

## **Biocombustibles : Définitions et unités (à compléter)**

**BRADES** : Bureau de Recherche/Action pour le Développement solidaire. Entreprise individuelle créée en 2007 à St Louis (Partenariats PERACOD et Coop Forestière du Fleuve). Production et commercialisation de briquettes de biocharbon à partir de poussier de charbon de bois et d'argile.

**Durée et Taux de séchage (PERACOD):** des suivis de séchage de fagots (« saï » en wolof) de Typha à l'air libre ont été effectués. Le taux de séchage identifié est de 30 %. On peut estimer que le séchage est suffisant au bout de 5 jours (en Mai).

**Ers (Emission reductions) = Crédit de carbone** - On utilise aussi **VERs** (Verified Emission Reduction) et **Cers** (Certified Emission Reduction) : Crédits dans le cadre du protocole de Kyoto commercialisables pour des activités de réduction des émissions de gaz CO<sub>2</sub> à effet de serre, produites pour rencontrer la demande volontaire des crédits de carbone par des organismes et les individus voulant compenser leurs propres émissions.

Unité de compte : Kg ou T eq CO<sub>2</sub>

**Jatropha (curcas):** souvent appelée « Pourghère », plante d'origine latino-américaine qui est maintenant répandue dans toutes les régions tropicales arides et semi-arides du monde. Membre de la famille des *Euphorbiacées*, c'est une plante pérenne résistante à la sécheresse, qui peut vivre jusqu'à 50 ans et qui croît sur des sols pauvres. Elle s'accommode de pluviométries allant de 200 à 1200 mm, avec un optimum entre 600 et 1000 mm.

C'est un petit arbre ou un arbuste qui atteint entre 3 et 5 mètres de haut, mais qui peut atteindre 8 - 10 mètres dans des conditions favorables. Sa culture n'affecte pas celle des plantes vivrières. Malodorante et non comestible, elle est également non pâturée par le bétail, ce qui lui permet d'être fréquemment plantée en haies ou en intercalaire entre les cultures.

Proche parente du ricin, son huile a les mêmes propriétés médicinales. Les graines de Jatropha contiennent environ 35% d'huile non comestible. La production des graines est d'environ 0,8 kilogrammes par mètre de haie par an, avec un rendement en huile de 0,17 litres.

Outre cette production d'huile utilisable en biocarburant, la plante offre de nombreuses autres possibilités, pour certaines déjà bien connues et utilisées : protection contre l'érosion éolienne et hydrique (haies vives au Mali), production de savon, utilisation des tourteaux en engrais organique, insecticide, ...

**MDP** : Mécanisme de développement propre (Protocole de Kyoto)

**PERACOD** : Programme de Promotion de l'Electrification Rurale et de l'Approvisionnement durable en Combustibles Domestiques ; coopération technique allemande (GTZ) ;

Composante « Approvisionnement durable en combustibles domestiques » (partenariat SAED sur certains programmes) : fabrication de biocharbon par carbonisation de typha (technologie « 3 fûts » importée du Mali)

**Pouvoir calorifique** : quantité de chaleur dégagée par la combustion d'un Kg de charbon, exprimée en thermie, kilocalorie, kilojoule ou KWh. Le PC supérieur (PCS) intègre les calories contenues dans la vapeur d'eau du charbon.

On utilise plutôt le **PCI** qui déduit du PCS les calories contenues dans la vapeur d'eau qui s'échappe.

**PRO-NATURA Int** : ON Pro-Natura est une ONG franco-brésilienne qui travaille sur l'agroforesterie et les énergies renouvelables depuis plus de dix ans. En matière de biocarburants, un programme test est mené à Ross-Béthio pour produire du charbon vert avec des déchets végétaux divers (dont balle de riz et typha). Voir CR entretien du 8/04/09.

**Pyrolyse** : décomposition d'un corps organique par la chaleur (sans flamme, pour éviter l'oxydation et la combustion) pour obtenir d'autres produits (gaz et matière) qu'il ne contenait pas. Par « organiques », on entend des composés du carbone excepté le carbone lui-même, le [gaz carbonique](#)  $\text{CO}_2$ , le monoxyde de carbone  $\text{CO}$  et les ions carbonate  $\text{CO}_3^{2-}$

Procédé intéressant pour valoriser certaines formes de biomasse actuellement utilisée de manière peu efficace ou même simplement brûlée en plein champ (paille, bagasse de canne à sucre, feuilles, écorces, déchets de bois et agricoles dont coques de noix de coco, de cacahuètes, etc).

Si on pyrolyse ce genre de biomasse, on obtient des vapeurs, un gaz combustible (méthane) et des solides minéraux (recyclables en agriculture) et du [charbon de bois](#) utilisable comme amendement ([Biochar ou agrobiochar](#)) ou comme combustible ([biocharbon](#)).

La maîtrise des flux et des températures permet de récupérer des condensats de vapeurs pour par exemple produire une *huile pyrolytique*, qui peut servir de carburant, et peut également fournir quelques produits chimiques comme du phénol. La partie non condensable comprend un mélange de nombreux gaz ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ , etc) et peut également servir de combustible. La proportion des différents produits dépend de la matière première mais surtout des conditions de pyrolyse.

Une pyrolyse longue (plusieurs heures à plusieurs jours selon le volume de bois ou déchets végétaux et selon le matériel utilisé), à température modérée ( $400\text{ }^\circ\text{C}$ ), dite aussi carbonation produit du charbon de bois - technique séculaire, récemment améliorée pour

ses développements industriels (pyrolyse plus rapide, dont pyrolyse de quelques minutes, voire secondes à des températures de 500 à 800 degrés qui produit alors moins de charbon et plus de vapeurs. (*Wikipedia*))

**Rendement** : poids de charbon produit / poids de matière végétale initiale (%)

**Tourteau de Jatropha** : il constitue le sous produit obtenu à la suite de l'extraction de l'huile brute par pression

**Typha (domingensis)** : macrophyte aquatique pérenne se développant dans des eaux douces stagnantes, peu profondes, avec forte luminosité ; rhizomes très denses, racines jusqu'à 3m de longueur, germination dans lame d'eau > 3cm en anaérobiose. Constitue avec *Phragmites australis*, de plus grande taille (>5m) et plus tolérant au sel une association végétale dominante, autochtone dans le bassin aval du Sénégal, mais proliférant de façon explosive depuis la fermeture du barrage anti-sel de Diama.

Cette association recouvrait déjà en 2001 15% de la superficie totale de l'ensemble (retenue Diama + Lac de Guiers + Annexes hydrauliques + Moyenne Vallée, auxquels s'ajoutaient 9% de végétaux aquatiques divers.

En 2001, la végétation aquatique entre Rosso et Diama, mesurée par télédétection, occupait déjà une superficie de 82 000 Ha (21 % de la surface totale des plans d'eau, L. de Guiers inclus). La biomasse correspondante a été estimée (d'après images Spot 1998) à 2 millions de tonnes (correspondant à quelques 530 000 tonnes de matière sèche) pour le seul secteur compris entre Diama et le nord du périmètre de Debi-Tiguet.

Le taux de progression du typha, qui représente 80% de la couverture dans les zones à forte densité végétale, est de 10% par an.

Appliqué aux chiffres précédents, cela signifie que le seul typha recouvrira en 2010 30 à 40% de la surface totale des plans d'eau entre Rosso et Diama.

Pour les nuisances générées, voir rapport ref. 25 ou résumé BP « CR de mission Avr 2008, 3/ Aperçu sur le typha »

**Tableau 1: données comparées sur biocarburants et carburants fossiles de référence**

Unité	Bois	Charbon de bois	Charbon vert			Huile de jatropha	Huile tournesol	Butane	Fuel domestique / Gasoil	
			PERACOD	PRO-NATURA	BRADES					
<b>Sources :</b> l'origine des données est fournie sous la forme du n° de la référence dans la liste bibliographie ( <i>en italiques entre parenthèses</i> )										
Type			Combustion partielle	Pyrolyse en vase clos et en continu	Pressage à main de résidus récupérés	Pressage à main ou mécanique				
Rendement	%	100	8 - 12* 15 - 45**	24.3 (7)	33 (12)	-				
Température de carbonisation	°C		400		500 - 550	-				
Energie		Non	Non	Non	1/ Préchauffage et agitation biomasse 2/Après préchauffe, selfcombustion des gaz de pyrolyse recyclés et brûlés dans 2ème chambre de postcombustion	Non				
Durée de carbonisation	h			3h45-3h55	En continu (évite les arrêts pour refroidissement/défournement)	-				
Agglomération				20%argile + eau (Rotor press à main)	Actuellement briquetage par extrusion à froid, liant gomme arabique ou mélasse ou cendres; marche mal (effritement et odeurs) ; future machine: bouletage a partir d'amidon tiré des cendres (?)	Briquettes 80% résidus cdb + 20% argile pressage par Rotor Press idem PER				
PCI	KJ/kg	20 925 (8) 13 400 (3)	29 295 (8) 26 750 (3)	26 400 (7) 14 890 (8)	28 465 ( <i>info orale Rachid Hadibi</i> )	17 400 (8)	38 874 (21) 600-41 800 (17) 39	37 702 (21)	45 600	42 600 - 45 000
	KJ/l***						35 765 (21)	34 412 (21)		36 700
	(Kcal/Kg)	3 300	6 000 - 6 400 (3)		6 800 ( <i>info orale Rachid Hadibi</i> )		9 300 (21)	8 900 (21)		10 200
	KWh/Kg	3.7 (3) - 5.8 (8)		7.3 - 4.1	7.9				12.7	11.9
	Kwh/l						9.9 (21) - 8 (DP)			9.8 - 10.2
densité			0.18-0.22 (5)				0.92	0.925	0.6	0.84
Productivité	Kg/j/carbonisateur Kg/j/u. de production			26.8 (7) à 30 **** 108 à 120****(6-7)	3 000 - 4 000 (12)	- 250 à 450 2 presses (16)				
Emissions					Ni CO2 ni gaz toxiques (CH4) Production vapeur surchauffée utilisable soit pour séchoir, soit préchauffage 2ème machine, soit pour production d'électricité	Non				
Crédit de carbone (Ers)	Kg eq CO2 / Kg charbon vert	0	0		11,6 (12)		Théoriquement possible, général non chiffré		0	0
Coût d'une unité de production	FCFA			400000 (6)	50000000 ( <i>info orale Rachid Hadibi</i> )					
Prix revient	FCFA / Kg			17 (6) - 60 (7)			170/250 FCFA/l (22, Mali)			
Prix vente	FCFA / Kg		150 - 200 (11)	100 (6) - 125	125 (Ross-Beth) - 150 (St Louis)	100 (gros) - 125 (détail) (16)	300 CFA/l (DP)		500 CFA/Kg (DP)	500 CFA/l (DP)
	FCFA/kWh			15 - 30	15 - 20		37.5		40	50

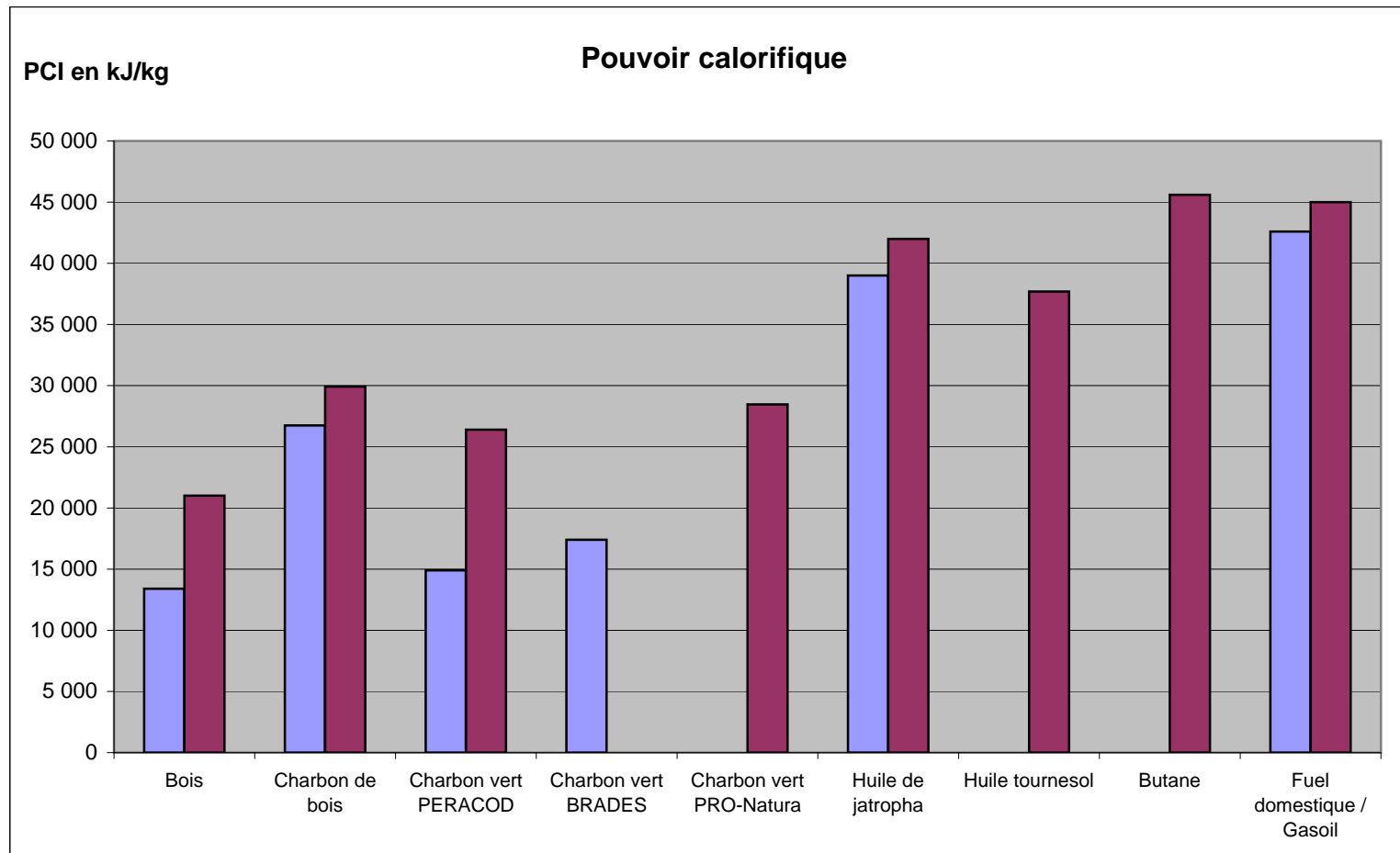
\*: méthodes artisanales (Standart carbonization ratio FAO for Senegal = 18 %)

\*\* : Fours à pyrolyse

\*\*\*: le consommateur achète au litre...

\*\*\*\*: 2 carbonisations/j

\*\*\*\*\*: 4 carbonisateurs x 2 carbonisations



NB1: Les deux couleurs correspondent à deux sources différentes, pas forcément à des max/min

NB2: Le PCI du bois est nettement inférieur à celui du charbon de bois, mais ce dernier doit être pondéré par son rendement (il faut en moyenne 5 à 10 Kg de bois pour faire 1 Kg de cdb)

Tableau 2 : Comparaison bois / charbon de bois / Charbons verts région de St Louis

	Unité	Bois	Charbon de bois	Charbon vert			
				PERACOD	ProNatura	BRADES	
Sources : l'origine des données est fournie sous la forme du n° de la référence dans la liste bibliographique(en italiques entre parenthèses)							
Type				Combustion partielle	Pyrolyse en vase clos et en continu	Agglomération poussier	
Rendement	%	100	18 (Sdt FAO pour Sénégal)	24.3 (7)	33 (12)	-	
Pouvoir calorifique	PCI	KJ/kg	13 400 (3) 20 925 (8)	26 750 (3) 29 295 (8)	14 890 (8) 26 400 (7)	28 465 (info orale Rachid Hadibi)	17 400 (8)
		KJ/l*** (Kcal/Kg)	3 300	6 000 - 6 400 (3)		6 800 (info orale Rachid Hadibi)	
		KWh/Kg	3.7 (3) - 5.8 (8)		7.3 - 4.1	7.9	
		Kwh/l					
	Masse de combustible consommée par MJ produit	g	75 (3) - 48 (8)	34 (3) - 37 (8)	67 (8) - 39 (7)	35 (" ")	57 (8)
Aspects environnementaux	Emissions					Ni CO2 ni gaz toxiques (CH4) Production vapeur surchauffée utilisable soit pour séchoir, soit préchauffage 2ème machine, soit pour production d'électricité	
	Contenu en carbone	%	50 (14)	87 (14)		65 (14)	
	Crédit de carbone (Ers)	Kg eq CO2 / Kg charbon vert	0	0	Bilan apparemment négatif, cf annexe 1	11,6 (12)	En voie d'homologation d'après Brades
Tests de cuisson	Allumage	%	-	Facile	Difficile , + 36% temps d'allumage / cdb (10, 11)	voir rapport "Analyses", cf Rachid Hadibi	
	Temps de cuisson / CDB	%	-		+ 15 % (10)	" "	
	Inertie thermique			Faible (8)	Forte (8)	" "	Forte (8)
	surplus de conso en biochar / CDB	%	-	-	+ 21% (10)	" "	
	Fumée		-	Faible (au départ) (10)	Bcp au départ (10)- Moyenne (8)	Aurait conduit à abandonner la mélasse comme liant	Forte (8)
	Ventilation		-	Au départ	Permanente (8,11)	voir rapport "Analyses", cf Rachid Hadibi	Permanente (8)
	Cendres		-	Normales	Abondantes (+33%) (10)	" "	Abondantes
	Agitation		-	Non	Périodique pour éviter étouffement (11)	" "	Périodique pour éviter étouffement (11)
Impact socio-économique	Productivité	Kg/j/carbonisateur			26.8 (7) à 30 ****		
		Kg/j/u. de production			108 à 120***** (6-7)	3 000 - 4 000 (12)	
	Main d'œuvre	Hommes/j			4	6 - 9	2 + 2
	Coût d'une unité de production	FCFA			400 000 (6)	50 000 000 (info orale Rachid Hadibi)	
	Prix revient	FCFA / Kg			17 (6) - 60 (7)		
	Prix vente	FCFA / Kg			100 (6) - 125	125 (Ross-Beth) - 150 (St Louis)	
FCFA/kWh				15 - 30	15 - 20		
Acceptabilité	%	-	-	85% (si moins cher que cdb) (11)	Documents sur acceptabilité non trouvés sur le net, voir R. Hadibi	Sensibilis/promotion par grpts féminins et distrib. indiv. - Demande en hausse (16)	

**Tableau 3: Récapitulation (provisoire) des avantages / inconvénients de 3 biocharbons fabriqués dans la région de St Louis**

	Echelle	Avantages	Inconvénients
PERACOD	Artisanale	1/ Valorisation du typha, végétal dont la prolifération, génératrice de graves nuisances, assure la disponibilité à proximité de la retenue de Diama et de ses nombreuses annexes hydrauliques	1/ Coupe manuelle du typha pénible et risquée (blessures, bilharziose,...); problème éventuel de motivation
		2/ Nombreuses études techniques avec caution de GTZ	2/ Problèmes techniques: carbonisation insuffisante (?), effritement des briquettes, pb de conditionnement et pertes importantes lors du transport
		3/ Cycle production / vente à l'échelle d'un village ou d'un centre (la production d'une unité de 4 carbonisateurs - 120 Kg/jour - correspond, pour un besoin moyen de 3 à 4 Kg/j/famille, aux besoins de 30 à 40 familles	3/ Problèmes de qualité du produit: surplus de consommation, allumage difficile et augmentation du temps de cuisson, fumée, cendres,...
			4/ Difficulté de commercialisation (inconvénients liés aux moindres performances du charbon insuffisamment compensés par la différence de prix par rapport au cdb)
			5/ Technique jugée obsolète, polluante, et ne générant aucun crédit de carbone
BRADES	Semi-industrielle	1/ Valorisation de poussières de cdb (perdus)	1/ Dépend actuellement essentiellement de cdb (donc d'un produit générant la déforestation); pourrait utiliser de plus en plus de résidus de biocharbon typha si la production de celui-ci s'intensifiait
		2/ Complémentarité potentielle avec les autres techniques par sa localisation proche d'un gros centre de consommation potentielle	2/ Problèmes techniques probables mais non évoqués ds documentation consultée
		3/ Bénéficierait d'un bon circuit de sensibilisation/distribution (?) et serait en contact avec le PERACOD (?)	3/ Idem point3/ PERACOD;
		4/ Conditionnement en sacs papier recyclé; démarche en cours pour homologation crédit carbone (?)	4/ Idem point 4 PERACOD éventuellement atténué réduit par suite de la situation à St Louis réduisant les distances de transport
PRO-NATURA	Industrielle	1/ Technique innovatrice et performante, récompensée par prix internationaux	1/ Nécessité de fonctionner en 3 x 8h ou au pire en 2 x 7h (au prix d'une perte de production), pratique difficile à introduire en milieu rural
		2/ Utilisation possible de différents matériaux, dont le typha en mélange ou seul (rejoint alors l'avantage 1/ du PERACOD)	2/ Difficultés d'organisation, depuis la coupe du typha jusqu'à la commercialisation, non encore résolues
		3/ Production importante par petite équipe grâce au fonctionnement en continu	3/ Problème technique au niveau de l'agglomération; nouvelle machine plus performante attendue
		4/ Recyclage des gaz de pyrolyse générant un important crédit carbone qui permet à lui seul de financer les investissements initiaux	

## Bibliographie

### 1 / Données générales

Numéro réf	Titre, auteur, dates	Type et N° pages	Commentaires
1	Charbon de bois (Extrait de : Le carbone.com,)	Extraits, 2 p	introduction et historique
2	ProCharbon – Au-delà du bois, le charbon	Extraits,2/3 p	
3	Le charbon de bois est-il un combustible satisfaisant, G. Rossier § W. Micuta, Renewable Energy Development Institute (REDI, Genève)	Extraits,7 p	très intéressant et critique sur l'utilisation de cdb traditionnels et nécessité de fourneaux adaptés
4	Politique de développement de la biomasse énergie au Sénégal, powerpoint présenté par Ibrahima Niang, Direction de l'énergie, Ministère de l'énergie	Powerpoint, env 10 p	intéressant état des lieux des réalisations en biocarburants au Sénégal
5	INDUSTRIAL CHARCOAL PRODUCTION - F.A.O. - TCP/CRO/3101 (A) Development of a sustainable charcoal industry – June 2008, Zagreb, Croatia	34 p,	très complet sur processus physico-chimiques et techniques industrielles pays développés



## 2 / Filière PERACOD

Numéro réf	Titre, auteur, dates	Type et N° pages	Commentaires
6	Production de « BIOCHARBON » DE <i>TYPHA</i> , PERACOD	2 pages	fiches techniques et vulgarisatrices
7	Note Technique : Carbonisation de biomasses, Carbonisation « 3fûts » - PERACOD, antenne de St Louis		
8	Tests techniques sur des combustibles alternatifs : écocharbon de Typha, charbon de récupération (poussier de charbon de bois), briquettes de coque d'arachide non carbonisées – CERER, OCTOBRE 2007	30 p	Intéressant, mais les tests ont été réalisés avec des charbons trop humides et les comparaisons ne sont pas toujours significatives
9	Etude finale sur la faisabilité technico-économique du développement d'une filière de valorisation du Typha australis en combustible domestique par la technologie de carbonisation « 3fûts » dans le delta du fleuve Sénégal - PERACOD / GTZ en partenariat avec SAED, Nov 2006		
10	Tests de cuisine comparés Charbon de bois et Biocharbon, agglomération par «Rotor Press», 2 liants : l'argile et la farine – PERACOD / GTZ, Novembre 2006	6 p	tests de cuisson bien menés, exposé méthodologie et résultats probants mais limités au biocharbon Peracod
11	Test d'acceptabilité de briquettes de typha et de balle de riz, Projet Bio-Charbon du PERACOD, PERACOD / GTZ	Powerpoint, env 20 p	Intéressant, mais peu lisible (fichier altéré)

### 3 / Filière PRO-NATURA

Numéro réf	Titre, auteur, dates	Type et N° pages	Commentaires
12	Charbon Vert, innover pour le développement durable, PRO-NATURA Int, Janvier 2009	6 p	document de base sur la technologie Pro-Nat et le bilan carbone, manque de données chiffrées sur le produit lui-même
12a	Lettre de Pro-Natura décembre 2008 - Lutter contre les changements climatiques et augmenter la productivité agricole avec le charbon ver	6 p	document reprenant certaines parties du précédent, plus complet sur la présentation projet « Biochar »
13	Pro-Natura Newsletter December 2008 - Fighting Climate Change with Green charcoal and increasing Agricultural Productivity		
14	UNFCCC: Clean Development mechanism, Project Design Document Form (CDM-SSC-PDD) 22 Dec 2006	63 p	Dossier Technique d'acceptation du projet Pro-Natura, très technique notamment calcul des réductions d'émissions de C
15	Découverte: Terra preta, terre noire : la fertilité retrouvée		Voir site <a href="http://www.terracarbona.org">www.terracarbona.org</a>

### 4 / Filière BRADES

Numéro réf	Titre, auteur, dates	Type et N° pages	Commentaires
16	Présentation BRADES-MERS 2008	Powerpoint 13p	présentation de la société

## 5 / Jatropha :

Numéro réf	Titre, auteur, dates	Type et N° pages	Commentaires
17	Site : <a href="http://www.jatropha.org">www.jatropha.org</a>	Site webb	Très intéressant et détaillé, notamment sur les usages de l'huile (éclairage, cuisson, savon ,autres)
18	<a href="http://www.eco-carbon.com">www.eco-carbon.com</a>	Site webb Pro-Natura Int	
19	Traverses : Actes de la journée d'étude organisée par le Groupe initiatives le 25 juin 2008 - Les agrocarburants : opportunités et menaces pour les populations du Sud	44 p	très intéressant, notamment aspects agro – socio - économiques
20	Notes CA , n°47 : Utilisation des savoirs locaux sur le Jatropha Utilisation de l'huile de Jatropha Curcas comme matière première et carburant (Août 2002)	4 p	informations générales, intéressant
21	Institut Français des Huiles Végétales : les huiles végétales, 2000 plantes oléagineuses répertoriées	3 p (extraits)	données chiffrées sur nombreuses huiles végétales dont Jatropha
22	Un biocarburant malien : le pourghère, Par Mélanie, 11 janvier 2008 : Blog des sciences buissonnières		Vulgarisation
23	Jatropha.forumactif.com - Conseils pour la culture de Jatropha		
24	Jatropha.forumactif.com – Utilisation des tourteaux de jatropha		

## 6 / Typha, généralités :

Numéro réf	Titre, auteur, dates	Type et N° pages	Commentaires
26	Etude pour la restauration du réseau hydraulique du Bassin du Fleuve Sénégal RAPPORT PHASE I – Version provisoire – AGRER / OMVS-SOGED	Grosse étude, 3 vol	rapport fondamental sur le typha, son écologie, ses nuisances, les méthodes de lutte

## 7 / Bilan carbone

Numéro réf	Titre, auteur, dates	Type et N° pages	Commentaires
27	<a href="http://www.thermoptim.org">www.thermoptim.org</a> Fiche-guide de TD pour le calcul des émissions de CO2 dans les cycles à combustion		
	Voir également ref . 12 et 14		

## Annexe 1

**Tableau de conversion d'unités**

Thermie	cal	Kcal	J	KJ	MJ	Wh	Kwh
	239	0.239		1			
1	106	0.106		4186	4.1855		
	1	0.001	4.186				
				1000	1		0.278
			3600	3.6		1	
	1000	1				1.163	0.0012
		0.860		3600	3.60	1000	1

$$1 \text{ Kcal/Kg} \times 4.18 \times \text{densité} = 1 \text{ KJ/l}$$