



## TOURTEAU DE JATROPHA : PERSPECTIVES ET CONTRAINTES POUR LA VALORISATION

*Isabelle Amsallem, Marion Tréboux*

*Juin 2014*

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).

La valorisation des coproduits issus de la culture de *Jatropha*, est un enjeu de taille pour les années à venir. En effet, avec le développement actuel et à venir de cette culture pour la production de biocarburant, des quantités croissantes de tourteaux issus du pressage des graines seront potentiellement disponibles. Ce coproduit est peu ou pas valorisé malgré sa richesse en éléments minéraux et en protéines. Sa valorisation en aliment bétail ou en biofertilisant n'est en effet pas si simple car le tourteau est toxique pour l'homme et pour l'animal. Cette valorisation permettrait pourtant de créer une valeur ajoutée notable au sein de la filière « *Jatropha* ».

Le terme « tourteau » désigne le résidu issu du pressage des graines de *Jatropha curcas* L. Il représente la majeure partie des produits finaux obtenus après transformation : 1 tonne de graines de *Jatropha curcas* pressées génère 500 à 800 kg de tourteaux pour 240 à 300 kg d'huile (Devappa et al., 2010). Les graines étant décortiquées avant d'être pressées, les coques fibreuses constituent un autre résidu. Plus de 85 % de la biomasse des graines de *Jatropha* sont ainsi inutilisés dans la production de biocarburant. L'élimination et/ou la valorisation de ces déchets solides sont essentielles. Sinon, cela risquera potentiellement de générer à plus ou moins long terme différents problèmes environnementaux tels que ceux liés à la gestion de déchets solides (en Inde par exemple, ce sont 20 millions de tonnes par an de tourteaux sont attendues dans les prochaines années ! Chandra Pandeya et al., 2012).

Le tourteau de *Jatropha* est riche en protéines et en éléments minéraux. Il pourrait donc être valorisé en fertilisant ou en aliment pour le bétail et ainsi fortement participer à l'économie de la filière, comme c'est le cas dans les autres filières oléagineuses telles que le soja et le colza. Pourtant, ce coproduit n'est pour le moment que peu ou pas valorisé. En effet, l'attention de la communauté scientifique et du développement s'est tout d'abord portée sur l'huile de *Jatropha* et sur sa transformation en biodiesel, négligeant ainsi les autres coproduits issus de cette plante. Cela constitue actuellement un manque à gagner significatif pour tous les acteurs de la filière, notamment les producteurs...

## Le tourteau de *Jatropha* est riche en protéines et en minéraux

Après extraction de l'huile de façon industrielle, le tourteau de *Jatropha* contient encore environ 20 % d'huile (la graine en contient 35 à 40%) et 55 à 64 % de protéines (Henning, 2005 ; Belewu & Sam, 2010). Cette richesse protéique et minérale fait potentiellement du tourteau un complément alimentaire pour l'élevage et un engrais organique. En effet, sa teneur en acides aminés et en minéraux est comparable à celle d'autres tourteaux utilisés comme celui de soja (sauf pour les teneurs en lysine et acides aminés sulfurés qui sont différentes, Gogoi et al., 2014) ; sa teneur en minéraux (notamment azotée) est semblable à celle de la fiente de volaille et supérieure à celle du fumier (cf. tab. 1). Les tourteaux de *Jatropha* pourraient aussi constituer un apport non négligeable aux besoins en micronutriments (FAO, 2010, cf. tab. 2).

	Teneurs (%)									
	Excréments Parc à bétail, Mali	Fiente de volaille	Fumier	Tourteau de Jatropha						
	Sangaré, 1990	Henning, 1992	Henning, 1992	Sangaré, 1990	Jongschaao 2007	Henning, 1992	Chang et al., 2014	Achten et al., 2008 In FAO, 2010	Patolia et al., 2007 In FAO, 2010	Wani et al., 2006 In FAO, 2010
C organique	28,5			55,2			44,41			
N	1,2	2,0 - 5,0	2,0	4,1	3,8-6,4	3,95- 6,5	11,02	4,4 – 6,5	3,0 – 4,5	4,91
C/N	23,9			13,3						
P	0,2	2,5 - 3	1,5	0,5	0,9-2,8	0,51 - 3,0		2,1 – 3,0	0,65 – 1,2	0,9
X	1,1			1,2						
Ca	0,5	4,0	4,0	0,3	0,3-0,7	0,60 - 0,9		0,6 – 0,7		0,31
Mg	0,1	1,0	1,0	0,4	0,7-1,4	0,08- 1,34		1,3 – 1,4		0,68
Na	0,1			0,1						
K		1,3 - 1,6	2,0		1-1,8	0,9 - 2,7		0,9 – 1,7	0,8 – 1,4	1,75

Tab. 1. Composition en éléments minéraux du tourteau de Jatropha

S (%)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
0,2 – 0,35	800 – 1 000	300 – 500	30 – 50	18 - 25

Tab. 2. Teneurs en micronutriments du tourteau de Jatropha  
Source : Patolia et al., 2007. In FAO, 2010.

## Le tourteau de Jatropha est toxique pour l'homme et les animaux

Du fait de cette richesse protéique et minérale, les tourteaux de Jatropha seraient des compléments alimentaires pour le bétail ainsi qu'un biofertilisant de valeur s'ils n'étaient pas un poison pour l'homme et pour les animaux. En effet, le Jatropha — et par conséquent les tourteaux issus du pressage de ses graines — est toxique. Les tourteaux sont non comestibles en raison de la présence de composés impropres à la consommation, voire mortels (zoom ci-contre).

### ZOOM :

Composés toxiques et facteurs antinutritionnels contenus dans les tourteaux de Jatropha

- Les esters de phorbol (EP) sont les composés les plus toxiques du tourteau de Jatropha. 25 à 30 % des EP contenus dans les graines se retrouvent dans le tourteau (teneur : 0,6 à 2-3 mg/g). Certes, plus le tourteau est déshuilé et plus la concentration en EP est faible (Punsuvon et al., 2012), mais ces esters peuvent être toxiques même à faibles concentrations pour les organismes les plus sensibles. Leur ingestion provoque les symptômes suivants : déshydratation, peau irritée, perte d'appétit, diarrhée, activité motrice diminuée, dégradation de la santé pouvant entraîner la mort.
- La curcine est un facteur antinutritionnel qui perturbe le métabolisme des lipides, des hydrates de carbone et des protéines, entraînant l'élargissement et/ou l'atrophie des organes internes, ainsi que la modification du statut hormonal et immunologique. Elle menace la croissance et la santé des animaux.

- Les tanins ont des effets toxiques et antinutritionnels : ils diminuent l'absorption des nutriments et ralentissent la croissance. Toutefois, ils sont présents en infimes quantités dans les tourteaux de Jatropha, ce qui limite leur toxicité.
- Les saponines (teneur : 1,8 à 3,4 %), substances communes des plantes médicinales, réduisent la tension superficielle de l'eau. Leur teneur est identique dans les variétés toxiques ou non toxiques ; ce qui laisse penser qu'elles ne sont pas toxiques à la dose rencontrée dans les tourteaux de Jatropha.
- Les phytates (teneur : 6 à 10 %) constituent un important composant antinutritionnel du Jatropha du fait qu'il diminue la disponibilité de certains minéraux, notamment le calcium, le zinc et le fer. Cet effet indésirable peut être contré en ajoutant ces minéraux dans l'alimentation.
- Les inhibiteurs de trypsine (21 à 27 mg/g de matière sèche) sont des facteurs antinutritionnels qui interfèrent avec le processus de digestion physiologique et le fonctionnement des enzymes protéolytiques du pancréas chez les non-ruminants. Chez les ruminants, ces inhibiteurs n'affectent pas la fermentation microbienne du rumen.

À noter : les concentrations de ces différents composés dépendent de la variété de Jatropha, des techniques de culture, du stade de maturité de la plante et de la méthode d'extraction de l'huile.

Peu de résultats issus de la recherche concernent les effets des tourteaux de Jatropha sur l'environnement et les organismes vivants.

Belewu & Sam 2010 ; Chang *et al.*, 2014 ; Devappa *et al.*, 2010 ; Domergue & Pirot, 2008 ; Makkar *et al.*, 1997, 1998 ; Rakshit *et al.*, 2008.

La toxicité du Jatropha curcas est principalement attribuée à deux molécules : la curcine et les esters de phorbol (EP). En effet, la plupart des autres molécules sont en concentration trop faible dans le tourteau pour être toxiques. De plus, une variété mexicaine de Jatropha non toxique contient de la curcine et très peu d'EP, ce qui indique que la toxicité du tourteau de Jatropha ne peut pas être attribuée à la curcine.

Les recherches menées sur les tourteaux de Jatropha convergent sur le fait que **les EP sont les principaux responsables de leur toxicité.**

## La toxicité des tourteaux : une contrainte importante à leur valorisation en engrais et en aliment-bétail ?

Du fait de la richesse protéique et minérale du tourteau de Jatropha, les principales pistes envisagées pour sa valorisation se concentrent sur son utilisation comme fertilisant organique (soit brut, soit composté), comme complément protéique dans l'alimentation animale et, dans une moindre mesure, à sa transformation en biogaz ou en combustible.

Cependant, la présence de composés toxiques et de facteurs antinutritionnels — EP principalement — semble à priori compromettre la valorisation du tourteau de Jatropha en tant que :

- **Aliment pour le bétail** : le tourteau peut-il être comestible après qu'il ait été détoxifié par des traitements appropriés ? ?
- **Fertilisant organique** : a priori, sa toxicité peut faire craindre (i) un possible transfert des EP qu'il contient vers les plantes comestibles cultivées, et donc une éventuelle contamination des aliments ; (ii) une accumulation des EP dans le sol ou dans les réserves en eau par lessivage, et donc un impact sur l'environnement du sol, de la faune et de la flore, (iii) des risques sur la santé de ceux qui le manipulent (irritation de la peau, promoteur de tumeur, effet purgatif). Qu'en est-il exactement ?

### Certaines méthodes de détoxification du tourteau sont peu rentables

Depuis plusieurs années, la détoxification des tourteaux de Jatropha intéresse la recherche scientifique car elle permettrait la valorisation de ces coproduits notamment en aliment bétail, un marché porteur dans de nombreux pays d'Afrique.

Pour l'instant, la documentation scientifique relative à la détoxification et l'utilisation des tourteaux de Jatropha se limite essentiellement à des expériences de laboratoire. Il existe de nombreux procédés expérimentaux de détoxification de ces tourteaux destinés à les rendre comestibles. Toutefois, actuellement, il n'y a pas de méthode validée et standardisée qui pourrait être utilisée, notamment par l'industrie.

La recherche s'est tout d'abord intéressée à des méthodes physiques (chaleur, ozonation, irradiation gamma), chimiques (extraction à l'éthanol p. ex.) ou les deux à la fois (cf. zoom ci-contre). Avec cette dernière méthode — physico-chimique —, la concentration obtenue en EP dans les tourteaux n'atteint pas forcément un niveau toléré par les animaux. En effet, des tests réalisés sur des chèvres nourries pendant 90 jours avec des tourteaux de Jatropha détoxifiés par des moyens physico-chimiques (traitement à la chaleur et lavages à l'hydroxyde de sodium et à l'hypochlorite de sodium) donnent des résultats peu encourageants (niveau inusuels en métabolites sanguins, alimentation réduite, etc., Katole *et al.*, 2011). Ce type de traitement ne semble donc pas suffisant pour obtenir des tourteaux non toxiques et sans risques pour l'alimentation animale.

À noter également que les EP sont extraits grâce à l'éthanol (ou méthanol) — et non pas dégradés — sans que soit mentionnée pour autant la façon d'éliminer ces toxines une fois isolées. De plus, l'utilisation de produits chimiques pour extraire les toxines peut entraîner des effets sur le bétail qui consomment les tourteaux traités. Ces méthodes ont un coût élevé (notamment du fait du méthanol), elles sont complexes et, donc, peu rentables finalement.

#### ZOOM :

Des méthodes de détoxification expérimentales

##### *Méthodes physiques et chimiques*

Deux types de traitement (chimique et physique) sont nécessaires pour détoxifier les tourteaux car les composés incriminés n'ont pas tous les mêmes propriétés :

- La curcine est thermolabile. Un traitement de 30 minutes à la chaleur humide suffit pour la dégrader (66 % d'humidité, 121°C).
- Les inhibiteurs de trypsine sont thermolabiles. Un traitement de 60 minutes à la chaleur humide (67 % d'humidité, 100°C), puis de 60 minutes à la chaleur sèche (160°C), est suffisant pour les inactiver.

- Par contre, les tannins, saponines, phytates — et surtout les EP — ne sont pas thermolabiles.

Afin de se débarrasser des EP, un simple traitement thermique ne suffit pas. Plusieurs procédés sont proposés par la recherche. Celui qui produit les meilleurs résultats en laboratoire associe deux traitements et permet à la fois de réduire la teneur en EP et d'obtenir un taux en protéines pures plus élevé que dans la plupart des tourteaux issus d'autres graines oléagineuses :

- un traitement thermique pour inactiver les toxines thermolabiles ;
- un traitement chimique pour réduire la concentration en EP (4 lavages au méthanol à 92 % ou un traitement à l'hydroxyde de sodium et hypochlorite de sodium).

D'autres traitements sont décrits dans la littérature scientifique, mais qui restent expérimentaux, comme l'irradiation des tourteaux de Jatropha par des rayons gamma. Cette méthode permet une dégradation des EP jusqu'à 96 % (en fonction de la dose de radiation). À citer également, le traitement à l'ozone qui permet de dégrader les EP à un niveau acceptable, ou encore l'utilisation de fluides supercritiques permettant leur extraction. Certaines méthodes combinent avec succès un traitement à l'ozone et un traitement chimique au bicarbonate de sodium.

Des travaux de recherche sont toujours en cours pour tester ces différentes méthodes de détoxification du tourteau. Ces dernières nécessitent encore des mises au point au terme desquelles la faisabilité technico-économique devra ensuite être démontrée.

*L'amélioration végétale : une piste de recherche sur le long terme ?*

Dans l'avenir, il est envisagé d'utiliser la génétique pour créer de nouvelles variétés de Jatropha non toxiques (sans EP) tout en améliorant certains traits agronomiques comme le rendement en graines ou la teneur en huile. Différentes techniques d'amélioration végétale existent : introgression (transfert de gènes) des variétés non toxiques vers d'autres toxiques, disruption génique (interruption de la séquence codante d'un gène par introduction d'une autre séquence d'ADN) pour la synthèse des EP, etc. Des recherches fondamentales sont encore nécessaires pour développer ces techniques et aboutir à de nouvelles variétés améliorées.

Plus d'informations : Aregheore *et al.*, 2003 ; Belewu & Sam, 2010 ; Bose & Keharia, 2013 ; Domergue & Pirot, 2008 ; El Diwani *et al.*, 2011 ; Gogoi *et al.*, 2014 ; King *et al.*, 2009 ; Kuvshinov *et al.*, 2014 ; Makkar *et al.*, 2009 ; Misra & Misra, 2010 ; Pereira *et al.*, 2013.

### **La fermentation biologique : une voie d'avenir ?**

La recherche scientifique s'est également tournée vers des méthodes biologiques de détoxification des tourteaux utilisant des microorganismes non pathogènes et qui n'ont pas d'impact négatif sur la santé humaine et animale car elles n'utilisent aucun composé chimique. Il s'agit de la fermentation biologique.

De nombreux tests sur les tourteaux de Jatropha ont été menés en laboratoire, impliquant des processus de fermentation (fongique ou bactérienne) afin de dégrader les éléments toxiques des tourteaux et donc de les rendre comestibles tout en gardant — voire en augmentant — leur valeur nutritive. Ces techniques relativement simples peuvent être plus facilement adoptées à la condition toutefois d'avoir certaines compétences et matériels spécifiques à la microbiologie. Elles présentent d'autres avantages, pratiques et économiques. C'est le cas, notamment, de la fermentation en milieu solide avec : une utilisation de matières premières comme substrats, un faible coût d'investissement, peu de dépenses énergétiques et un traitement aval moins cher que les traitements physico-chimiques. Ces techniques seraient par ailleurs sans risque pour l'environnement (Chin-Feng Chang *et al.*, 2014).

L'importante littérature sur ce sujet montre le grand intérêt porté à ces traitements utilisant des microorganismes (*Ganoderma lucidum*, *Trametes zonata*, *Aspergillus niger*, bactéries du genre *Bacillus*, etc.). Tous ces microorganismes produisent des enzymes qui permettent de dégrader les EP lors du processus de fermentation.

Les résultats scientifiques s'accordent à dire que, pour la valorisation des tourteaux, l'une des pistes à privilégier est la fermentation microbienne en milieu solide. Il s'agit de la culture de microorganismes (bactéries, champignons et autres) dans un substrat solide — en l'occurrence le tourteau — sans écoulement d'eau. Cette technique exploite le métabolisme et le mécanisme naturel de croissance de ces microorganismes sur ces substrats pour dégrader la matière solide et produire des substances à forte valeur ajoutée : enzymes industrielles, aliments pour bétail, engrais, etc. (Rodrigues da Luz et al., 2013 ; Veerabhadrapa et al., 2014). Cette technique permet à la fois de détoxifier les tourteaux et d'augmenter leur teneur en protéines.

L'efficacité des fermentations biologiques est largement dépendante des types de micro-organismes impliqués, des périodes d'incubation et des substrats utilisés (cf. zoom ci-contre).

#### ZOOM :

##### Les fermentations fongiques et bactériennes

La fermentation fongique des tourteaux a été testée :

- Avec *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Rhizopus oligosporus*, *R. nigricans* et *Trichoderma longibrachitum* (incubation 7 jours) : les meilleurs résultats sont obtenus avec *A. niger*, un champignon non pathogène commun des sols des régions sèches (diminution de la teneur en EP de 77 %). Les teneurs en inhibiteur de tripsyne sont aussi réduites avec ce traitement, ainsi que celles de la curcine, des saponines et des phytates. Ce traitement augmente la teneur en matière sèche des tourteaux (90,2 contre 80 %) et en protéines brutes (50-65 % contre 40 %). Des chèvres naines alimentées avec des tourteaux traités par un mélange d'*A. niger* et *Penicillium chrysogenum* prennent du poids et ont des paramètres sanguins inchangés. Par contre *T. longibrachiatum* n'a aucun effet dans la détoxification des tourteaux et les symptômes sur les chèvres persistent. La teneur en EP reste encore trop élevée, bien que tolérable pour rendre les tourteaux comestibles sans risque.
- Avec *Pleurotus ostreatus* : 99 % des EP contenus dans les tourteaux sont dégradés (45 j. d'incubation) et leur teneur protéique augmentée. Ce champignon améliore aussi certaines caractéristiques du tourteau qui sont recherchées en alimentation animale (digestibilité, diminution des teneurs en lignine et cellulose). *P. ostreatus* est aussi un champignon comestible qui peut ensuite être consommé, voire commercialisé. Les tourteaux ainsi fermentés peuvent être intégrés dans le régime de chèvres (à hauteur de 20 % de matière sèche) sans affecter leurs paramètres sanguins.
- Avec de la pourriture blanche (notamment *Ganoderma lucidum* et *Trametes zonata*), la fermentation en milieu solide (incubation 20 j.) a de meilleurs résultats. En effet, les EP sont dégradés à des niveaux indétectables. Les tourteaux fermentés deviennent alors comestibles tout en affichant une forte teneur en protéines, et ils présentent d'autres valeurs nutritionnelles intéressantes pour l'alimentation animale. Cette méthode pourrait être appliquée à plus grande échelle.
- Avec un cocktail d'*Absidia spinosa* et de *Mucor rouxii* : ce traitement améliore les valeurs nutritives des tourteaux (matière sèche, teneurs en protéines, lignine et fibres) ainsi que la digestibilité des nutriments. Cependant ce cocktail ne détoxifie pas le tourteau et a des impacts négatifs chez les animaux testés.

La fermentation bactérienne est également très étudiée par la recherche :

- Les tourteaux de Jatropha sont détoxifiés par fermentation en milieu solide (3 à 7 j. d'incubation) par des bactéries non pathogènes et communes dans les sols, du genre *Bacillus*. Cette technique a l'avantage, en plus de dégrader les EP, de générer des produits de valeur tels que des enzymes intéressant les industries (cf. p. XX). Les meilleurs résultats sont obtenus avec *B. smithii* G16 (3 j. d'incubation à 25°C). À noter que des essais de fermentation submergée et celle en milieu solide avec *B. subtilis* et *B. licheniformis* donnent des résultats plus mitigés. C'est la fermentation submergée de *B. licheniformis* qui donne les meilleurs taux de dégradation des éléments toxiques (5 j. d'incubation) : réduction des teneurs en EP, phytates et inhibiteur de trypsine, respectivement de 62 %, 42 % et 75 %.
- La fermentation avec *Pseudomona aeruginosa* dégrade complètement les EP dans les tourteaux dégraissés (9 j. fermentation en milieu solide).
- Une nouvelle souche de *Streptomyces fomicarius* permet également une dégradation complète (plus de 97 %) des EP (9 j. d'incubation, fermentation en milieu solide). Cette méthode produit des tourteaux non toxiques pour les alevins de carpes et qui améliorent la croissance de plants de tabac.

Plus d'informations : Belewu *et al.*, 2010 ; Bose & Keharia, 2013 ; Chin-Feng Chang *et al.*, 2014 ; Joshi *et al.*, 2011 ; Megumi Kasuya *et al.*, 2012 ; Najjar *et al.*, 2014 ; Phengnuam & Suntornsuk, 2013 ; Rodrigues da Luz *et al.*, 2013 & 2014 ; Sanusi *et al.*, 2013 ; Veerabhadrapa *et al.*, 2014 ; Wang *et al.*, 2013.

### Le compostage détoxifie les tourteaux

Une méthode de détoxification consiste ainsi à soumettre le tourteau frais à l'action de microorganismes qui dégradent les molécules toxiques, soit en mettant directement le tourteau en contact avec ces microorganismes du sol, soit au travers du compostage. Il est en effet possible de composter les tourteaux de Jatropha en mélange avec des effluents d'élevage agricole (fumier, fientes, crottin) et avec — ou non — d'autres déchets végétaux agricoles.

Bien que les EP soient toujours présents dans les composts, leur teneur diminue de façon importante (cf. l'exemple ci-dessous). Bien que les études s'intéressant au compostage des tourteaux soient peu nombreuses, cette technique semble représenter une stratégie pertinente et simple pour leur détoxification.

À noter toutefois : comme pour toute matière organique, la décomposition à l'air libre des tourteaux sous l'action de microorganismes variés génère des gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, Thiagarajan *et al.*, 2013).

#### EXEMPLE : Co-compostage de tourteaux de Jatropha / fumier / résidus végétaux agricoles

Les composts matures, issus de tourteaux de Jatropha en mélange avec de la paille de riz et plusieurs types d'excréments animaux (vache, buffle, cheval, chèvre, poule) en différentes proportions, ont été évalués et comparés par rapport à leurs caractéristiques biochimiques pour en déduire leur valeur nutritionnelle et leur phytotoxicité :

- La teneur en EP a été drastiquement réduite et elle est comparable à celle de la variété non toxique mexicaine (0,12 mg/g).
- La concentration en métaux (cuivre, nickel, plomb) est bien en deçà des concentrations maximales tolérées.



- La teneur en nutriments atteint le niveau souhaité (N disponible de 0,013 à 0,095 %, P total de 7128–24,632 ppm, K total 7237–14,790 ppm), ce qui indique une bonne dégradation des matières premières par les microorganismes.
- Les composts avec des fientes de poules contiennent plus de phosphore et potassium.
- Le compost à partir de crottin de cheval améliore davantage la germination des cultures testées que d'autres autres types de compost.
- Le compost produit est considéré comme mature et approprié pour une utilisation agricole (ratio NH<sub>4</sub>-N/NO<sub>3</sub>-N compris entre 0,263 et 0,667).

Cette étude montre que d'importantes quantités de tourteaux de Jatropha pourraient être éliminées et valorisées au travers du compostage. Plus d'informations : Manab Das *et al.*, 2011.

## Faire du tourteau un bon complément alimentaire pour le bétail ?

La disponibilité, la qualité et le coût des ressources alimentaires pour le bétail (ressources naturelles ou cultivées, produits agroindustriels) sont des enjeux importants de l'élevage, notamment dans les pays du Sud où les ressources fourragères se raréfient. Avec l'augmentation des besoins en aliments bétail, les chercheurs se penchent de plus en plus sur des ressources alternatives non conventionnelles pour la nutrition animale qui soient à la fois disponibles localement et accessibles au plus grand nombre. Le tourteau de Jatropha, riche en protéines, en fait partie à condition d'éliminer préalablement les éléments toxiques et antinutritionnels ainsi que les coques fibreuses indigestes (qui peuvent représenter 500 à 600 g/kg de tourteau).

Le tourteau ne peut donc être utilisé comme aliment pour bétail sans subir au préalable une détoxification (cf. plus haut). La fermentation en milieu solide semble être la meilleure façon pour détoxifier de façon biologique les tourteaux de Jatropha. Toutefois, ces techniques restent actuellement expérimentales et n'ont pas encore été développées pour une transformation à moyenne ou grande échelle (Belewu *et al.*, 2010). Autre alternative testée mais non concluante, l'extraction des concentrés de protéines (principalement à destination de l'aquaculture), réalisée par précipitation isoélectrique à partir de tourteaux de Jatropha. La teneur en EP conserve toutefois un niveau de toxicité trop élevée pour les animaux (Makkar *et al.*, 2008).

Il faut noter que l'utilisation de tourteaux issus des variétés non-toxiques mexicaines est elle aussi sujette à caution. En effet, sans traitement, la consommation à long terme de ces tourteaux mènerait à des problèmes infra-cliniques du bétail (c'est-à-dire non décelables à l'examen clinique) (Makkar & Becker, 1997).

À noter également la présence de protéines allergènes dans les tourteaux, lesquelles ne sont pas éliminées par les méthodes de détoxification habituellement efficaces pour dégrader ou extraire les composés toxiques (Vieira Fernandes & Tavares Machado, 2012).

Dans l'état actuel des recherches, la valorisation des tourteaux de Jatropha en tant que complément alimentaire pour le bétail est toujours expérimentale et ne semble donc pas, pour l'instant, envisageable à grande échelle.

### EXEMPLE : Test sur des cobayes de complément alimentaire à base de Jatropha, Côte d'ivoire

Quatre compléments alimentaires ont été comparés chez des cobayes : (i) *Panicum maximum*, (ii) *P. maximum* et tourteau de *Gossypium hirsutum* (rapport 11/1), (iii) *P. maximum* et *Euphorbia heterophylla* (2/1), et (iv) *P. maximum* et tourteau de Jatropha curcas (62/1, détoxifié après fermentation avec la papaïne des papayes vertes). Par rapport aux autres traitements, on observe avec la complément alimentaire incluant le Jatropha :

- une moins bonne ingestion du traitement ;
- une croissance journalière des animaux plus faible.

Deux hypothèses pourraient justifier le faible niveau d'ingestion du complément à base de tourteau de Jatropha :

1. La présence de facteurs antinutritionnels dans un tourteau de Jatropha mal détoxifié (notamment curcine et saponine). Des observations similaires ont été faites chez le cobaye au Cameroun.
2. La forte odeur du tourteau, due à une durée insuffisante de fermentation, et qui est facilement détectable par les cobayes (leur odorat est 100 fois plus développé que celui de l'homme). D'ailleurs, l'absence d'organe de Jacobson chez les oiseaux, justifierait son incorporation à hauteur de 6 % dans l'alimentation des poulets. Plus d'informations : Kouakou *et al.*, 2010

## Engrais organique : une valorisation plus facile

Le tourteau de Jatropha peut être un très bon engrais organique grâce à sa teneur élevée en N, P & K et en micronutriments. 1 tonne de tourteaux de Jatropha équivaut en effet à 200 kg de fertilisant minéral (Henning, 2005). La plupart des sols en Afrique de l'Ouest sont déficients en matière organique et ce type d'apport, permettant de maintenir leur fertilité, serait très prisé. Actuellement, c'est la piste de valorisation la plus largement explorée par les opérateurs, que le tourteau soit utilisé directement (éventuellement en lui laissant un temps de décomposition au champ) ou après compostage.

### Une valeur agronomique indéniable

Peu de références scientifiques existent sur la valeur agronomique des tourteaux de Jatropha, en particulier au champ en Afrique de l'Ouest. Toutefois, des résultats émanent d'essais expérimentaux de recherche.

Comparativement à la fertilisation minérale NPK, l'application de tourteaux bruts de Jatropha dans le sol permet d'augmenter davantage la production végétale et donc le rendement de culture. Ce processus a été observé pour des cultures de Jatropha (application de 3t/ha/an de tourteaux, Domergue & Pirot, 2008) ainsi que pour des cultures de millet perle, chou, coton, maïs, sorgho, soja et riz parfois en donnant de meilleurs résultats que le fumier ou la fumure minérale (cas du coton ou du millet ; voir encart ci-dessous). Les augmentations — parfois importantes — des paramètres agronomiques chez différentes cultures, observées suite à l'application de tourteaux de Jatropha, sont probablement dues à une plus grande quantité de nutriments disponibles pour la plante, spécialement l'azote et le potassium (Chaturvedi *et al.*, 2009).

L'utilisation des tourteaux frais de Jatropha s'avère profitable sous certaines conditions :

- Il faut éviter l'application de tourteau frais au moment du semis. Il a en effet été observé que l'application de tourteau directement avec des semis de millet entraîne une diminution de la germination avec un impact direct sur le taux de croissance et la vigueur des tiges (effet observé avec l'application de 100 g, 200 g et 300 g de tourteau par poquet), Traoré *et al.*, 2012).
- Ainsi, par précaution la dose de tourteaux de Jatropha ne devrait 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 (Domergue & Pirot, 2008).

On observe des effets similaires avec l'application de tourteaux compostés. Des tests menés sur l'ail ont montré que l'application de 2 tonnes/ha de mixture de tourteaux compostés et de déchets de tabac (ratio 2:1), améliore significativement le rendement de cette culture (augmentation de 23 %

du poids des bulbes d'ail frais). Cet impact est similaire à celui des fertilisants chimiques (Chaturvedi *et al.*, 2009).

À noter également que les composts issus des tourteaux de *Jatropha* ont le potentiel de diminuer les stress abiotiques des cultures. En effet, on relève un impact positif important du compost sur la régulation de la croissance de plantes en condition de stress hydrique et donc sur la tolérance à la sécheresse (cas du *Brassica compestris*, Singh *et al.*, 2013).

#### EXEMPLES : Impact des tourteaux de *Jatropha* sur les paramètres agronomiques du millet au Niger...

Cinq traitements ont été testés par l'Institut international de recherche sur les cultures des zones tropicales semi-arides (ICRISAT) sur la culture du millet : témoin, 3 doses différentes de tourteau (100, 200 ou 300 g de tourteau par pied), un traitement NPK (6 g de NPK par pied). Les mesures ont concerné les paramètres suivants :

- Le taux de croissance : le traitement « 300 g » permet d'obtenir les plantes les plus grandes en fin de la période végétative.
- La production de graines : le traitement « 300 g » a induit une augmentation de 196 % comparé au contrôle.

La dose efficace de tourteau à appliquer pour la culture de millet semble être de 100 g. Au-delà, l'augmentation de la matière sèche de millet par unité de masse de tourteau appliquée n'est pas rentable. Le tourteau de *Jatropha* représente donc une opportunité économique intéressante qui pourrait se substituer aux engrais conventionnels chimiques, notamment en situation d'agriculture familiale. Plus d'informations : Traoré *et al.*, 2012.

#### ...Et sur ceux d'autres cultures ailleurs...

- Coton : le tourteau seul (5 t/ha) donne un meilleur résultat que le fumier ou la fumure minérale vulgarisée (augmentation du rendement de 134 %).
- Sorgho et maïs : les meilleurs rendements sont obtenus avec une combinaison de 50 % de tourteau et de 50 % de fumure minérale vulgarisée (50 kg d'urée et 150 kg complexe coton).
- Riz Paddy, l'épandage de tourteau augmente le rendement quel que soit le système de riziculture (intensive ou améliorée). Par exemple, au Népal : le rendement de riz augmente de 11 % par rapport au témoin (application de tourteau à raison de 10 t/ha).
- *Jatropha* : en Inde, le rendement en graines augmente de 13 à 120 % par rapport au témoin, avec un rendement maximal de 1,52 kg/plante (application de tourteau : 0,75 à 3 t/ha).
- Soja : on observe une augmentation du rendement en grain (application 3 t/ha).
- Chou : au Zimbabwe, le rendement augmente de 40 à 113 % par rapport au témoin (application de 2,5 à 10 t/ha) et aucune peste ou maladie n'est détectée (alors qu'une infestation de noctuelle du chou a été observée avec de la bouse de vache).
- Millet perle : au Mali, le rendement augmente de 46 % par rapport au témoin (application 5 t/ha).

Plus d'informations : Devappa *et al.*, 2010 ; Domergue & Pirot, 2008 ; Laval & Levy, 2009.

## Innocuité des tourteaux dans le sol et l'environnement en général

L'application de tourteaux comme engrais pose la question de sa potentielle toxicité sur un large éventail d'organismes tels que les insectes, les bactéries, les champignons. Pour une utilisation sans risque des tourteaux — frais ou compostés — comme fertilisants organiques, l'absence de transfert de toxicité dans l'environnement (notamment via les EP) doit ainsi être vérifiée. De plus, les tourteaux étant appliqués sur des cultures vivrières, il est nécessaire de déterminer le taux de résidus d'EP issus des tourteaux éventuellement présents dans les parties comestibles des plantes cultivées. C'est un enjeu économique important.

### Absence de rémanence dans le sol des EP issus des tourteaux

Il n'existe que très peu d'études sur la destinée des EP dans le sol ainsi que sur l'impact des tourteaux sur les communautés microbiennes, végétales et animales du sol. La curcine n'a probablement pas une toxicité significative aux conditions *in vivo* et, étant une protéine, elle est facilement dégradée dans le sol. Ce sont donc les EP qui représentent l'enjeu central.

Il n'y a pas d'accumulation d'EP ou d'autres composés toxiques dans le sol lorsqu'on pratique des épandages de tourteaux bruts. En effet, comme précisé ci-dessus, certains champignons assez communs du sol dégradent les EP. Après épandage de tourteaux de *Jatropha*, les EP sont complètement biodégradés dans le sol en une vingtaine de jours à 23°C et en moins de 15 jours au-delà de 32°C. Cette dégradation semble favorisée par l'humidité du sol et la température. Elle dépend aussi des propriétés chimiques et physiques du sol (structure, pH, capacité d'adsorption, composition en argile, contenu en matière organique) ainsi que des populations microbiennes (Devappa *et al.*, 2010).

À noter également que les produits issus de leur dégradation sont inoffensifs (Devappa *et al.*, 2010).

### Impacts des tourteaux sur le fonctionnement des sols

L'application de tourteau frais dans des sols peut impacter leur fonctionnement. Différents tests réalisés sur le maïs (sous serre) et sur d'autres cultures (sur différents types de sols mexicains, cf. exemples ci-dessous) témoignent d'une amélioration significative du fonctionnement des sols : propriétés chimiques, biologiques et microbiologiques du sol améliorées ; teneurs en carbone, en azote et phosphore assimilable augmentées ; activités enzymatiques accrues, etc.

Une étude récente (Chaudhary *et al.*, 2014) montre par ailleurs que les tourteaux de *Jatropha* constituent une excellente source d'azote minéral, un résultat qui a également été démontré au Niger (Traoré *et al.*, 2012).

Un sol amendé avec des tourteaux compostés voit également sa fertilité et sa structure améliorées, mais peu d'études à ce jour explorent cette piste.

#### EXEMPLES : Impacts de l'application de tourteaux bruts sur le sol

Des tests réalisés sous serre sur le maïs (application de 2,5 et 5 t/ha de tourteaux bruts) ont montré :

- une amélioration de la fertilité du sol notamment en y enfouissant les tourteaux grâce au labour ;
- une augmentation significative de la diversité microbienne du sol ;
- une production végétale améliorée du maïs (biomasse aérienne et racinaire) par rapport à un traitement par fertilisation minérale NPK.

Plus d'informations : Ghosh et al., In Devappa *et al.*, 2010.

D'autres travaux réalisés au Mexique sur l'impact de tourteaux bruts (concentration en EP de 0,993 mg/g de tourteau) sur différents types de sols agricoles (cultures de *Jatropha* pour le biocarburant) ont montré :

- une augmentation des émissions dans les sols de CO<sub>2</sub> (2,5 fois via la minéralisation de la fraction facilement décomposable des tourteaux), de N<sub>2</sub>O (32,3 fois car l'apport d'engrais active l'activité biologique du sol et par conséquent la production de N<sub>2</sub>O) et de CH<sub>4</sub> (2,3 fois du fait d'une production de méthane stimulée par l'application d'engrais organique) ;
- une augmentation de l'azote minéral en moins de 56 jours, ce qui signifie que de grandes quantités d'azote organique présentes dans la graine deviennent rapidement disponibles dans les sols en tant que nutriments (minéralisation de 66 %) ;
- de la même manière, une augmentation du carbone minéral du sol ;
- aucune inhibition ni diminution de l'activité microbienne du sol.

Plus d'informations : Ruíz-Valdiviezo *et al.*, 2013.

#### EXEMPLE au Sénégal : Impact des tourteaux de *Jatropha* sur le fonctionnement biologique des sols

Des essais ont été mis en place dans 3 zones pédoclimatiques différentes du Sénégal puis en serre. Les résultats ont montré que la culture de *Jatropha curcas* dans les sols sableux avec une pluviométrie de 200-800 mm/an entraîne une augmentation des teneurs des sols en P, N minéral et de l'activité de minéralisation du C. Cette culture de *J. curcas* a également induit une forte activité enzymatique phosphatase montrant une importante activité des microorganismes. Par contre, dans les sols argileux avec une pluviométrie de 900-1 200 mm/an, nos résultats ont indiqué une tendance à une réduction des différents paramètres chimiques et microbiologiques par la culture de *Jatropha curcas*. L'essai expérimental conduit en serre a montré que les 2 doses de tourteaux (2,5 et 5 t/ha) utilisées ont permis d'améliorer de façon significative les propriétés chimiques, biologiques, microbiologiques et la production végétale du maïs. Les teneurs en C, N totaux et P assimilable ont significativement augmenté dans les sols amendés ainsi que les activités enzymatiques déshydrogénase et de minéralisation du C. 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. L'impact de *Jatropha curcas* sur les sols dépend des conditions pédoclimatiques de sa culture et les résidus tourteaux issus de la presse de l'huile de *Jatropha* contribuent à l'amélioration de la fertilité des sols et à l'augmentation de la productivité végétale.

Plus d'informations : Assigbetsé et al., soumis.

#### **Absence de transfert d'EP dans les plantes cultivées**

Le tourteau de *Jatropha* comme engrais organique peut être utilisé sans nuire à la santé de ceux qui consomment les végétaux cultivés (Ghosh *et al.* In Devappa et al., 2010 ; Srinophakun et al., 2011). En effet, des expériences ont été réalisées sur différentes cultures, dont on ne consomme pas les mêmes parties (chou chinois pour les feuilles, tomate pour les fruits, patate douce pour les tubercules). Pour chacune de ces cultures, plusieurs fertilisations ont été effectuées, utilisant selon les cas de l'engrais chimique, du purin et/ou du tourteau de *Jatropha* (à raison de 2,5 ; 5 ou 10 t/ha). Aucun EP n'a ensuite été retrouvé dans les parties consommables des plantes, pas plus que dans le sol.

Une étude plus récente réalisée sur les patates douces a abouti au même résultat, avec des sols amendés par deux types de tourteaux de *Jatropha* (l'un avec une teneur en EP faible, de 0,3281 mg/g, l'autre avec une teneur forte, de 0,9295 mg/g). Ni la culture ni le sol (après récolte) n'étaient contaminés par les EP présents initialement dans les tourteaux, y compris pour le test avec le tourteau le plus toxique (Punsuvon *et al.*, 2012).

## D'autres valorisations sont possibles...

La toxicité des tourteaux de *Jatropha* représente une véritable entrave à leur utilisation en tant qu'aliment bétail et, dans une bien moindre mesure, en tant que fertilisant. Ces tourteaux pourraient en revanche être valorisés sous la forme d'autres produits affranchis de cette forte contrainte et dotés d'une haute valeur ajoutée tels que : biogaz, combustible, adhésif, enzymes industrielles, etc.

Les procédés thermiques — gazéification, combustion et pyrolyse — sont les options les plus couramment utilisées dans le monde pour recycler les détritres en provenance des agro-industries, convertir de la biomasse en énergie ainsi que gérer efficacement ces déchets.

### **Le biogaz : une alternative économique intéressante mais peu adaptée à l'Afrique de l'Ouest**

Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène (fermentation anaérobie). Cette fermentation, également appelée « méthanisation », se réalise dans des digesteurs. La digestion anaérobie est couramment utilisée dans le traitement de résidus organiques — déchets alimentaires, fumier, boues d'épuration, etc.

Le tourteau étant fermentescible, il peut être utilisé pour la production de biogaz par digestion anaérobie. En effet, il dispose des éléments essentiels pour la production de biogaz tels que : matières volatiles (6 fois plus de matières volatiles que dans le fumier conventionnellement utilisé pour la production de biogaz, Chandra et al., 2012), carbone, azote, potassium et phosphore. De plus, il est riche en protéines et lipides qui peuvent être utilisés par les microbes pendant la méthanisation.

Un volume de 250 à 289 l de biogaz peut être produit par kg de tourteau, le meilleur rendement ayant été obtenu avec un réacteur filtre anaérobie (Chandra et al., 2006 ; Grimsby et al., 2013). À partir de tourteaux de *Jatropha*, le biogaz :

- contient 15 à 20 % de méthane de plus que le biogaz produit avec du fumier uniquement (Chandra *et al.*, 2012) ;
- présente une production similaire par rapport au fumier seul (0,170 m<sup>3</sup> de gaz/kg de tourteau de *Jatropha* ; 0,166 m<sup>3</sup> de gaz/kg de fumier de vache, Raheman & Mondal, 2012) ;
- est produit plus rapidement qu'avec le fumier.

De plus, la production de biogaz réduit notablement les émissions de gaz qui émaneraient des tourteaux s'ils se décomposaient à l'air libre sous l'action de microorganismes (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, Thiagarajan et al., 2013).

Le tourteau seul ne peut pas développer la population microbienne suffisante pour atteindre la production optimale de biogaz. Ainsi, un inoculum initial, pouvant être apporté par le fumier, est nécessaire. Si, en fonction des auteurs, les résultats concernant le rapport « tourteau/fumier » varient : 2:1 (Yadav et al., 2014) ou 1:3 (Nafisa Ali et al., 2010), il est démontré par tous que l'apport de fumier permet d'obtenir une production de biogaz améliorée de 25 à 50 %.

Ce biogaz peut être ensuite utilisé pour alimenter de petites centrales thermiques de production d'électricité. Ainsi, une usine d'une capacité de 2 500 tonnes de biodiesel peut produire, à partir de la transformation des tourteaux en biogaz, une énergie de 1,5 MW minimum, et ce avec un investissement minime par rapport à une centrale électrique conventionnelle (Nafisa Ali *et al.*, 2010).

Le digestat, issu du processus de méthanisation de la matière organique, constitue un excellent engrais. En effet, il est non toxique et a une teneur en azote augmentée de près de 6 %. Par contre ses teneurs en phosphore et potassium restent inchangées. Lors du processus de digestion anaérobie, 76,6 % de l'azote contenu dans le tourteau sont transformés en ammonium et 1,6 % en nitrate, deux composants azotés directement utilisables par les plantes. La fertilisation avec 32

tonnes de digestat par hectare équivaut à 100 kg d'azote minéral/ha (Grimsby et al., 2013). L'effet fertilisant de ce digestat a d'ailleurs été observé sur différentes cultures (Raheman & Mondal, 2012).

Ainsi, la production de biogaz et l'utilisation du digestat comme fertilisant constitueraient une excellente valorisation des tourteaux de Jatropha. Néanmoins, il est nécessaire de prendre en compte certaines limitations concernant la production de biogaz à partir des tourteaux de Jatropha (Thiagarajan et al., 2013) :

- La biométhanisation nécessite de la biomasse poudreuse et poreuse avec une humidité supérieure à 60 %.
- Le temps de rétention hydraulique est toujours très important (45 à 60 jours) pour une production efficace de gaz, ce qui a pour conséquence la nécessité de disposer de digesteurs de grand volume.
- Quand le déchet contient beaucoup de lignine, alors la biodigestion devient plus difficile et l'efficacité de la conversion en biogaz diminue. Le tourteau contient 42 % de coques qui incluent 23,91% de lignine qui ne pourront pas être complètement convertis en biogaz lors de la biométhanisation.

Il est donc important de noter que ce procédé nécessite une disponibilité en eau suffisante et des infrastructures adaptées — deux conditions qui ne sont pas fréquemment réunies dans les zones semi-arides où le Jatropha est promu comme culture de rente. Cependant il peut être mis en œuvre avec des technologies simples et peu coûteuses (Grimsby *et al.*, 2013).

#### **Un biocombustible à fort pouvoir calorifique**

Lorsqu'il est pelletisé, le tourteau peut s'avérer être un biocombustible intéressant pour la production d'énergie à des fins domestiques ou industrielles et en remplacement du charbon de bois. En effet, son pouvoir calorifique (18 MJ/kg) est comparable à celui du bois (21,736 MJ/kg) et du tourteau de colza (20,361 MJ/kg).

En comparaison avec le bois, le tourteau de Jatropha a un taux d'humidité plus faible (~9 % contre ~12 %) mais aussi un taux de cendre plus élevé (~5 % contre ~0,3 %). Ces taux sont proches de ceux du tourteau de colza (~13 % et ~6 %) déjà utilisé comme combustible.

Ces premiers résultats expérimentaux indiquent que le tourteau de Jatropha a un bon potentiel comme combustible. Toutefois, il n'existe pas actuellement de procédé de fabrication validé d'un point de vue technico-économique, ni de filière économique de granules de Jatropha. De plus, il n'est pas adapté pour une utilisation dans les ménages à cause de la fumée noire qu'il dégage.

À noter, l'azote contenu dans le tourteau est définitivement perdu durant la combustion alors qu'il pourrait potentiellement être utilisé comme engrais. Les tourteaux peuvent aussi servir pour la fabrication des briquettes d'allumage sous forme compressée (Thiagarajan *et al.*, 2013).

#### **Production de biochar par pyrolyse : une valorisation méconnue**

La pyrolyse est un procédé de carbonisation des matières organiques en absence d'oxygène ou sous très faible pression d'oxygène. Les produits obtenus sont (i) un gaz combustible, (ii) un liquide utilisable comme biocarburant et (iii) un résidu solide à forte teneur en carbone : le biochar. En modifiant les paramètres de la pyrolyse, on peut obtenir plus ou moins de tel ou tel produit.

Le biochar sert, d'une part, d'amendement permettant d'améliorer la fertilité et la stabilité des sols cultivés et, d'autre part, de stockage du carbone dans les sols à moyen et long terme.

Les tourteaux de Jatropha ont un fort potentiel pour servir à la production de biocarburant et de biochar via cette technique. En effet, la conversion du tourteau de Jatropha par pyrolyse a abouti à un rendement (en poids) de 48 % de biocarburant et 35,1 % de biochar. Le biocarburant obtenu présente une plus faible viscosité par rapport au carburant commercial ainsi qu'une plus forte humidité et densité. Il nécessite ainsi d'être amélioré pour être utilisable : une simple distillation (40 à 80°C) améliore en effet le taux d'humidité, la viscosité, la valeur calorifique (Biradar *et al.*, 2014). Aucune étude ne s'intéresse à la qualité du biochar issu des tourteaux de Jatropha et à son utilisation pour amender les sols. Les connaissances sont limitées en ce domaine.

## Production d'enzymes industrielles

Les tourteaux de *Jatropha* peuvent être utilisés comme substrat pour la fermentation de microorganismes (bactéries du genre *Bacillus*, champignons du genre *Sporotrichum* ou *Aspergillus*, etc.) afin de produire des enzymes industrielles. Les principaux domaines d'utilisation de ces enzymes sont l'industrie agroalimentaire (alimentation humaine et animale), des détergents, de l'amidon, etc. (Ayesha Sadaf & Khare, 2014 ; Chin-Feng Chang *et al.*, 2014 ; Veerabhadrapa *et al.*, 2014).

En plus de leur utilisation pour détoxifier les tourteaux, les fermentations (submergées et en milieu solide) sont avant tout des procédés courants pour la production de produits à forte valeur ajoutée comme les enzymes, les biopesticides, etc.

La fermentation en milieu solide présente des avantages pratiques et économiques par rapport à la fermentation submergée : elle utilise des matériaux bruts comme substrats, elle est économique et peu exigeante en énergie, ce qui la rend plus adaptée à une production commerciale.

La production maximale d'enzyme (amylase, cellulase, lipase, pectinase, protéase, xylanase) par fermentation submergée est observée avec *B. sonorensis* et par fermentation en milieu solide avec *B. smithii*. Le champignon *S. thermophile* permet de produire du xylanase par fermentation en milieu solide. *Aspergillus versicolor* est utilisé, quant à lui, dans la production de lipase et de protéase par fermentation en milieu solide.

Les tourteaux de *Jatropha* sont utilisés comme substrats et ils remplacent avantageusement les substrats synthétiques conventionnels, qui sont très coûteux.

## D'autres valorisations possibles

D'autres productions sont possibles à partir des tourteaux de *Jatropha*, mais celles-ci restent anecdotiques dans la littérature scientifique :

- Production de champignons comestibles : le champignon *Pleurotus ostreatus*, en plus de dégrader les composés toxiques des tourteaux de *Jatropha*, est un champignon comestible qui peut se développer sur le tourteau. Après 60 jours d'incubation (25°C), on observe une forte productivité des champignons. Aucun témoignage n'a été relevé d'une éventuelle présence de composés toxiques issus des tourteaux dans ces champignons. Les tourteaux peuvent donc être utilisés pour la production de champignons comestibles à haute valeur nutritive (Rodrigues da Luz *et al.*, 2013).

- Dépollution des métaux lourds dans les eaux usées : les tourteaux de *Jatropha* ont été testés avec succès pour extraire le zinc d'eaux polluées par ce métal. En effet, les résultats confirment la présence de zinc dans les tourteaux via un processus d'adsorption. Les tourteaux de *Jatropha* constituent ainsi un adsorbant adapté pour extraire le zinc dans les eaux polluées par des métaux lourds (Abidin *et al.*, 2013).

- Production de pullulane (ou pullulan) : polysaccharide important dans les industries alimentaires, pharmaceutiques et cosmétiques, le pullulane est produit habituellement à partir de l'amidon grâce au champignon *Aureobasidium pullulans*. Il est utilisé dans la production d'enveloppes de compléments alimentaires (numéro E1204) présentés sous forme de gélules et de comprimés, ainsi que dans les films comestibles des micro-confiseries destinés à rafraîchir l'haleine. L'utilisation de tourteaux de *Jatropha* comme substrat à la place de ceux conventionnellement utilisés (extraits de levure p. ex.) pour la production de pullulane a été testée avec succès. Néanmoins, la principale contrainte de cette production est son coût élevé, même si celui-ci est significativement réduit grâce à l'emploi des tourteaux (Choudhury *et al.*, 2012).

- Émulsifiant ou papier adhésif : une étude a comparé les propriétés fonctionnelles (solubilité, propriétés émulsifiantes, moussantes et adhésives) des protéines contenues dans les tourteaux de *Jatropha* à celles des protéines industrielles. Les protéines des tourteaux sont moins solubles que les industrielles. Elles ont surtout un pouvoir adhésif et moussant plus important, montrant ainsi leur potentiel à être utilisées dans la production de papiers adhésifs ou d'émulsifiant (Lestari *et al.*, 2011).



## Les coques de Jatropha : un autre coproduit à ne pas négliger

En mode artisanal, la graine est décortiquée avant d'être pressée. Le tourteau obtenu est de meilleure qualité nutritionnelle et plus riche en minéraux car il ne contient pas de coques fibreuses. Cependant, les coques représentent aussi des résidus qu'il est nécessaire d'éliminer et/ou de valoriser. En effet, un fruit de Jatropha (sec) contient environ 37,5 % de coque et 62,5 % de graine (Chandra Pandeya *et al.*, 2012). À l'instar des tourteaux, les coques de Jatropha doivent être éliminées, ce qui constitue un enjeu également important à l'avenir si le Jatropha est commercialisé, générant de grosses quantités de déchets solides...

Des résultats scientifiques fournissent des éléments pour des pistes de valorisation des coques de Jatropha (Sharma *et al.*, 2009 ; Chandra Pandeya *et al.*, 2012) :

- L'incorporation directe des coques dans le sol ne l'améliore pas du fait de certaines caractéristiques physico-chimiques peu favorables (pH élevé entre autres, cf. tab 3).
- Le compostage est réalisable malgré le fort ratio C/N contenu dans les coques. L'inoculation par des champignons lignocellulotiques (*Aspergillus nidulans*, *Trichoderma viride*, *Phanerochaete chrysosporium* et *Aspergillus awamori*) aide à un meilleur compostage des coques en un mois, mais les composés toxiques sont toujours présents dans le compost. Si le compostage dure quatre mois, la phytotoxicité diminue grâce à l'action des enzymes sécrétées par ces champignons.
- Les hautes teneurs en enzymes cellulolytiques observées durant la fermentation indiquent la possible utilisation de ces champignons pour produire de l'éthanol à partir de la fermentation des coques.
- Le haut contenu en lignine des coques pourrait être intéressant pour la production de panneaux agglomérés.
- Une autre voie de valorisation des coques serait potentiellement celle de leur conversion en biogaz.

Paramètres	Valeurs (Sharma <i>et al.</i> , 2009)
Matière sèche (%)	89,8
Carbone (%)	46,05
Protéines brutes (%)	4,3-4,5
Azote (%)	0,688
C/N	66,93
Phosphore disponible (mg/g)	145,983
pH	8,1
Protéines solubles (mg/g)	0,762

Tab. 3. Caractéristiques des coques de *Jatropha curcas*

## Quelles perspectives à court terme pour le tourteau de Jatropha ?

À l'heure actuelle, les pistes de valorisation du tourteau de Jatropha en sont, pour la plupart, à un stade expérimental ou de test à petite échelle en milieu réel. La plus grande contrainte à la valorisation du tourteau de Jatropha en aliment-bétail ou en fertilisant organique est leur toxicité.

**La valorisation des tourteaux de Jatropha en tant que complément alimentaire pour le bétail est toujours expérimentale** et ne semble donc pas, pour l'instant, envisageable sur le terrain ou à grande échelle. En effet, le tourteau ne peut être utilisé directement comme aliment pour bétail sans subir au préalable une détoxification qui peut être, selon les techniques, peu rentable. Pour l'instant, il n'y a pas de méthode validée et standardisée qui puisse être utilisée. La fermentation en milieu solide semble être toutefois la voie d'avenir pour rendre les tourteaux de Jatropha comestibles : cette technique est relativement simple, économique et facilement adoptable, notamment dans les pays du Sud à la condition d'avoir la main d'œuvre compétente et le matériel spécifique. De plus, elle est sans risque pour l'environnement.

**La valorisation du tourteau de Jatropha, frais ou composté, comme fertilisant organique semble la plus réaliste**, car cette solution ne demande pas d'investissement important et elle est accessible techniquement. De plus, les éléments toxiques — notamment les EP contenus dans les tourteaux bruts — ne se retrouvent pas dans les parties consommées des plantes comestibles cultivées. Le tourteau de Jatropha peut ainsi être utilisé comme engrais organique sans nuire à la santé de ceux qui consomment les végétaux cultivés. Il n'y a pas d'accumulation d'EP ou d'autres composés toxiques dans le sol lorsqu'on pratique des épandages de tourteaux bruts (ratio de 2:5 de tourteaux et de sol respectivement). Peu d'études s'intéressent à la destinée des EP dans le sol ainsi qu'à l'impact des tourteaux sur les communautés microbiennes, les communautés végétales et animales du sol ; il n'en existe aucune, à notre connaissance, sur l'impact des tourteaux sur les réserves en eau du sol. Il s'agit là de questions importantes à explorer par la recherche scientifique. Le tourteau de Jatropha représente une opportunité économique intéressante qui pourrait se substituer aux engrais conventionnels chimiques, notamment en situation d'agriculture familiale au Sud.

**La production de biogaz et l'utilisation du digestat comme fertilisant constituent une valorisation intéressante des tourteaux de Jatropha.** Cette production peut être mise en œuvre avec des technologies simples et peu coûteuses. Néanmoins, ce procédé nécessite une disponibilité en eau suffisante et des infrastructures adaptées, deux conditions qui ne sont pas fréquemment réunies en Afrique de l'Ouest.

À plus long terme, l'amélioration végétale permettra sans doute de créer de nouvelles variétés de Jatropha non toxiques tout en améliorant certains traits agronomiques majeurs ; ce qui permettra une valorisation des tourteaux de Jatropha en produits à valeur ajoutée qui sera simple, économique et sans risque, notamment dans les pays du Sud. Mais, pour l'heure, la valorisation des tourteaux de Jatropha est essentielle, à moins de courir le risque de générer des problèmes à court terme liés à la gestion de déchets solides toxiques. C'est également un manque à gagner pour tous les acteurs de la filière. Trouver une solution à long terme, bon marché et écologiquement viable pour recycler et transformer les tourteaux de Jatropha en produits de valeur, est donc d'une importance cruciale pour la durabilité de cette filière.

## Références bibliographiques

Abidin, Salleh Z.Z., Mohd M.A., Harun M. Y., Bakar Abu N., 2013. Biosorption of Zn (II) from aqueous solution by *Jatropha curcas* press cake. *Journal of Scientific and Industrial Research (JSIR)*. 73(03): 191-194.

Aregheore E.M., Becker K., Makkar H.P.S., 2003. Detoxification of a toxic variety of *Jatropha curcas* using heat and chemical treatments, and preliminary nutritional evaluation with rats. *S. Pac. J. Nat. Sci.* 21: 50-56.

Assigbetsé K., Chotte J.L., Ndour Y., soumis. Impact de la culture de *Jatropha curcas* L. et de ses tourteaux sur les propriétés chimiques et biologiques des sols dans un contexte de variabilité et de changement climatiques. *Soil Ecology*.

Belewu M.A., Belewu K.Y., Ogunsola F.O., et al., 2010. Nutritive value of dietary fungi treated *Jatropha curcas* kernel cake: Voluntary intake, growth and digestibility coefficient of goat. *Agric Biology. J North Am.* 1(2): 135-138.

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

Biradar C.H., Subramanian K.A., Dastidar M.G., 2014. Production and fuel quality upgradation of pyrolytic bio-oil from *Jatropha curcas* de-oiled seed cake. *Fuel.* 119(2014): 81–89.

Bose A., Keharia H., 2013. Phorbol ester degradation in *Jatropha* seedcake using white rot fungi. *Biotech.* 3.

Chandra Pandeya V., Singh K., Shankar Singh J., Kumard A., Singh B., Singh R.P., 2012. *Jatropha curcas*: A potential biofuel plant for sustainable environmental development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 16(2012): 2870– 2883.

Chandra R., Vijay V.K., Subbarao P.M.V., Khura T.K., 2012. Production of methane from anaerobic digestion of *Jatropha* and *Pongamia* oil cakes. *Applied Energy.* 93(2012): 148–159.

Chandra R., Vijay V.K., Subbarao, Parchuri M.V.A., 2006. Study on Biogas Generation from Non-edible Oil Seed Cakes: Potential and Prospects in India. The 2nd Joint International Conference on “Sustainable Energy and Environment (SEE 2006)” November 2006, Bangkok, Thailand.

Chang C.F., Weng J.-H., Lin K.Y., Liu L.-Y., Yang S.-S. 2014. Phorbol Esters Degradation and Enzyme Production by *Bacillus* using *Jatropha* Seed Cake as Substrate. *International Journal of Environmental Pollution and Remediation.* 2(1).

Chaturvedi S., Kumar A., Singh B., 2009. Utilizing composted *Jatropha*, neem cake and tobacco waste to sustain garlic yields in indo-gangetic plains. *Journal of Phytology.* 1(6): 353–360.

Chaudhary D.R., Chikara J., Ghosh A., 2014. Carbon and nitrogen mineralization potential of biofuel crop (*Jatropha curcas* L.) residues in soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.*

Choudhury A.R., Sharma N., Prasad G.S., 2012. Deoiled *Jatropha* seed cake is a useful nutrient for pullulan production. *Microbial Cell Factories.* 11:39.

Devappa R.K, Makkar H.P.S., Klaus Becker K., 2010. Biodegradation of *Jatropha curcas* phorbol esters in soil. *J. Sci. Food Agric.* 90: 2090–2097.

Devappa K.R., Makkara H.P.S., Beckera K., 2010. Jatropha Toxicity -A Review. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B. 13(6): 476-507.

Diwani G.I. El, El Rafei Sh. A., Hawash S. I., 2011. Ozone for Phorbol Esters Removal from Egyptian Jatropha Oil Seed Cake. Advances in Applied Science Research. 2(4): 221-232.

Domergue M. Pirot R., 2008. Rapport de synthèse bibliographique – Jatropha curcas. Décembre 2008. Cirad, Agro Generation.

FAO 2010. Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop The Potential for Pro-Poor Development. Integrated Crop Management. Vol. 8–2010. Rome, Italie. 114 pp.

Gogoi R., Kumar Niyogi U., Kumar Tyagi A., 2014. Reduction of phorbol ester content in jatropha cake using high energy gamma radiation. Journal of Radiation Research and Applied Sciences. (2014): 1-5.

Grimsby L.K., Fjørtoft K., Bernt Aune J., 2013. Nitrogen mineralization and energy from anaerobic digestion of Jatropha press cake. Energy for Sustainable Development. 17(2013): 35–39.

Henning R.K., 1992. Produktion und Nutzung von Pflanzenöl als Kraftstoff im Sahel, am Beispiel von Mali. Gesamtkonzept zur Verbreitung des Systemansatzes, GTZ, Eschborn.

Joshi C., Mathur P., Khare S.K., 2011. Degradation of phorbol esters by Pseudomonas aeruginosa PseA during solid-state fermentation of deoiled Jatropha curcas seed cake. Bioresource Technology. 102(2011): 4815–4819.

Katole S., Sahaa S.K., Sastrya V.R.B., Ladea M.H., Prakashb B., 2011. Intake, blood metabolites and hormonal profile in sheep fed processed Jatropha (Jatropha curcas) meal. Animal Feed Science and Technology. 170(2011): 21– 26.

King A.J., Wei He, Cuevas J.A., Freudenberger M., le Ramiamanana D., Graham I.A., 2009. Potential of Jatropha curcas as a source of renewable oil and animal feed. Journal of Experimental Botany. 60(10): 2897–2905.

Kouakou N'G.DV., Thys E., Assidjo E.N., Grongnet J.-F., 2010. Ingestion et digestibilité in vivo du Panicum maximum associé à trois compléments: tourteau de Jatropha curcas, tourteau de coton (Gossypium hirsutum) et Euphorbia heterophylla chez le cobaye (Cavia porcellus L.). TROPICULTURA. 28(3): 173-177.

Kuvshinov D., Siswanto A., Zimmerman W.B., 2014. Microbubbles Enhanced Synthetic Phorbol Ester Degradation by Ozonolysis. International Journal of Chemical, Materials Science and Engineering. 8(1).

Laval M., Levy D., 2009. Problématique de l'introduction du Jatropha dans les systèmes de production agricoles au Mali. Jatropha Mali Initiative (JMI).

Lestari D., Mulder W.J., Sandersa J.P.M., 2011. Jatropha seed protein functional properties for technical applications. Biochemical Engineering Journal. 53 (2011): 297–304.

Makkar H.P.S., Becker K., Sporer F., et al., 1997. Studies on nutritive potential and toxic constituents of different provenances of Jatropha curcas. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 45(8): 3152-3157.

Makkar H.P.S., Francis G., Becker K., 2008. Protein concentrate from Jatropha curcas screw-pressed cake and toxic and antinutritional factors in protein concentrate. Journal of the Science of Food and Agriculture. 88(9): 1542 - 1548.

Manab Das H.S. Uppal, Reena Singh, Shanuja Beri, K.S. Mohan, Vikas C. Gupta, Alok Adholeya, 2011. Co-composting of physic nut (Jatropha curcas) deoiled cake with rice straw and different animal dung. Bioresource technology.

Manab Das H.S. Uppal, Singh R., Beri S., Mohan K.S., Vikas C. Gupta, Adholeya A., 2011. Co-composting of physic nut (*Jatropha curcas*) deoiled cake with rice straw and different animal dung. *Bioresource Technology*. 102(2011): 6541–6546.

Megumi Kasuya M.C., Rodrigues da Luz J.M., Presley da Silva Pereira L., Soares da Silva J., Cuquette Montavani H., Teixeira Rodrigues M., 2012. Bio-Detoxification of *Jatropha* Seed Cake and Its Use in Animal Feed. In: *Biodiesel - Feedstocks, Production and Applications*, book edited by Zhen Fang, ISBN 978-953-51-0910-5.

Misra M., Misra A.N., 2010. *Jatropha*: The Biodiesel Plant Biology, Tissue Culture and Genetic Transformation – A Review. *Int. J. Pure Appl. Sci. Technol.* 1(1): 11-24.

Nafisa Ali, A.K. Kurchania, Swati Babel, 2010. Bio-methanisation of *Jatropha curcas* defatted waste. *Journal of Engineering and Technology Research*. 2(3): 38-43.

Najjar A., Abdullah N., Zuhainis Saad W., Ahmad S., Oskoueian E., Abas F., Gherbawy Y., 2014. Detoxification of Toxic Phorbol Esters from Malaysian *Jatropha curcas* Linn. Kernel by *Trichoderma* spp. and Endophytic Fungi. *Int. J. Mol. Sci.* 15: 2274-2288.

Pereira C.S.S., Rocha R.R., Pessoa F.L.P., Mendes M.F., 2013. Phorbol esters extraction from *Jatropha curcas* seed cake using supercritical carbon dioxide. III Iberoamerican Conference on Supercritical Fluids Cartagena de Indias (Colombia).

Phengnuam T., Suntornsuk W., 2013. Detoxification and anti-nutrients reduction of *Jatropha curcas* seed cake by *Bacillus* fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 115(2): 168-172.

Punsuvona V., Nokkaew R., Karnasutad S., 2012. Determination of toxic phorbol esters in biofertilizer produced with *Jatropha curcas* seed cake. *ScienceAsia*. 38(2012): 223–225.

Raheman H., Mondal S., 2012. Biogas production potential of *Jatropha* seed cake. *Biomass and bioenergy*. 37(2012): 25-30.

Rakshit K.D., Darukeshwara J., Rathina Raj K., Narasimhamurthy K., Saibaba P., Bhagya S., 2008. Toxicity studies of detoxified *Jatropha* meal (*Jatropha curcas*) in rats. *Food and Chemical Toxicology*. 46(2008) 3621–3625.

Rodrigues da Luz J.M., Albino Paes S., Pereira Torres D., Dias Nunes M., Soares da Silva J., Cuquette Mantovani H., Megumi Kasuya M.C., 2013. Production of edible mushroom and degradation of antinutritional factors in *jatropha* biodiesel residues. *Food Science and Technology*. 50(2013): 575-580.

Rodrigues da Luz J.M., Dias Nunes M., Albino Paes S., Pereira Torres D., Megumi Kasuya M.C., 2014. Bio-detoxification of *Jatropha curcas* seed cake by *Pleurotus ostreatus*. *African Journal of Microbiology Research*. 8(11): 1148-1156.

Ruiz-Valdiviezo V.M., Mendoza-Urbina L.D., Luna-Guido M., Gutiérrez-Miceli F.A., Cárdenas-Aquino M.R., Montes-Molina J.A., Dendooven L., 2013. Emission of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O and dynamics of mineral N in soils amended with castor bean (*Ricinus communis* L.) and piñón (*Jatropha curcas* L.) seed cake. *Plant Soil Environ*. 59(2): 51–56.

Sadaf A., Khare S.K., 2014. Production of *Sporotrichum thermophile* xylanase by solid state fermentation utilizing deoiled *Jatropha curcas* seed cake and its application in xylooligosaccharide synthesis. *Bioresource Technology*. 153(2014): 126–130.

Sangaré A., 1990. Contribution à l'étude de l'utilisation du tourteau de Pourghère comme engrais organique. Mémoire de fin d'étude. Inst. polytech. rural Katibougou, Mali.

Sanusi G.O., Belew M.A., Oduguwa B.O., 2013. Dietary Effects of Solid-State Fermented *Jatropha curcas* Kernel Cake on West African Dwarf Goats in a Mixed Ration. *The Pacific Journal of Science and Technology*. 14(2).

Sharma D.K., Pandey A.K., Lata, 2009. Use of *Jatropha curcas* hull biomass for bioactive compost production. *Biomass and bioenergy*. 33(2009): 159–162.

Singh S.S., Varun Gupta V., Sharma A.K., 2013. Role of physic nut (*Jatropha curcas*) Deoiled Cake Based Composts in Sustainable Growth of *Brassica campestris* Under Water Deficit: An ecofriendly approach. *Annals of plant Sciences*. 2(11): 466-473.

Soares de Oliveira A., Schwambach T.I., Sinhorin A.P., Carvalho Oliveira M.R., Alessi K.C., de Oliveira Filho F.A., dos Santos Pina D., 2012. Capacity of ensilage of *Jatropha curcas* L. cake to degrade forbol esters. *R. Bras. Zootec*. 41(6): 1545-1549.

Srinophakun P., Titapiwatanakun B., Sooksathan I., Punsuvon V., 2011. Prospect of Deoiled *Jatropha curcas* Seedcake as Fertilizer for Vegetables Crops – A Case Study. *Journal of agriculture science*.

Thiagarajan J., Srividhya P.K., Rajasakeran E., 2013. A Review of Thermo-chemical Energy Conversion Process of Non-edible Seed Cakes. *Journal of Energy Bioscience*. 4(2): 7-15.

Traore M., Bismarck Nacro H., Tabo R., Nikiema A., Ousmane H., 2012. Potential for agronomical enhancement of millet yield via *Jatropha curcas* oilcake fertilizer amendment using placed application technique. *Int. J. Biol. Chem. Sci*. 6(2): 808-819.

Veerabhadrapa B.M., Belame Shivakumar S., Devappa S., 2014. Solid-state fermentation of *Jatropha* seed cake for optimization of lipase, protease and detoxification of anti-nutrients in *Jatropha* seed cake using *Aspergillus versicolor* CJS-98. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 117(2): 208-214.

Vieira Fernandes K., Lima Tavares Machado O., 2012. Approaches for the Detection of Toxic Compounds in Castor and Physic Nut Seeds and Cakes. <http://dx.doi.org/10.5772/52332>

Wang X.-H., Ou L., Fu L.-L., Zhenga S., Lou J.-D., Gomes-Laranjo J., Li J., Zhang C., 2013. Detoxification of *Jatropha curcas* kernel cake by a novel *Streptomyces fomicarius* strain. *Journal of Hazardous Materials*. 260(2013): 238– 246.

Yadav N., Kumar R., Rawat L., Gupta S., 2014. Physico-Chemical Properties of Before and After Anaerobic Digestion of *Jatropha* Seed Cake and Mixed With Pure Cow Dung. *J Chem Eng Process Technol*. 5: 2.

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

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

Réseau animé par **iram** en partenariat avec



**et avec l'ANADEB, 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*