G., 2007. Invited review: amino acid bioavailability and digestibility in pig feed ingredients: terminology and application. *J. Anim. Sci.* 85, 172-180.
- Subba Rao, A., Amrith Kumar, M.N., Sampath, S.R., 1971. Studies on mulberry (*Morus indica*) leaf-stalk palatability, chemical composition and nutritive value *Indian Veterinary Journal* 48, 854-857.
- Tewe, O.O., 1992a. Detoxification of cassava products and effects of residual toxins on consuming animals. In: *Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding*. (D. Machin and S. Nyvold, editors) FAO Animal Production and Health Paper No 95. , Rome p 81-98 <http://www.fao.org/docrep/003/T0554E/T0554E0506.htm>
- Tewe, O.O., 1992b. Detoxification of cassava products and effects of residual toxins on consuming animals. In : *Roots, tubers, plantains and bananas in animal feeding*. - Machin, D. (ed.); Nyvold, S. (ed), 301 p. FAO, Rome (ITA).
- Tewe, O.O., Afolabi, A.O., Grisson, F.E., Littleton, G.K., Oke, O.L., 1984. Effect of varying dietary cyanide levels on serum thyroxine and protein metabolites in pigs. *Nutrition Reports International* 30, 1245.
- Tewe, O.O., Egbunike, G.N., 1992. Utilization of cassava in nonruminant livestock feeds, Cassava as livestock feed in Africa: proceedings of the IITA/ILCA/University of Ibadan workshop on the potential utilization of cassava as livestock feed in Africa, 14-18 November 1988, Ibadan, Nigeria., International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Ibadan Nigeria, pp. 28-38.
- Tiep, P.S., Van Luc, N., Tuyen, T.Q., Hung, N.M., Tu, T.V., 2006. Study on the use of *Alocasiamacrorrhiza*(roots and leaves) in diets for crossbred growing pigs under mountainous village conditions in northern Vietnam, Workshop on Forages for Pigs and Rabbits, Workshop-seminar, 21-24 August 2006, MEKARN-CelAgrid.

- Tollier, M.T., Robin, J.P., 1979. Adaptation de la méthode à l'orcinoï sulfurique au dosage automatique des glucides neutres totaux: conditions d'application aux extraits d'origine végétale. . *Annales de Technologie Agricole* 28, 1-15.
- Tomita, Y., Hayashi, K., Hashizume, T., 1985. Palatability of pigs to sweet potato-silage and digestion trial by them. *Bulletin of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University* 35, 75–80.
- Trigueros, R.O., Villalta, P., 1997a. Evaluación del uso de follaje deshidratado de morera (*Morus alba*) en alimentación de cerdos de la raza Landrace en etapa de engorde. *In: Resultados de Investigación, CENTA, EL salvador*, P:150-155.
- Trigueros, R.O., Villalta, P., 1997b. Evaluación del uso de follaje deshidratado de morera (*Morus alba*) en alimentación de cerdos de la raza Landrace en etapa de engorde. *En: Resultados de Investigación, CENTA, El Salvador* 150-155.
- Ty, C., Preston, T.R., 2005. Effect of water spinach and fresh cassava leaves on growth performance of pigs fed a basal diet of broken rice. *Livestock Research for Rural Development* 17.
- Ty, C., Preston, T.R., 2006. Effect of different ratios of water spinach and fresh cassava leaves on growth of pigs fed basal diets of broken rice or mixture of rice bran and cassava root meal. *Livestock Research for Rural Development* 18, 57.
- Van Soest, P.J., 1994 *Nutritional ecology of the ruminant*. . 2nd édition. Cornell University Press, Ithaca, USA.
- Van Cauwenbergh, S., Jondreville, C., Beaux, M.F., Grosjean, F., Peyronnet, C., Williatte, I., Gâtel, F., 1997. Performances de croissance du porcelet en post-sevrage obtenues avec des régimes à base de pois et de manioc. *Journées Recherche Porcine en France* 29, 189-196.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B., Lewis, B.A., 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science* 74, 3583-3597.
- Vasupen, K., Yuangklang, C., Wongsuthavas, S., Srenanul, P., Mitchaothai, J., Beynen, A.C., 2008. Macronutrient digestibility in Kadon pigs fed diets with isonitrogenous amounts of various carbohydrate sources. *Tropical Animal Health and Production* 40, 249-253.
- Walter, W.M., Purcell, A.E., 1986. Protein of the Sweet Potato, *Plant Proteins: Applications, Biological Effects, and Chemistry*, American Chemical Society, pp. 234-248.
- Wanapat, M., 2001. Role of cassava hay as animal feed in the tropics. *In: Proc. intern Workshop on "Current Research on Use of Cassava as Animal Feed"*, held in Khon Kaen, Thailand. 23-24, 13-20.
- Wanapat, M., 2009. Potential uses of local feed resources for ruminants *Trop Anim Health Prod* (2009) 41, 1035–1049.
- Wenk, C., 2001. The role of dietary fibre in the digestive physiology of the pig. *Animal Feed Science and Technology* 90, 21-33.
- Wilfart, A., Montagne, L., Simmins, H., Noblet, J., Van Milgen, J., 2007a. Digesta transit in different segments of the gastrointestinal tract of pigs as affected by insoluble fibre supplied by wheat bran. *British journal of nutrition* 98, 54-62.
- Wilfart, A., Montagne, L., Simmins, P.H., van Milgen, J., Noblet, J., 2007b. Sites of nutrient digestion in growing pigs: Effect of dietary fiber. *J. Anim Sci.* 85, 976-983.
- Woolf, J.A., 1992. *Sweet Potato: An Untapped Food Resource*, Cambridge University Press, Cambridge, p. 643.
- Wu, J.F., 1980. Energy value of sweet potato chips for young swine. *J. Anim Sci.*, 1261-1265.
- Wu, J.F., 1991. Energy value of cassava for young swine. *J. Anim Sci.* 69, 1349-1353.
- Wünsche, J., Herrmann, U., Meinel, M., Hennig, U., Krienbring, F., Zweirz, P., 1987. Einfluß exogener Faktoren auf die präzäkale Nährstoff und Aminosäurenresorption, ermittelt Zerkleinerungsgrades von Getreide. . *Archives of Animal Nutrition* 37: 745-764.

Zakayo, G., Krebs, G.L., Mullan, B.P., 2000. The use of *Leucaena leucocephala* leaf meal as a protein supplement for pigs. Asian-Aus. J. Anim. Sci. 13, 1309-1315.

TITRE : Valorisation des ressources alimentaires tropicales (feuilles et tubercules) chez le porc

RESUME Dans les régions tropicales, il existe une multitude de systèmes alternatifs avec une grande diversité de pratiques. Ces systèmes sont souvent basés sur une utilisation optimale des ressources animales et végétales locales présentes sur l'exploitation. L'objectif de ce travail est de mieux connaître certaines de ces ressources tropicales disponibles et pouvant potentiellement être intéressantes à utiliser en alimentation porcine dans le cadre de ces systèmes alternatifs de type polyculture – élevage. Chez le porc, le potentiel de croissance est conditionné par la quantité d'énergie et de protéines (ou d'acides aminés) quotidiennement apportées par la ration. Les travaux ont donc porté sur la caractérisation (ingestibilité, valeurs énergétique et protéique) de quatre plantes pouvant être utilisées comme sources de protéines (érythrine et madère) ou apporter à la fois des protéines (feuilles) et de l'énergie (tubercules) tels que le manioc et les patates douces. L'objectif final est d'intégrer ces connaissances pour concevoir des rations complètes uniquement à base de matières premières locales.

Les résultats montrent que la capacité d'ingestion des feuilles de manioc et de patate douce est la même quelque soit la forme de présentation (feuilles fraîches ou en farine). La capacité d'ingestion des feuilles de madère est plus élevée lorsqu'elles sont distribuées en farine (95 vs. 408 g/j), inversement, les feuilles fraîches d'érythrine sont mieux ingérées (246 vs. 488 g/j). Ces différences d'ingestibilité sont dues à des concentrations différentes en métabolites secondaires selon la forme de distribution (acide oxalique, tanins). De la même manière l'ingestion des racines de manioc est améliorée, lorsque celles-ci sont moins concentrées en acide cyanhydrique. Les résultats sur la valeur nutritionnelle des feuillages tropicaux montrent qu'ils ont une faible densité énergétique comprise entre 6.5 et 8.2 MJ/kg de MS. Ces faibles valeurs sont en grande partie liées à leur composition chimique atypique (minéraux, fibres, tanins). En revanche, avec en moyenne 15,6 MJ d'ED/kg MS, les tubercules de manioc sont de très bonnes sources d'énergie pour l'alimentation du porc. La détermination du profil en acides aminés des feuilles montrent que les acides aminés des feuilles de madère et de patate douce sont plus digestibles que ceux des feuilles d'érythrine et de manioc. Au final les teneurs en lysine digestible sont de 5,3 g/kg MS pour la patate et 6,3 g/kg MS pour le madère.

En conclusion, l'ingestion, ainsi que la teneur énergétique et protéique des feuilles d'une feuille à l'autre varie en fonction de sa teneur en fibres mais également en fonction de leur concentration en tanins. En pratique, les feuilles de patate douce et de madère sont les plus intéressantes pour la réalisation de ration, à condition d'utiliser des cultivars de madère peu concentré en acide oxalique.

Mots clés : Manioc, Patate douce, Madère, Erythrine, Porc en croissance, Valeur énergétique, Valeur protéique, Ingestibilité, Digestibilité.

TITLE: Valuation of tropical food resources (leaves and tubers) in pigs

ABSTRACT In the tropics, there are a multitude of alternative systems with a wide variety of practices. These systems are often based on an optimal use of local plant and animal on the farm. The objective of this work is to better understand some of these tropical resources available and can potentially be interesting to use in pig feed in the context of these mixed farming system. In pigs, the growth potential is determined by the amount of energy and protein (or amino acids) made daily by the diet. Work has therefore focused on the characterization (intake, energy and protein values) of four plants can be used as sources of protein (Erythrina and Cocoyam), or contain both proteins (leaves) and energy (tubers) such as cassava and sweet potatoes. The finally objective is to integrate this knowledge to develop rations with local raw materials.

The results show that the feed intake capacity of cassava and sweet potato leaves is the same whatever the processing form (fresh leaves or meal). The intake capacity of cocoyam leaves is higher when distributed into meal (95 vs.408 g / d), in opposite the Erythrina fresh leaves are best ingested (246 vs. 488 g / d). These differences are due to intake of different level of secondary metabolites in the form of processing (oxalic acid, tannins). Similarly feed intake of cassava roots is enhanced when they are less concentrated hydrocyanic acid. Results on the nutritional value of tropical foliage show they have low energy density between 6.5 and 8.2 MJ / kg DM. These low values are largely related to their unusual chemical composition (minerals, fiber, tannins). However, with average of 15.6 MJ digestible energy / kg DM, cassava tubers are very good sources of energy for pig feed. The determination of amino acid profile show that the amino acids of cocoyam and sweet potato leaves are more digestible than the erythrina and cassava leaves. Ultimately digestible lysine contents were 5.3 g / kg DM for potato and 6.3 g / kg DM for the cocoyam.

In conclusion, ingestion, and energy and protein content of leaves from one sheet to another depends on its fiber content but also according to their tannin. In practice, the leaves of sweet potato and cocoyam are the most interesting for the realization of diet, subject to the use of cultivars cocoyam little oxalic acid concentration.

Keywords: Cassava, Sweet Potato, Cocoyam, Erythrina, growing pig, energy value, protein value, intake, digestibility.

TIT: Valè resous alimantè tropicales (fèy ak rasinn) lakay la kochon

RAKOUSI Adan péyi anba soley chô, ni onlo mès é labitid a kiltivé jaden é nourri zannimo. Potomitan asé sistèm lasa, sé kijan lyanné o pli ô, sa ki ka pousé an jaden épi sa kip é nourri zannimo. Objektif a travay lasa, sé konèt ti bwen mié, déywa zèb ka pousé anba soley chô, zèb ki pé nourri kochon adan sistèm ka sanb jaden kréyol. Pa davwa pou on kochon gwossi, sa ka dépend ka ini adan manjé ay (ki kantité énéjji épi ki kantité protéinn tini an manjé a kochon-la?), nou travay asi kat zèb ka pôté protéinn an fèy a yo (kon fèy a madè, fèy a éritrinn, fèy a manniok ou byen fèy a patat) épi énéjji an rasinn a yo (kon manniok ou byen patat). Dèyé travay lasa, sa nou vlé, sé trouvé an ki jan nou pé ba sé kochon-la on manjé, évé sa i ni an jaden-la, on manjé ki ni tout adan'y, ki an énéjji, ki an protéin.

Sa nou trouvé sé: pou sé kochon-la, sé mèm bèt mèm pwèl an kantité yo pé manjé, lè nou ka ba yo fèy a manniok ou fèy a patat, ki ou soti raché, ki ou fè fanrinn a fèy. Pou fèy a madè, sé kochon-la ka manjé plis lè sé fanrinn a fèy (95 kont 408 g/j). Pou fèy éritrinn, sé kochon-la plis enmé manjé yo lè yo soti raché, plito ki an fanrinn (246 kont 488 g/j). Pouki sa kon sa, davwa pani mèm kantité a "métabolites secondaires" (asid oxalik, tanen) adan fèy soti raché é adan fanrinn a fèy. An mèm jan la, kochon ka manjé plis rasinn a manniok, lè pa tini onlo asid sianidrik adan'y. Sé fèy-la nou étidié, yo pa ni onlô énéjji adan (6,5 a 8,2 MJ/kg de MS), davwa yo ni on kalité konpozisyon ispésyal (minéral, fib, tanen). Sé rasinn-la ni onlo énéjji, (énéjji ou pé dijéré: 15,6 MJ/kg MS). Lè nou gadé ki jan sé asid aminé-la yé adan sé fèy-la, nou rivé vwè kè fèy a patat épi fèy a madè pli fasil a digéré ki fèy a éritrinn ou byen fèy a manniok. Ni 5,3 g/kg MS lizinn kochon pé dijéré adan fèy a patat. Adan fèy a madè nou trouvé 6,3 g/kg MS.

Pou koda, nou pé di kè, pou trouvé zèb pou kochon manjé byen, sa ka dépend ki kantité énéjji, ki kantité protéin zèb-la tini. Tout zèb ba zèb, ki vlé di, on zèb pé ni plis fib ou byen plis tanen ki on dô. Pou nou fè on bon manjé pou nourri kochon évé zèb, fèy a madè ou byen fèy a patat, méyé, mè fô sé on rass a madè ki pa tini onlo asid oksalik adan.

Mo impowtan: Manniok, Patat, Madè, Eritrinn, Kochon ka gwosi, Valè a énéjji, Valè a protéinn, sa kochon pé manjé, sa kochon ka dijéré.