



## **REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE TOURTEAU DE JATROPHA : CARACTERISTIQUES ET VALORISATION ENVISAGEABLE**

*TREBOUX Marion*

*Mars 2013*

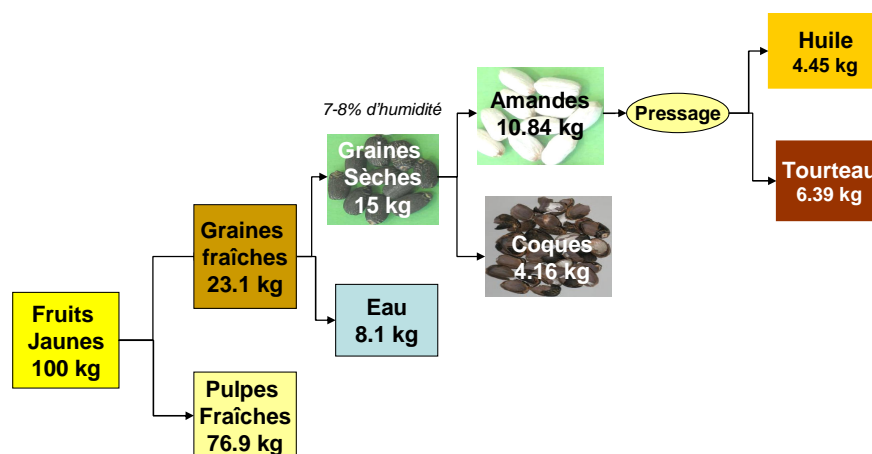
Le réseau JatroREF a pour objectif la construction de référentiels permettant de caractériser la viabilité socio-économique et la durabilité environnementale des filières paysannes de production d'agrocarburants à base de Jatropha en Afrique de l'Ouest. Il est animé par le bureau d'études associatif IRAM, en partenariat avec l'ONG GERES. JatroREF cherche à favoriser les échanges opérationnels entre porteurs de projets, et avec les acteurs institutionnels, la recherche et les organisations paysannes concernés directement par les enjeux liés au développement des agrocarburants locaux. La constitution de groupes de travail thématiques favorise la concertation et le partage d'expérience entre participants. Le réseau met également en œuvre des moyens d'étude dédiés. JatroREF diffuse ensuite l'information à un public plus large, à travers diverses publications - rapports d'étude, notes pédagogiques- et des ressources documentaires, accessibles sur son site Internet [www.jatroref.org](http://www.jatroref.org).

Ce rapport fait le point sur le tourteau de Jatropha, ses principales caractéristiques, y-compris du point de vue de sa toxicité, et ses possibles valorisations.

Ce rapport est issu du travail de Lucie ROUSSEAU, étudiante à SupAgro dont les travaux ont été encadrés conjointement par Marion TREBOUX de l'IRAM et Roland PIROT du CIRAD.

## 1. Caractéristiques du tourteau de Jatropha

Le tourteau de Jatropha est un coproduit issu du pressage de la graine.



**Figure 1. Répartition des masses en matière fraîche des différents produits obtenus pour 100 kg de fruits frais Jatropha (source : Proyecto Biomasa, 1999)**

Le mode d'extraction de l'huile a une incidence sur la qualité du tourteau. En mode artisanal manuel, la graine est décortiquée avant d'être pressée puis les amandes sont bouillies dans l'eau. L'huile surnageant dans le récipient est alors facile à récupérer. Le tourteau obtenu est plus riche en minéraux car il ne contient pas de coques qui sont principalement fibreuses. Cependant, avec la presse manuelle, seulement 60 à 65 % de l'huile peuvent être extraits et 5 kg de graines donnent environ 1 L d'huile (Reinhard K. Henning, 2005).

L'extraction de l'huile peut se faire soit par pressage mécanique, soit par extraction chimique de l'huile à l'aide de solvants. Dans les unités artisanales ou semi-industrielles, on pratique davantage le pressage mécanique qui permet d'extraire entre 75 et 80 % de l'huile de la graine (Reinhard K. Henning, 2005). La graine est prétraitée avant pressage c'est-à-dire qu'elle est concassée avec une grille à petits trous puis éventuellement chauffée, mais pas décortiquée. Ce processus détruit les cellules qui contiennent l'huile permettant ainsi à l'huile de s'écouler plus facilement. La méthode d'extraction par solvant est plus complète que la méthode mécanique par presse, elle permet d'extraire davantage d'huile de la graine, le tourteau est donc moins huileux mais peut contenir des résidus de solvant.

Dans les unités de trituration artisanales ou semi-industrielles, couramment rencontrées en Afrique de l'Ouest, on obtient entre 700 et 800 kg de tourteaux pour une tonne de graines pressée. Or dans beaucoup de cas, ce tourteau est encore peu valorisé. Ceci représente une piste à explorer pour améliorer la création de la valeur ajoutée dans la filière. En effet, dans les autres filières oléagineuses, comme celles du soja et du colza, le tourteau participe grandement à l'économie de la filière avec une utilisation en alimentation animale comme complément alimentaire très énergétique, comme combustible ou en tant qu'amendement du sol.

## 1.1. Composition minérale du tourteau de Jatropha

Après extraction de l'huile de façon industrielle par pression à froid, le tourteau de Jatropha contient encore environ 20% d'huile, par rapport à la graine qui en contient de 35 à 40% (Reinhard K. Henning, 2005). Il contient également entre 58 et 64 % de protéines brutes. Ses pourcentages en acides aminés essentiels et sa teneur en minéraux (Tableau 1) sont comparables à ceux des autres tourteaux utilisés dans les fourrages et supérieurs à ce que peut apporter le fumier.

| Elément minéral | N (%)     | P (%)     | K (%)   | CA (%)    | Mg (%)    | S (%) | Zn (%) | Fe (ppm) | Cu (ppm) | Mn (ppm) | B (ppm) |
|-----------------|-----------|-----------|---------|-----------|-----------|-------|--------|----------|----------|----------|---------|
| Teneur          | 3,8 à 6,4 | 0,9 à 2,8 | 1 à 1,8 | 0,3 à 0,7 | 0,7 à 1,4 | 0,2   | 55     | 772      | 85       | 20       | ?       |

*Tableau 1. Composition moyenne en éléments minéraux du tourteau de Jatropha (source : Jongshaap, 2007)*

## 1.2. Toxicité du tourteau de Jatropha

### 1.2.1. Composés toxiques présents dans le tourteau de Jatropha

Le tourteau de Jatropha contient aussi des substances pouvant avoir des effets toxiques à certaines concentrations. Ce chapitre propose une revue des molécules potentiellement toxiques, leur niveau de toxicité et la façon dont ces molécules peuvent être éliminées.

✓ **La curcine.** C'est une lectine, c'est-à-dire une protéine qui se lie spécifiquement et de façon réversible à certains carbohydrates. C'est plus précisément une toxalbumine, proche de la ricine du ricin. Systématiquement, elle perturbe le métabolisme des lipides, des hydrates de carbone et des protéines, entraîne l'élargissement et/ou l'atrophie des organes internes, et modifie le statut hormonal et immunologique. Elle inhibe la synthèse de la protéine ribosomale et menace réellement la croissance et la santé des animaux. D'après Siegel (1893) et Cano Asselieh (1989), la curcine serait le principal composé responsable de la toxicité. Cette affirmation est nuancée par l'expérience d'Aregheore (1998), qui a comparé l'activité de la curcine pour des tourteaux d'une variété toxique (Cap Vert) et d'une variété non toxique (Mexique). La toxicité respective de ces tourteaux a préalablement été déterminée sur des rats et des poissons. Les auteurs de cette étude observent que l'activité de la curcine n'est pas différente entre les variétés toxique et non toxique et suggèrent que la toxicité du tourteau de Jatropha ne peut pas être attribuée à la curcine seule, bien que sa présence aggrave la toxicité. La concentration de la curcine est alors comprise entre 102 mg/ml de l'échantillon obtenu par agglutination pour les tourteaux des variétés toxiques et 51 mg/ml de l'échantillon obtenu par agglutination pour les tourteaux des variétés non toxiques de Jatropha. Cependant, elle est thermolabile. Elle peut donc être inactivée par un traitement à la chaleur humide : 66 % d'humidité, à 121 °C, pendant 30 minutes. Sa concentration est alors largement diminuée ; de 102 mg/ml de l'échantillon obtenu par agglutination, elle passe à 1,17 mg/ml. A cette concentration, elle n'a plus d'effets toxiques.

✓ **Les esters de phorbol.** Ce sont des diterpènes. Six esters de phorbol ont été identifiés dans le Jatropha. Au cours de l'extraction de l'huile des graines de Jatropha, 70 à 75% des esters de phorbol sont extraits avec l'huile mais 25 à 30% restent encore fortement liés au tourteau issu du pressage. Ils représentent de 2 à 3 mg/g dans le tourteau dégraissé (et 2 à 8 mg/g dans l'huile) (Devappa & al., 2010 et Makkar & al., 1997).

Un traitement thermique du tourteau à 121°C pendant 30 minutes indique que la concentration en esters de phorbol est toujours la même (1,78mg/g) (Aregheore & al., 2003). Les esters de phorbol restent stables face à des traitements thermiques, ce sont les composés les plus toxiques du tourteau de Jatropha.

✓ Les **tanins**. Ce sont des substances phénoliques ayant des effets toxiques et antinutritionnels. En effet, ils provoquent une réduction de la consommation humaine et animale, un ralentissement de la croissance et une absorption affaiblie des nutriments (Asquith & al., 1986). Toutefois, le tourteau contient des taux négligeables de phénols totaux, de 0,2 à 0,4%, et de tannins, de 0,02 à 0,04%. Le rôle des tanins est donc limité en ce qui concerne la toxicité du tourteau.

✓ Les **saponines**. Ce sont des substances très communes dans les plantes médicinales. Elles appartiennent aux terpènes cycliques ou aux stéroïdes. Leur propriété physique principale est de réduire fortement la tension superficielle de l'eau. Dans le tourteau, elles représentent entre 1,8 et 3,4%. Elles ne sont pas thermolabiles. Elles ne peuvent donc pas être inactivées par un traitement thermique mais leur taux dans les variétés toxiques et non toxiques du *Jatropha* sont presque similaires, ce qui laisse penser qu'elles ne sont pas toxiques à cette dose (Makkar et al., 1997, 1998). De plus, leur pourcentage est bien inférieur à celui des saponines contenues dans le tourteau de soja (4.7 %). Or il a été démontré que les saponines contenues dans le tourteau de soja sont relativement inoffensives pour la consommation animale, et non hémolytiques. D'après cette étude, les saponines ne sont donc pas responsables de la toxicité du tourteau.

✓ Les **phytates**. Ce sont des sels d'acide phytique. Ils constituent une réserve de phosphore dans la plupart des graines. L'acide phytique a la capacité de lier divers cations (Zn, Cu, Co, Mn, Ca, Fe) et d'autres minéraux, et réduit leur assimilabilité dans l'organisme en formant ces sels insolubles. Le tourteau de *Jatropha* contient de 7,2 à 10,1 % de phytates. Pour les animaux non-ruminants (qui ne possèdent pas l'enzyme phytase), cela réduit la biodisponibilité du phosphore.

Étant donné que les niveaux de phytates dans le tourteau sont élevés, son utilisation comme aliment pour les animaux monogastriques entraînerait un régime alimentaire carencé en phosphore. Par conséquent, bien qu'ils ne soient pas toxiques en tant que tels, leur niveau dans l'alimentation tant humaine qu'animale, doit être la plus faible possible. Si ce n'est pas le cas, et n'étant pas thermolabiles, il faut ajouter les nutriments contenant les éléments qui sont bloqués ou des phytases pour séparer les éléments des sels qui les emprisonnent. De cette manière, il est possible de détourner les effets nuisibles.

✓ Les **inhibiteurs de trypsine**. Aussi bien dans le tourteau issu des variétés de *Jatropha* toxiques que celui issu de la variété non toxique, l'activité de ces inhibiteurs produit de 18,4 à 27,3 mg de trypsine inhibée/g de matière sèche (Makkar et al., 1997). Ce sont des facteurs antinutritionnels qui interfèrent avec le processus de digestion physiologique et le fonctionnement des enzymes protéolytiques du pancréas, chez les non ruminants. Les aliments contenant de fortes quantités d'inhibiteurs de trypsine (comme le soja cru, avec 24 mg/g) sont considérés comme ayant une faible valeur nutritionnelle pour les non ruminants. C'est pourquoi il faut que les tourteaux soient toastés (cuits) avant consommation, pour supprimer les facteurs antinutritionnels présents naturellement dans les graines. Chez les ruminants, ces inhibiteurs de protéases n'affectent pas la fermentation microbienne du rumen. Une étude (Makkar and Becker, 1999) a montré que la carpe (*Cyprinus carpio*), nourrit avec du tourteau issu de la variété non toxique de *Jatropha*, présentait 24,8 mg de trypsine inhibée/g. Lorsque ce régime subissait un traitement thermique (45 min, 121°C avec une humidité de 66%), on n'observait plus que 1,3 mg de trypsine inhibée/g. Toutefois, on ne remarque pas de différences au niveau de leur croissance entre les carpes nourries au tourteau toasté ou non-toasté, ce qui indique que ces poissons sont capables de tolérer des taux élevés d'inhibiteurs de trypsine.

Les inhibiteurs de trypsine peuvent être partiellement, voire totalement dénaturés après exposition à des températures élevées. Par exemple, une combinaison de chaleur humide (67 % d'humidité, à 100 °C pendant 60 min) et de chaleur sèche (160 °C, 60 min) les inactive complètement. Ils ne sont donc pas la cause de la toxicité du tourteau.

Par conséquent, parmi les différentes molécules présentes dans le *Jatropha*, ce sont principalement les esters de phorbol qui sont responsables de la toxicité et compromettent notamment l'utilisation du tourteau de *Jatropha* pour l'alimentation animale.

| Molécule | Effets | Dose et toxicité dans le tourteau de <i>Jatropha</i> | Stabilité de la molécule |
|----------|--------|--|--------------------------|
|----------|--------|--|--------------------------|

|                         |  |  |  |
|-------------------------|--|--|--|
| Curcine                 | Inhibition de la protéine ribosomale   | 102 à 51 mg/ml d'échantillon obtenu par agglutination avec le tourteau   | Thermolabile : traitement à la chaleur humide : 66 % d'humidité, à 121 °C, pendant 30 minutes.                                     |
| Esters de phorbol       | Co-carcinogènes et promoteurs tumoraux   | 2 à 3 mg/g de tourteau dégraissé de la variété toxique – et 0.12 mg/g d'amande de la variété non toxique (mexicaine) | Esters de phorbol  |
| Saponines               | Réduction de la tension superficielle de la peau   | 1,8 à 3,4 % dans le tourteau   | Non thermolabiles  |
| Tannins                 | Réduction de la consommation, ralentissement de la croissance et diminution de l'absorption des nutriments | 0,02 à 0,04 % dans le tourteau   |  |
| Phytates                | Réduction de l'assimilabilité de cations et de minéraux dans l'organisme                                   | 7,2 à 10,1 % dans le tourteau  | Non thermolabiles  |
| Inhibiteurs de trypsine |  | Production de 18,4 à 27,3 mg de trypsine inhibée/g de matière sèche de tourteau                                      | Thermolabiles : traitement à la chaleur humide (67 % d'humidité, à 100 °C pendant 60 min) puis à la chaleur sèche (160 °C, 60 min) |

**Tableau 2. Caractérisation des différentes molécules toxiques présentes dans le tourteau de *Jatropha* (tableau de synthèse par l'auteur)**

### 1.2.2. Effets de la toxicité du tourteau

Après avoir caractérisé les différentes molécules ayant des propriétés toxiques, il s'avère nécessaire de répertorier quels sont concrètement les effets toxiques sur les différents organismes vivants, au regard de la concentration dans les graines de *Jatropha* et des quantités de *Jatropha* consommé.

L'étude de la toxicité du *Jatropha* permet de conclure que celle-ci est en grande partie due à la teneur en esters de phorbol. Il existe une variété de *Jatropha* dite « non toxique », il s'agit d'une variété mexicaine qui contient une faible concentration d'esters de phorbol, 20 à 25 fois inférieure à celle observée dans des accessions de *Jatropha* du Cap-Vert ou du Nigéria (Makkar and al., 1998). Au Mexique, la population locale consomme les graines de *Jatropha* torréfiées issues des variétés non-toxiques sans qu'aucun problème digestif ou autre ne soit signalé (Makkar and al., 1998).

Il y a peu de résultats de recherche disponibles concernant les effets du tourteau de *Jatropha* sur l'environnement et les organismes vivants. Toutefois, beaucoup d'études ont été menées sur la consommation des graines de *Jatropha* par les humains et le bétail. De ce fait, les doses et les symptômes décrits ci-dessous sont principalement ceux lors d'une consommation de graines de *Jatropha* et non pas ceux pour une ingestion de tourteaux.

Dans la présentation des effets toxiques, il faut donc être vigilant à plusieurs nuances :

- ✓ s'il s'agit d'une consommation de graines ou de tourteaux (la concentration en esters de étant plus élevée dans les graines que dans les tourteaux),
- ✓ si les doses indiquées concernent une quantité de graines/tourteaux ou une quantité de toxines.

Pour tous les cas présentés ci-dessous, sauf indication contraire, il s'agit de variétés de *Jatropha* toxique, c'est-à-dire ayant une concentration en esters de phorbol comparable à celles observées dans les accessions présentes en Afrique de l'Ouest.

### Toxicité pour les vertébrés

Dans les différents cas présentés, seule l'intoxication par ingestion a été étudiée.

Chez l'**Homme**, il n'existe pas de littérature scientifique concernant les doses de graines de *Jatropha* provoquant des intoxications.

Chez les **porcs**, bien qu'aucune expérience n'ait été menée sur la base d'un régime contenant du tourteau non traité, une étude (Chivandi & al., 2006) montre qu'on observe quelques effets indésirables avec le tourteau traité, probablement du fait d'une détoxification incomplète. On remarque notamment un faible attrait des porcs pour les tourteaux, ce qui pourrait être due à un mauvais goût du tourteau après traitement.

Chez de jeunes **chèvres**, la toxicité a été étudiée à partir d'une ration alimentaire à base de graines de *Jatropha*, dont les doses variaient de 0,25 à 10 g/kg/j (Adam et Magzoub, 1975) soit 3,75 à 150 g de graines de *Jatropha* par jour pour une chèvre d'un poids moyen de 15 kg. Pour les doses les plus élevées (5 et 10 g/kg/j), les chèvres sont décédées très rapidement, entre 2 et 4 jours. Pour la dose de 1g/kg/j, les premiers signes cliniques sont apparus au bout de 3 jours (soit avec 45 g ingérés) et les animaux sont morts entre le 7<sup>ème</sup> et 11<sup>ème</sup> jour. De même, pour la plus faible dose attribuée (0,25g/kg/j), la toxicité a entraîné le décès des chèvres, entre le 18<sup>ème</sup> et le 21<sup>ème</sup> jour. Par conséquent, même à une faible dose, les chèvres ne peuvent pas tolérer de graines de *Jatropha* dans leur alimentation.

Concernant les **veaux**, la toxicité a également été étudiée à partir de graines de *Jatropha* et selon 3 doses : 0,25, 1 ou 2,5 g/kg. L'étude a montré que les veaux ont également été intoxiqués. Le décès est survenu très rapidement, dans les 19 heures après l'administration. D'autres veaux ont ensuite été nourris avec des doses beaucoup plus faibles, avec 0,025 g/kg/j. Ces derniers ont tout de même rapidement montré des signes d'empoisonnement et sont morts entre le 10<sup>ème</sup> et le 14<sup>ème</sup> jour. Ainsi les veaux sont sensibles aux composés toxiques du *Jatropha*. Récemment une étude (Makkar et Becker, 2010) a montré que les esters de phorbol ne peuvent pas être dégradés par les micro-organismes du rumen, ce qui suggère que les ruminants sont aussi sensibles au *Jatropha* que les monogastriques.

Pour les volailles, la toxicité a été évaluée à partir du régime alimentaire des **poussins**. Ce régime contenait de 0,1 à 0,5 % de graines de *Jatropha*. Ces derniers ont présentés des signes cliniques d'intoxication avant les 2 semaines de traitement puis sont morts avant la 4<sup>ème</sup> semaine.

Chez les **rats**, la toxicité a été estimée en les alimentant pendant 28 jours avec du tourteau de *Jatropha* contenant 0,23 mg d'esters de phorbol/g de tourteau. Ce régime alimentaire fut très toxique puisque la mortalité apparut dès le 8<sup>ème</sup> jour de l'expérience. Une autre expérience (K.D. Rakshit a, J. Darukeshwara, 2008) montre que l'ingestion de tourteaux de *Jatropha* traités avec de la soude ou de l'hydroxyde de calcium ou non traités ne change pas significativement la mortalité.

Chez les **poissons**, la sensibilité face aux composés toxiques du *Jatropha* dépend beaucoup de l'espèce. Par exemple, la carpe (*Cyprinus carpio* L.) est sensible aux esters de phorbol à partir de 15 ppm.

### Toxicité pour les invertébrés :

Dans les différents cas exposés pour les invertébrés, c'est l'intoxication par contact avec des extraits de plante de *Jatropha* (extraction des molécules par un solvant organique) qui a été étudié.

Chez les escargots, le contact avec des graines de *Jatropha* a montré une activité molluscicide à la fois contre *Biomphalaria glabrata* et *Oncomelania hupensis*, (Rug, 1997). Toutes les études indiquent que les extraits de solvant organique issus des graines, de l'huile, des feuilles et des rhizomes de *Jatropha* peuvent être utilisés comme agents molluscicides dans l'agriculture. On peut donc penser que les effets du tourteau de *Jatropha* seront identiques.

De même, sur les insectes utiles et les insectes prédateurs, toutes les études indiquent que les graines, les feuilles, l'huile, et les extraits de *Jatropha* sont toxiques pour les larves d'insectes et les moustiques.

Solsoloy (2000) a testé des émulsions d'huile en milieu expérimental, contre les insectes nuisibles des stocks de grains de maïs, *Sitophilus zeamays*, et de haricot mungo: *Callosobruchus chinensis*. Après 2 mois, les dommages aux graines pulvérisées et séchées ne sont plus que de 10 % avec un dosage à 10 % pour *S. zeamays* et un dosage de 5 % pour *C. chinensis*. De plus, il a vérifié que la qualité germinative de la graine n'était pas affectée par le traitement. Adebowale (2006) a mené une expérience similaire en laboratoire sur *Callosobruchus maculatus*, insecte nuisible des graines de niébé. D'autres expériences ont été réalisées sur les nuisibles des cultures alimentaires et plus précisément sur *Busseola fusca* et *Sesamia calamistis*, foreurs des tiges de sorgho, les nuisibles du coton (une sauterelle, *Amrarsca biguttula*, un aphide, *Aphid gossypii* et une chenille, *Helicoverpa armigera*).

#### Toxicité pour les micro-organismes :

Quant aux **micro-organismes**, des études (Igbinosa O.O. & al., 2009) à partir d'extraits d'écorce de *Jatropha* ont montré des effets inhibiteurs sur certains micro-organismes (par exemple sur *Bacillus subtilis* et *Staphylococcus aureus*, et de manière générale sur les bactéries gram-positive).

En conclusion, quasiment tous les organismes vivants (vertébrés et invertébrés, bétail, poissons, insectes...) sont sensibles au contact ou à l'ingestion de graines de *Jatropha* avec la manifestation de différents symptômes d'intoxication pouvant conduire au décès. Une grande part de cette toxicité semble imputable aux esters de phorbol.

### 1.2.3. Détoxification du tourteau de *Jatropha*

#### Détoxification par la voie physico-chimique

En fonction des différentes molécules à l'origine de la toxicité, différents types de procédés de détoxification ont déjà fait leurs preuves. Pour la détoxification par voie physico-chimique, il faut associer deux traitements :

- ✓ un traitement thermique pour inactiver les toxines thermolabiles (traitement à la chaleur humide à 66 % d'humidité, à 121°C, pendant 30 minutes) ;
- ✓ un traitement chimique pour réduire la concentration en esters de phorbol (traitement avec 4 lavages avec du méthanol à 92 % ou traitement à l'hydroxyde de sodium (NaOH) + hypochlorite de sodium (NaOCl) (Aregheore, 2003).

Ainsi, un traitement chimique avec 4 lavages au méthanol à 92% suivi du traitement thermique a permis de réduire la teneur en esters de phorbol, de 1,78 mg/g de tourteau à 0,09 mg/g, et d'obtenir un taux en protéines pures de 68%, ce qui est plus élevé que pour la plupart des tourteaux issus de graines oléagineuses. Cette combinaison de traitements thermiques et chimiques a été suivie d'une évaluation nutritionnelle préliminaire sur les rats. Elle a conclu que la concentration obtenue en esters de phorbol représenterait un niveau tolérable permettant la consommation des tourteaux par les rats.

Récemment, une étude (Makkar et al., 2009) a permis une détoxification complète du tourteau de *Jatropha*. Ce tourteau détoxifié a servi à nourrir des poissons. Aucun effet négatif n'a été observé au niveau du sang et des tissus. De même, aucun effet néfaste sur l'alimentation n'a été observé chez les dindes, les porcs, les poulets de chair et les rats.

#### Détoxification par la voie biologique

Une autre méthode de détoxification consiste à soumettre le tourteau frais à l'action de micro-organismes qui dégradent les molécules toxiques, soit au travers du compostage, soit en mettant directement le tourteau en contact avec les micro-organismes du sol.

Une étude (Belewu M.A. & al., 2010) a évalué l'efficacité de la fermentation fongique (par *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus oligosporus*, *Rhizopus nigricans* et *Trichoderma longibrachitum*) sur la composition des tourteaux de *Jatropha*, en particulier sur la quantité des toxines.

Concernant la dégradation des molécules toxiques, l'expérience menée en laboratoire a mis en évidence, après une fermentation de 7 jours, la réduction de l'activité des inhibiteurs de trypsine (taux compris entre 6,5 et 8% dans les échantillons traités contre 20% pour le témoin). Les autres toxines ont également sensiblement diminué dans tous les échantillons par rapport à l'échantillon témoin : la curcine : 8 à 15 % contre 35%, les saponines : 0,1 à 0,5% contre 2,5%, les phytates : 2,7 à 4,3% contre 9%.

| Molécules (%)           | Teneur sans traitement | Teneur après fermentation fongique avec <i>Aspergillus niger</i> | Teneur après fermentation fongique sans <i>Aspergillus niger</i> |
|-------------------------|------------------------|--|--|
| Inhibiteurs de trypsine | 20,51 %                | 6,50 %   | 7,98-8,23 %  |
| Curcine                 | 34,36 %                | 7,58 %   | 13,98-15,25 %  |
| Saponines               | 2,47 %                 | 0,13 %   | 0,22-0,53 %  |
| Phytates                | 9,10 %                 | 2,70 %   | 3,88-4,32 %  |
| Esters de phorbol       | 0,013 %                | 0,003 %  | 0,010-0,012 %  |

**Tableau 3. Facteurs antinutritionnels du tourteau de *Jatropha* non traité et traité par des champignons. (source : Belewu M.A. & al., 2010).**

Il est à noter que, dans la plupart des échantillons, la teneur en esters de phorbol reste élevée. Toutefois, l'échantillon de tourteaux traités par *Aspergillus Niger* présente la teneur la plus faible en esters de phorbol, 0,003% contre 0,013%. *Aspergillus niger* est un champignon se trouvant dans les sols et qui apparaît souvent sous forme d'une moisissure de couleur noire sur beaucoup de substrats organiques, dont les céréales et produits dérivés. Bien que signalée dans le monde entier, c'est une espèce plus courante en zones sèches et dans les sols chauds.

Par conséquent, cette étude montre que la fermentation fongique du tourteau de *Jatropha* inactive presque 100% des composés toxiques, excepté les esters de phorbol. Mais ceux-ci sont sensiblement réduits dans l'échantillon traité par *Aspergillus niger*. Belewu & al. (2010) affirment que le tourteau ainsi obtenu après fermentation fongique avec *Aspergillus Niger* pourrait servir comme complément protéique en alimentation animale.

D'autres études ont complété le propos sur le traitement biologique des esters de phorbol. En effet, il a été démontré (Devappa & al., 2010) que les esters de phorbol contenus dans un mélange tourteau-sol, en proportion 2 : 5 (en poids), et alors présents à 0,37 mg/g de matière sèche de ce mélange, sont complètement dégradés par des enzymes microbiens. Ces enzymes agissent sur les esters de phorbol et les métabolites issues de la dégradation ne sont pas toxiques (Devappa & al., 2010). De plus, la dégradation augmente avec la température et l'humidité du sol. L'entière dégradation a ainsi été obtenue à 42°C, avec un taux d'humidité de 230g/kg, au bout de 15 jours.

Les escargots sont des organismes très sensibles aux esters de phorbol. Face à une concentration de 1 ppm, on observe un taux de mortalité des escargots (*Physa fontinalis*) de 100 %. Au cours de cette expérience, les escargots n'ont pas été atteints par la toxicité du tourteau car aucune mortalité n'a été observée. Ceci confirme que les esters de phorbol ont été dégradés et que leurs métabolites ne présentent pas de toxicité.



## 2. Quelle utilisation possible des tourteaux de Jatropha ?

Les fonctions et les utilisations possibles du Jatropha sont multiples en théorie comme le présente le schéma ci-dessous :

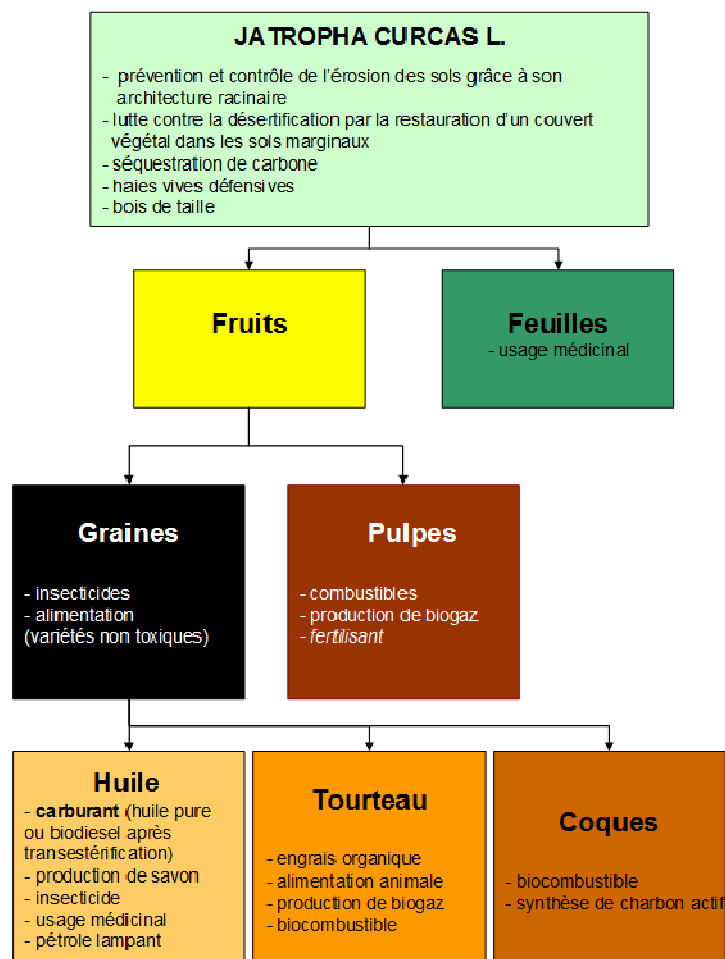


Figure 2. Possibilités d'exploitation de la plante *Jatropha curcas L.* et de ses produits.

Néanmoins la documentation scientifique relative à un l'usage des tourteaux de Jatropha se limite essentiellement à des expériences de laboratoire.

### 2.1. Utilisation des tourteaux de Jatropha comme fertilisant organique

#### 2.1.1. Le tourteau brut

##### Valeur fertilisante du tourteau

Le tourteau de Jatropha peut être un très bon engrais organique grâce à sa teneur élevée en NPK, et en micronutriments (Tableau 1). Il est classé par le « Landwirtschaftliche Versuchsanstalt »

(établissement d'essais agronomiques) comme un engrais organique complexe à teneur marquée en azote. En termes pratiques, 1 tonne de tourteaux de Jatropha équivaut à 200 kg de fertilisant minéral (Reinhard K. Henning, 2005).

De plus, les engrais organiques permettent de limiter les pertes par lessivage d'azote et de potassium.

Une étude (Ghosh & al.) a montré que le rendement de la culture de Jatropha avait augmenté après y avoir appliqué de 0,75 à 3T/ha de tourteau de Jatropha. A 3T/ha de tourteaux, le rendement maximal obtenu était de 1,52 kg/plante. La composition de ce tourteau était de : 3,2% d'azote (N), 1,2% de pentoxyde de phosphore ( $P_2O_5$ ) et 1,4% d'oxyde de potassium ( $K_2O$ ), et la densité de plantation était de 4\*3 mètres. Elle indique également qu'enfouir le tourteau de Jatropha dans le sol grâce à un labour permettrait d'augmenter davantage le rendement du Jatropha et d'améliorer la fertilité du sol.

La fertilisation avec des tourteaux a également été testée sur d'autres cultures comme le millet perle, le chou, le coton, le maïs, le sorgho et le riz. Pour le coton, la fertilisation avec le tourteau de Jatropha à 5 T/ha donne de meilleurs résultats que le fumier ou la fumure minérale vulgarisée. Pour le sorgho et le maïs, les meilleurs rendements ont été obtenus avec une combinaison de 50% de tourteau et de 50% de fumure minérale vulgarisée (50 kg d'urée et 150 kg complexe coton). De même pour le riz (en système de riziculture intensive ou améliorée), des rendements supérieurs ont été observés après application des tourteaux comme engrais (0,5 T/ha, 1 T/ha, 2 T/ha et 3 T/ha) (Pirou R. et Domergue M., 2008).

### 2.1.2. Le tourteau composté

Le compostage est un processus bio-oxydatif impliquant la minéralisation de la matière organique en dioxyde de carbone, ammoniac, eau et l'humification conduisant à un produit final stabilisé et sans phytotoxicité ni agent pathogène. Le recyclage des déchets organiques par le compostage permet, par leur application au sol, à ce qu'il y ait des cultures dans des endroits où le sol est pauvre. Pour fabriquer un bon compost, il est important de le réaliser dans une fosse compostière où le fond a été recouvert de dalles de béton pour empêcher l'infiltration de lixiviats et la perte de nutriments. De plus, il demande un arrosage pour maintenir son taux d'humidité à 50-60% pendant la phase d'échauffement (de fermentation) et par la suite à 40-50%. Après environ 2 à 3 mois de compostage, le compost doit être de couleur brun foncé, parfaitement fragmenté, sans odeur nauséabonde.

Des études ont donc été menées pour connaître quels sont les effets du tourteau composté. Différents composts ont été réalisés à partir de co-compostages de tourteaux de Jatropha, de différentes déjections animales (vache, buffle, cheval, poule et chèvre) et de résidus de cultures comme la paille issue de la culture du riz. En raison du faible ratio C: N et de la grande compacité du tourteau, un mélange de tourteau et de paille de riz dans les proportions « 1 quantité de tourteau pour 9 quantités de paille » (en poids) a été utilisé. Le ratio C/N est alors de 37,4. Dans les composts, l'azote disponible varie de 0,013% à 0,095%, la teneur en phosphore est comprise entre 7237-24632 ppm et celle du potassium entre 7033-14790 ppm.

Les composts contenant des excréments de buffle, de vache, de cheval ou de poule ont montré des valeurs significativement plus élevée en azote disponible, ce qui indique une bonne dégradation des matières premières par les micro-organismes. En ce qui concerne les teneurs en phosphore et potassium, ce sont dans les composts avec des fientes de poules où l'on trouve les meilleures valeurs (P entre 17128 et 24632 ppm, K entre 12740 et 14790 ppm). Les concentrations en Cu, Mn, Fe, Pb disponibles dans tous les composts sont très basses et Ni est inférieur au seuil de détection.

Concernant les esters de phorbol, ces derniers sont toujours présents dans les composts mais leur teneur a fortement diminué (inférieure à 0,12 mg/g de compost). Ils représentent une teneur négligeable quand on sait que la concentration est égale à celle dans l'amande de la graine de Jatropha de la variété mexicaine non toxique (0,11mg/g d'amande) (Das & al., 2010).

Le compost obtenu est « mature », autrement dit il est adapté à une utilisation agronomique avec un ratio C :N indicateur de maturité, c'est à dire en-dessous de 20.

| Composition du compost         | Teneur en azote disponible   | Ratio C : N                              |
|--------------------------------|--|--|
|                                | Facilité de dégradation de la matière organique par les micro-organismes | Indicateur de maturité du compost si <20 |
| JR + fumier de buffle = 20 : 1 | 0,082 %  | 30,1                                     |
| JR + fumier de buffle = 10 : 1 | 0,075 %  | 27,7                                     |
| JR + fumier de buffle = 5 : 1  | 0,067 %  | 28,2                                     |
| JR + fumier de vache = 20 : 1  | 0,067 %  | 32,5                                     |
| JR + fumier de vache = 10 : 1  | 0,067 %  | 31,7                                     |
| JR + fumier de vache = 5 : 1   | 0,067 %  | 28,7                                     |
| JR + fumier de chèvre = 20 : 1 | 0,015 %  | 11,2                                     |
| JR + fumier de chèvre = 10 : 1 | 0,013 %  | 12,0                                     |
| JR + fumier de chèvre = 5 : 1  | 0,019 %  | 11,3                                     |
| JR + fientes de poule = 20 : 1 | 0,082 %  | 13,8                                     |
| JR + fientes de poule = 10 : 1 | 0,093 %  | 13,3                                     |
| JR + fientes de poule = 5 : 1  | 0,095 %  | 14,7                                     |
| JR + fumier de cheval = 20 : 1 | 0,070 %  | 13,2                                     |
| JR + fumier de cheval = 10 : 1 | 0,067 %  | 13,4                                     |
| JR + fumier de cheval = 5 : 1  | 0,055 %  | 19,0                                     |

\*JR = mélange de tourteau de Jatropha déshuilé et de paille de riz (en proportion 1 :9)

#### **Tableau 4. Caractéristiques des composts (à partir de Das & al., 2010).**

Ces composts ont été appliqués sur 4 plantes : la moutarde, le sorgho, le haricot noir et le blé. La germination varie considérablement selon les composts. Dans l'ensemble, le compost à partir de crottin de cheval contribue à l'amélioration de la germination par rapport aux autres composts. Les pourcentages de germination avec utilisation de composts contenant du crottin de cheval sont de 94,2%, 73%, 60,1%, 79,5% pour le blé, le sorgho, les haricots et la moutarde.

Les résultats obtenus montrent que le co-compostage de tourteau de Jatropha avec de la paille de riz et des déjections animales pourrait être réalisable et qu'il pourrait représenter une méthode viable de recyclage de résidus agricoles et industriels en grandes quantités. Au moment de la réalisation du compostage, il faut faire attention à sécuriser la fosse pour ne pas que les animaux puissent consommer du compost contenant du tourteau de Jatropha.

### **2.1.3. Limites à l'utilisation du tourteau de Jatropha**

#### **Des effets phytotoxiques constatés à forte dose à l'étape de germination**

Par précaution la dose de tourteaux de Jatropha ne doit pas être supérieure à 5 T/ha à cause du risque de phytotoxicité, notamment à l'étape de la germination lorsque le tourteau brut est appliqué peu avant le semis. Plusieurs essais ont été menés mais très peu ont donné lieu à des publications scientifiques.

Une expérimentation menée par l'IRD en 2011 mais non publiée a testé la culture en serre du maïs a montré avec 2 doses de tourteaux bruts de Jatropha à 2,5 et 5 T/ha. Ces apports de tourteaux bruts ont permis d'améliorer de façon significative les propriétés chimiques, biologiques, microbiologiques

du sol et la production végétale du maïs. Les teneurs en carbone, azote totaux et phosphore assimilable ont significativement augmenté dans les sols amendés ainsi que les activités enzymatiques déshydrogénase et de minéralisation du carbone. La diversité des communautés microbiennes du sol a été élevée et la production végétale du maïs (biomasse aérienne et racinaire) a connu une augmentation significative comparée à la fertilisation minérale NPK.

### Quel potentiel d'accumulation des esters de phorbol dans les plantes vivrières ?

Avec l'utilisation du tourteau comme fertilisant organique, une crainte concerne le transfert des esters de phorbol des tourteaux vers les plantes comestibles cultivées et donc la possible contamination des aliments par les esters de phorbol. Cette crainte concerne également l'accumulation des esters de phorbol dans le sol ou les réserves en eau par lessivage. Des expériences ont alors été réalisées sur 3 types de végétaux, dont on consomme différentes parties. Il s'agit du chou chinois pour les feuilles, de la tomate pour les fruits et de la patate douce pour les tubercules. Pour chacune de ces cultures, différents types de fertilisation ont été effectués, en utilisant de l'engrais chimique, du purin et/ou du tourteau de Jatropha qui a été réservé à température ambiante pendant 3 mois (à 2,5 ou 5 ou 10 T de tourteaux/ha). Cette étude indique qu'on ne retrouve pas d'esters de phorbol dans les parties consommables des plantes, ni dans le sol. Par conséquent, dans ces conditions, l'utilisation du tourteau de Jatropha comme engrais organique n'entraîne pas d'accumulation des molécules toxiques, ni dans les plantes, ni dans le sol (Penjit Srinophakun et al., 2011).

## 2.2. Utilisation des tourteaux de Jatropha en alimentation animale

Le tourteau étant riche en protéines brutes (250g/kg de matière sèche), il pourrait servir comme supplément protéique en alimentation animale à condition d'éliminer préalablement les éléments toxiques et anti-nutritionnels. En effet, la présence d'esters de phorbol, de phytates ainsi que les coques, pouvant représenter de 500 à 600 g/kg de tourteau, rendent le tourteau impropre à l'alimentation animale. Concernant la curcine, nous savons qu'elle est toxique mais qu'elle est thermolabile. De plus, on sait que d'autres protéines du même type que la curcine sont présentes dans les graines de céréales comme celles du blé et de l'orge, la betterave, les feuilles d'épinard et les asperges.

Le traitement des tourteaux par la chaleur combiné à une fermentation fongique avec *Aspergillus Niger* permettrait d'envisager une valorisation des tourteaux pour l'alimentation animale mais la technique reste expérimentale et n'a pas encore été développée pour une transformation à moyenne ou grande échelle des tourteaux (Belewu & al., 2010).

Le traitement des tourteaux par la voie physico-chimique a montré des résultats intéressants avec un traitement par la chaleur (30 minutes à 121°C et 66% d'humidité) combiné à un lavage au méthanol répété 4 fois (Aregheore & al., 2003). Cependant cette technique de détoxification est extrêmement coûteuse (notamment du fait du méthanol) et donc peu rentable.

Pour être utilisé en alimentation animale, il a été envisagé d'extraire des concentrés de protéines depuis ces tourteaux de Jatropha. Une étude (Makkar H.P.S., Francis G., Becker K., 2008) s'est donc penchée sur l'obtention de ces concentrés de protéines par précipitation isoélectrique. Les meilleurs concentrés en protéines sont obtenus après que les protéines du tourteau aient été extraites à pH 11 pendant 1h à 60°C (40g de tourteau, 400ml d'eau distillée et une solution de NaOH à 1 mol/L pour ajuster le pH) puis qu'elles aient été précipitées quand le pH a été amené à 4. Les concentrés de protéines possèdent alors 53% des protéines du tourteau. La teneur en protéines des concentrés varie entre 760 et 870 g/kg. Toutefois, environ 55% des esters de phorbol présents dans les tourteaux restent dans les concentrés en protéines, soit entre 0,5 et 1,48mg/g. Cette concentration en esters de phorbol est toxique pour les animaux, il n'est donc pas possible d'utiliser pour l'alimentation animale des concentrés protéiques obtenus par cette méthode de précipitation isoélectrique.

## 2.3. L'utilisation des tourteaux de Jatropha à des fins énergétiques

### 2.3.1. Le biogaz

Le tourteau de pressage étant fermentescible, il peut être utilisé pour la production de biogaz. Il dispose des éléments essentiels pour la production de biogaz tels que de la matière volatile (78,56%), du carbone (45,56%), de l'azote (5,73), du potassium (0,08%) et du phosphore (1,75%). De plus, il a une grande quantité de protéines et de lipides qui peuvent être utilisés par les microbes pendant la méthanisation anaérobie.

Le meilleur rendement en biogaz par méthanisation a été obtenu avec un réacteur filtre anaérobie (Chandra & al., 2006).

Les tourteaux de *Jatropha curcas* peuvent produire autour de 250 L de biogaz/kg de tourteaux et par digestion anaérobie mésophile. La teneur en méthane de ce biogaz est supérieure à celle du fumier (55%) puisqu'elle varie entre 65 et 70%. Les meilleurs résultats sont obtenus quand les tourteaux sont mélangés à de l'eau dans un rapport de dilution tourteaux : eau de 1:4. De cette manière, la production de biogaz en Inde a été estimée à 2550 millions de m<sup>3</sup> pour 1 020 000 tonnes de tourteaux de *Jatropha*. Le biogaz produit peut ainsi fournir de l'énergie pour le chauffage, la cuisson, l'éclairage et pour alimenter des générateurs qui produisent de l'électricité. Par exemple, une usine d'une capacité de 2500 tonnes de bio-diesel produira 1,5 MW à partir de biogaz. En Inde, le potentiel théorique total de production de biogaz à partir des tourteaux de *Jatropha curcas* a été estimé à 2550 millions de m<sup>3</sup>, à partir de 1 020 000 tonnes de tourteaux.

Toutefois, on remarque que le tourteau seul ne peut pas développer la population microbienne suffisante pour atteindre la production optimale de biogaz. De cette manière, il faut un inoculum initial, pouvant être apporté par le fumier et dans les proportions 15% de tourteaux et 75% de fumier (+eau).

Le digestat obtenu après bio-digestion des tourteaux est aussi un produit important qui peut servir de bon engrais en raison de sa composition en éléments nutritifs. En effet, elle contient 5,56% d'azote, 2,90% de phosphore et 1,24% de potassium (Ali & al., 2010). Toutefois, aucun renseignement n'a été formulé concernant la persistance ou non de la présence des esters de phorbol dans ce digestat.

### 2.3.2. En combustible

En comparaison avec le bois, on remarque que le tourteau a un taux d'humidité plus faible (9% contre 12%) mais aussi un taux de cendre plus élevé (5% contre 0,3%). Ces taux d'humidité et de cendres du tourteau de *Jatropha* sont proches de ceux du tourteau de colza (13% et 6%), déjà utilisé comme combustible. Par ailleurs, son pouvoir calorifique (18 MJ/kg) est comparable à celui du bois (21736 kJ/kg) et à celui du tourteau de colza (20361 kJ/kg). Ces premiers résultats indiquent que le tourteau de *Jatropha* a un bon potentiel comme combustible (Marie Miglianico, 2010). Toutefois, il n'est pas adapté pour une utilisation domestique à cause de la fumée noire qu'il dégage. Le tourteau peut également théoriquement servir pour la fabrication des briquettes d'allumage.

## REFERENCES

ADEBOWALE, K. O., ADEDIRE, C. O., et al. Chemical composition and insecticidal properties of the underutilized *Jatropha curcas* seed oil. *Afr. J. Biotechnol*, 2006, vol. 5, no 10, p. 901-906.

ADAM, S. E. et MAGZOUN, M. Toxicity of *Jatropha curcas* for goats. *Toxicology*, 1975, vol. 4, no 3, p. 347.

ALI, Nafisa, KURCHANIA, A. K. et BABEL, Swati. Bio-methanisation of *Jatropha curcas* defatted waste. *Inde : Journal of Engineering and Technology Research* Vol. 2(3), pp.038-043, 2010.

AREGHEORE, Eroarome M., MAKKAR, Harinder PS, BECKER, Klaus, *et al.* Assessment of lectin activity in a toxic and a non-toxic variety of *Jatropha curcas* using latex agglutination and haemagglutination methods and inactivation of lectin by heat treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1998, vol. 77, no 3, p. 349-352.

AREGHEORE, E. M., BECKER, K. et MAKKAR, H.P.S.. Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats. *Allemagne : s.l.*, 2003.

ASQUITH, Thomas N. et BUTLER, Larry G. Interactions of condensed tannins with selected proteins. *Phytochemistry*, 1986, vol. 25, no 7, p. 1591-1593.

BELEWU, M. A., et SAM R.. Solid state fermentation of *Jatropha curcas* kernel cake: Proximate composition and antinutritional components. *Nigeria et Ghana : Journal of Yeast and Fungal Research* Vol. 1(3), pp. 44-46, May 2010.

BELEWU, M. A., BELEWU, K. Y., OGUNSOLA, F. O., et al. Nutritive value of dietary fungi treated *Jatropha curcas* kernel cake: Voluntary intake, growth and digestibility coefficient of goat. *Agirc Biology. J North Am*, 2010, vol. 1, no 2, p. 135-138.

CANO Asseleih L M, PLUMBLY R A, HYLANDS P J 1989 Purification and partial characterization of the hemagglutination from seeds of *Jatropha curcas*. *J Food Biochem*13 1-20.

CHANDRA, Ram, VIJAY, Virendra K., et SUBBARAO, Parchuri M. V. A Study on Biogas Generation from Non-edible Oil Seed Cakes: Potential and Prospects in India. *Inde : The 2nd Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)"* November 2006, Bangkok, Thailand.

CHIVANDI, E., ERLWANGER, K. H., MAKUZA, S. M., *et al.* Effects of dietary *Jatropha curcas* meal on percent packed cell volume, serum glucose, cholesterol and triglyceride concentration and alpha-amylase activity of weaned fattening pigs. *Research Journal of Animal and Veterinary Sciences*, 2006, vol. 1, no 1, p. 18-24.

DAS, Manab, Uppal, H.S., SINGH Reena, BERI Shanuja, MOHAN, K.S., GUPTA, Vikas C. et ADHOLEYA Alok. Co-composting of physic nut (*Jatropha curcas*) deoiled cake with rice straw and different animal dung. *Inde : Bioresource Technology*, 2010.

DEVAPPA, Rakshit K, MAKKAR, Harinder PS et BECKER, Klaus. Biodegradation of *Jatropha curcas* phorbol esters in soil. *s.l. : Wiley Interscience*, 2010.

DEVAPPA, Rakshit K, MAKKAR, Harinder PS et BECKER, Klaus. *Jatropha* toxicity – a review. *Allemagne : Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 13:476–507, 2010.

DIEDHIOU, Arona, BRICOUT, Antoine, FAGNONI, Sandrine et OVALLE, Samia. Atelier final du programme RIPIECSA - Prospective du réseau AMMANET – Recueil des résumés. *Bénin : RIPIECSA*, 2011.

DOMERGUE, Marjorie et PIROT, Roland. *Jatropha curcas* L. Rapport de synthèse bibliographique. France : CIRAD Et Agrogénération, 2008.

FRANCIS, George, MAKKAR, Harinder PS et BECKER, Klaus. Protein concentrate from *Jatropha curcas* screw-pressed seed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate. Allemagne : Journal of the Science of Food and Agriculture, 2008.

FOURTET, Nicolas et Coulibaly José Hilaire. Projet ALTERRE Protocole de recherche : Fertilisation à base de tourteau de *Jatropha curcas* sur le *Jatropha* et le maïs. Volet agronomique. Koutiala : Groupes Energies Renouvelables et Solidarité, 2010.

FOURTET, Nicolas et Coulibaly José Hilaire. Projet ALTERRE Protocole de recherche : Fosse à composte de tourteau de *Jatropha curcas*. Volet agronomique. Koutiala : Groupes Energies Renouvelables et Solidarité, 2010.

GAIND, Sunita, NAIN, Lata, et PATEL, V. B.. Quality evaluation of co-composted wheat straw, poultry droppings and oil seed cakes. Inde : Springer Science+Business Media B.V., 2008.

GHOSH, Arup , PATOLIA, J. S., CHAUDHARY, D. R., CHIKARA, Jitendra, RAO, S.N., KUMAR, Dheerendra, BORICHA, G. N., et ZALA, A.. Response of *Jatropha curcas* under different spacing to *Jatropha* de-oiled cake. Inde : Discipline of Phytosalinity, Central Salt and Marine Chemicals Research Institute.

HENNING, Reinhard K. Identification, Selection and Multiplication of High Yielding *Jatropha curcas* L. Plants and Economic Key Points for Viable *Jatropha* Oil Production Costs, for the International Consultation on Pro-Poor *Jatropha* Development. *international consultation on pro-poor Jatropha development* Rome, IFAD, 2008.

IGBINOSA, O. O., IGBINOSA, E. O., AIYEGORO, O. A., et al. Antimicrobial activity and phytochemical screening of stem bark extracts from *Jatropha curcas* (Linn). *African Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 2009, vol. 3, no 2, p. 058-062.

INCKEL, Madeleine, DE SMET, Peter, TERSMETTE, Tim, et VEIDKAMP, Tom. La fabrication et l'utilisation du compost. Pays-Bas : Fondation Agromisa, 2005.

JONGSCHAAP, R. E. E., CORRÉ, W. J., BINDRABAN, P. S., et al. Claims and Facts on *Jatropha curcas* L. 2007.

KING, Andrew J., HE, Wei, CUEVAS, Jesus A., FREUDENBERGER Mark, RAMIARAMANANA, Daniele et GRAHAM, Ian A. Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. Etats-Unis, Mexique, Madagascar : *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60, No. 10, pp. 2897–2905, 2009.

LAVAL, Mathilde et SALVY, Daniel. Problématique de l'introduction du *Jatropha* dans les systèmes de production agricoles au Mali - Analyse approfondie et regard critique constructif sur la

MAKKAR, H. P. S., BECKER, K., SPORER, F., et al. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of *Jatropha curcas*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997, vol. 45, no 8, p. 3152-3157.

MAKKAR, H. P. S., ADERIBIGBE, A. O., et BECKER, K. Comparative evaluation of non-toxic and toxic varieties of *Jatropha curcas* for chemical composition, digestibility, protein degradability and toxic factors. *Food chemistry*, 1998, vol. 62, no 2, p. 207-215.

NOVAK, Marie-Hélène et JOSSART, Jean-Marc. Diversification agricole: guide pour la production et les débouchés d'huile. France : Valbiom, 2004.

MAKKAR, H. P. S. et BECKER, K. Nutritional studies on rats and fish (carp *Cyprinus carpio*) fed diets containing unheated and heated *Jatropha curcas* meal of a non-toxic provenance. *Plant Foods for human nutrition*, 1999, vol. 53, no 3, p. 183-192.

OPENSHAW, Keith. A review of *Jatropha curcas*: an oil plant of unfulfilled promise. Etats-Unis : Biomass and Energy, Pergamon, 2000.

PELLET, Jean-Daniel et Elsa. *Jatropha curcas*, le meilleur des biocarburants. Mode d'emploi, histoire et avenir d'une plante extraordinaire. s.l. : Favre, 2007.

RAKSHIT K.D., DARUKESHWARA J., RATHINA RAJ K.. Toxicity studies of detoxified *Jatropha* meal (*Jatropha curcas*) in rats. Inde : Food and chemical toxicology, Elsevier, 2008.

REINHARDT, Guido, BECKER, Klaus. Basic data for *Jatropha* production and use. Allemagne : Institute for Energy and Environmental Research, 2008.

RUG, Melanie et RUPPEL, Andreas. Toxic activities of the plant *Jatropha curcas* against intermediate snail hosts and larvae of schistosomes. *Tropical medicine & international health*, 2000, vol. 5, no 6, p. 423-430.

SHARMA, D.K., PANDEY, A.K., et LATA. Use of *Jatropha curcas* hull biomass for bioactive compost production. Inde : Biomass and bioenergy, Elsevier, 2008.

SIEGEL A. Ueber die Giftstoffe zweier Euphorbiaceen. Phdissertation, Medicinal Faculty, Imperial Univ, Dorpat, 1893.

SOLSOLOY, A. D. et SOLSOLOY, T. S. Insecticide resistance management in cotton in the Philippines. *Philippine Journal of Crop Science*, 2000, vol. 25.

SRINOPHAKUN, Penjit. Prospect of deoiled *Jatropha curcas* seedcake as fertilizer for vegetables crops – A case study. Thaïlande : Journal of agriculture Science, 2011.

VISSER, B.Sc., ADRIAANS, M.Sc.. Anaerobic digestion of *jatropha curcas* press cake. Pays Bas : Ingenia, 2007.

**Des réactions ou des questions sur ce document ? Prenez contact avec le réseau JatroREF !**

**Marion TREBOUX, animatrice du pôle agronomie [m.treboux@iram-fr.org](mailto:m.treboux@iram-fr.org)**

Réseau animé par 

en partenariat avec

  
Energie  
Environnement  
Solidarité

**et avec l'ANADEV, la DGE Bénin et le CERPA Zou Collines (Bénin)**



*Le contenu de cette publication relève de la seule responsabilité du projet JatroREF et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue de l'Union européenne ni des autres partenaires financiers*