

# Terra preta



*Terra preta*

La **terre noire** (*terra preta* en portugais) est un type de sol sombre d'origine humaine et d'une fertilité exceptionnelle due à des concentrations particulièrement élevées en charbon de bois, matière organique et nutriments tels que azote, phosphore, potassium, et calcium<sup>[1]</sup>. Il contient aussi une quantité remarquable de tessons de poterie<sup>[2]</sup>, et l'activité micro-organique y est des plus développées.

Ces sols ont été créés par l'homme entre -800 et 500<sup>[3]</sup>, et sont d'origine précolombienne. Des milliers d'années après sa création, il est si réputé au Brésil qu'il est récolté et vendu comme terreau à poter (voir pédologie). Sa profondeur peut aller jusqu'à 2 mètres. Qui plus est, le récolter ne réduit pas son abondance<sup>[réf. nécessaire]</sup>. Les fermiers ont découvert qu'il se renouvelle à la vitesse d'un centimètre par an<sup>[4]</sup>.

Les étendues de terra preta sont généralement entourées de sols infertiles, principalement l'oxisol<sup>[1]</sup>, mais aussi ferralsols, acrisols et arénosols<sup>[5]</sup>.

## 1 Principales propriétés

La *terra preta* est un mélange complexe de terrain "naturel" (jaune ou rougeâtre et aride, dans le cas de l'Amazonie), de charbon, de fragments d'objets de poterie, de déchets organiques tels que les résidus de récolte, déjections animales et des os de poisson, et enfin de milliers d'organismes différents<sup>[6]</sup>.

La *terra preta* est très fertile, ce qui est une anomalie par rapport aux sols peu productifs de la forêt amazonienne<sup>[7]</sup>. Bien que les sols amazoniens exigent normalement des périodes de jachère entre 8 et 10 ans, six mois

de repos peuvent suffire avec la *terra preta* au sol pour récupérer<sup>[7]</sup>. Dans au moins un cas, on sait qu'un sol de ce type a été en culture continue depuis plus de 40 ans sans apport externe d'engrais<sup>[8]</sup>.

## 2 Localisation

On trouve ce sol principalement en Amazonie, où Sombroek *et al.*<sup>[9]</sup> estiment que ces terres occupent une surface d'au moins 0,1 - 0,3 %, ou 6 300 à 18 900 kilomètres carrés de basse Amazonie enforestée (cité par Denevan et Woods<sup>[10]</sup>), mais d'autres estiment cette surface à 1,0 % ou plus (deux fois la surface de la Grande-Bretagne)<sup>[4]</sup>. Leur distribution s'étend principalement le long des voies d'eau, de l'Amazonie de l'est au bassin central de l'Amazonie<sup>[11]</sup>.

On connaît également des sites de terra preta dans d'autres régions d'Amérique du Sud (Équateur, Pérou, Guyane)<sup>[12]</sup>, en Afrique de l'Ouest (Bénin, Libéria), et dans les savanes d'Afrique du Sud<sup>[1]</sup>.

La terra preta existe en petites surfaces avoisinant 20 hectares, mais on a aussi signalé l'existence de surfaces de 350 hectares<sup>[10]</sup>. On les trouve dans des situations climatiques, géologiques et topographiques variées<sup>[10]</sup>.

## 3 Histoire de sa redécouverte

### 3.1 XVI<sup>e</sup>-XX<sup>e</sup> siècles

La redécouverte de la terra preta passe par celle des ouvrages en terre de la région, et de la civilisation qui les a élaborés. En effet, le débat a jusqu'à ces récentes années tourné autour de la question de subsistance : les sols d'Amazonie, généralement pauvres et lessivés, ont-ils ou non pu subvenir aux besoins alimentaires de populations denses ?

- 1541 : départ de la première expédition européenne de découverte de l'Amazonie ; Francisco de Orellana descend le fleuve. L'expédition parle à son retour d'une région à l'agriculture riche et sophistiquée, à haute densité démographique, où la population habite aussi bien des fermes isolées que de grands villages entourés de hauts murs<sup>[13]</sup>. Ses chroniques décrivent également ces villages reliés entre eux par des réseaux de commerce étendus, et des chefs dont

le statut s'apparente à celui de la nobilité<sup>[14]</sup>. La légende naît d'un « pays de l'Eldorado ».

Les expéditions subséquentes ne trouvent que quelques tribus isolées de chasseurs-cueilleurs principalement nomades, et une organisation sociale et politique presque aussi limitée que l'agriculture. C'est la disgrâce pour Orellana, et l'opinion publique européenne est fixée pour les quatre siècles suivants sur l'idée d'une région à potentiel de développement culturel limité par l'environnement<sup>[13]</sup> – ce que Michael Heckenberger appellera « le mythe des sauvages de l'âge de Pierre restés à l'aube des temps »<sup>[14]</sup>.

Pourtant, tout au long de cette période de plus de 400 ans des récits divers émergent occasionnellement, pour retomber aussitôt dans l'oubli de l'histoire. Ce sont principalement des compte-rendus de jésuites (anonymes fin XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècles, et 1743 ; Equiluz 1884 ; Eder 1888 ; Altamirano 1891), qui dirigèrent la région de 1668 à 1767 et décrivent les peuples indigènes, leurs coutumes, les paysages locaux et la vie des missions coloniales. La région était notée pour sa richesse agricole, notamment pour le cacao et le coton. Contrairement à bien des régions de l'Amazonie, les Baures ne souffrirent apparemment pas d'effondrement démographique jusqu'à la mort du missionnaire Cipriano Barace (es) tué en 1703 ; à la suite de quoi les Espagnols dispersèrent les communautés indigènes en une écrasante répression de guerre et d'esclavage. Après 1708, les missionnaires regroupèrent les survivants en plusieurs centres urbains, les principaux étant Concepción de Baures (la présente ville de Baures) et San Martín<sup>[13]</sup>.

- 1865–66 : Expédition Louis Agassiz en Amazonie.
- À partir de 1867 : Établissement local de familles d'ex-soldats de la Guerre Civile des Confédérés.
- 1870 : Le géologue et explorateur américain James Orton, professeur à Vassar, mentionne un sol « noir et très fertile » en Amazonie, dans son livre *The Andes and the Amazon* dédié à Charles Darwin qui avait correspondu avec lui. Puis en 1874 vient le rapport sur ces sols écrit par le géologue canadien Charles Frederick Hartt (en), celui de son assistant Herbert Smith<sup>[15]</sup> en 1879, et celui des géologues britanniques Brown et Lidstone (1878). Ces rapports concernent particulièrement la région de Santarém<sup>[Laquelle ?]</sup> en basse Amazonie. Cet afflux soudain d'informations provient d'une part de ce que Hartt<sup>[16]</sup> fut membre de l'expédition Louis Agassiz en 1865-66, et d'autre part de l'établissement des ex-soldats dans cette région<sup>[10]</sup>.
- 1916-1918 : Nordenskiöld relate des vestiges de villages entourés de fossés et de plusieurs larges avenues et canaux, dans la région des Baures (une région au nord-est de la Bolivie et en bordure du bassin amazonien, aux sols naturels tout aussi pauvres que le reste des sols naturels d'Amazonie).

- Années 1950 : La vision des « Smithsonianiens » (principalement Betty J. Meggers, archéologue, et Evans, du *Smithsonian Institute*) prévaut d'une région incapable de subvenir aux besoins d'une population dense, et donc limitant le développement d'une société complexe<sup>[14]</sup>.
- Fin des années 1950 : Lee (1979, 1995) et Pinto Parada (1987) découvrent de larges vestiges de réseaux d'avenues, de canaux et de groupements d'habitations, dans les pampas entre le Rio San Joaquin et le Rio San Martín (le « Complexe Hydraulique des Baures »). Lee et Botega survolèrent la région de nombreuses fois avec des scientifiques et des journalistes pour faire connaître ces constructions, mais les vestiges ne furent pas examinés au sol par les archéologues<sup>[13]</sup>.
- 1961 : Pour sa thèse de géographie, William Denevan fait son premier voyage dans une région de l'Amazonie bolivienne appelée le Beni. Situé entre les montagnes des Andes et le Rio Guaporé (un affluent majeur de l'Amazonie), isolé, presque inhabité et quasi sans routes, les saisons y sont marquées par un fort contraste sec/pluies. En 1966, Denevan décrit plusieurs avenues et canaux encore en usage par les habitants des Baures, et les villages entourés de fossés dans les Baures et à Magdalena<sup>[13]</sup>.
- Années 1960 : Donald Lathrap, archéologue à l'Université d'Illinois, se base sur des indices linguistiques et les céramiques pour présenter l'hypothèse que la confluence des rivières Amazone, Rio Negro et Madeira, fut le centre d'une civilisation avancée qui s'étendit des Caraïbes jusqu'au sud du Brésil<sup>[14]</sup>.

### 3.2 Reconnaissance scientifique : fin du XX<sup>e</sup> siècle

- 1966 : W. Sombroek publie *Amazon soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region*, son premier ouvrage sur le potentiel de la terra preta comme régénérateur de sols et outil de séquestration du carbone (W. G. Sombroek, *Interciência* 17, 269–272)<sup>[13]</sup>.
- 1984–85 : Dougherty et Calandra conduisent une série d'excavations-tests pour des recherches archéologiques dans la ville de Baures et le long du Rio Negro et du Rio Blanco. Ils cherchent à construire une chronologie de la région à l'aide des tessons de poterie<sup>[13]</sup>.
- Début des années 1990 : l'anthropologue Michael Heckenberger (Université de Floride à Gainesville) découvre que les Kuikuro, une tribu indigène dans la région du haut Xingu environ 600 miles au sud-est de Manaus, ont une structure de classe dirigeante (aristocratie héréditaire) plus complexe que celle

correspondant à un groupe de seulement 300 personnes. Ceci suggère que cette population était dans le passé plus nombreuse et plus sophistiquée qu'à présent. Au-delà des bordures du village il trouve des vestiges d'une civilisation antérieure : une très large place, des routes, des avenues, des canaux et des ponts. Vers le milieu des années 1990, Heckenberger invite James B. Petersen, son ancien professeur et un expert en céramiques, sur son terrain de recherches. Lors d'une exploration au-delà du camp, Heckenberger rencontre sur une berge du Rio Negro une zone de terra preta s'étendant sur trois kilomètres le long du Rio Negro. Dans les mois qui suivent, Heckenberger et Petersen lancent le « Central Amazon Project » avec Eduardo G. Neves<sup>[14]</sup>.

- Années 1990 : une équipe américano-bolivienne menée par Clark Erickson commence la première recherche archéologique long-terme sur les vestiges de constructions en terre de la région des Baures. Il découvre une quantité énorme de tessons de poterie associée à la terra preta. Un troisième archéologue, William Woods, de l'université de l'Illinois (SIU), retrouve les mêmes débris de poterie le long de la rivière Tapajos.
- 1995 : Le « Central Amazon Project » commence ses recherches *in situ* à Açutuba, pour s'étendre en onze ans sur 30 km<sup>2</sup> de la péninsule séparant le Rio Negro et le fleuve Amazone. Sur plus de 100 sites, Peterson et ses collègues découvrent des preuves de l'existence de civilisations disparues bien plus avancées, plus inter-connectées, et aux populations bien plus denses que l'on ne pensait auparavant des bandes de chasseurs-cueilleurs nomades locales. Les communautés pré-colombiennes de cette région du cœur de l'Amazone possédaient des routes, une agriculture, des systèmes d'irrigation, un management du sol, des céramiques, et un commerce développé. À la différence des autres cultures natives sud-américaines telles celles ayant habité Chaco Canyon et Mesa Verde, les communautés de l'Amazone ne disposaient cependant pas de pierre pour leurs constructions ; les structures bâties en bois se sont donc désintégrées avec le temps. Ainsi le seul legs de cette civilisation amazonienne est la terra preta. Le groupe abandonne la théorie de Meyer et adopte celle de Donald Lathrap<sup>[14]</sup>.
- 1996 : Anna C. Roosevelt du Chicago's Field Museum, publie des preuves démontrant que des sociétés évoluées ont colonisé la várzea (les plaines inondables d'Amazonie) et les coteaux (bluffs) qui l'entourent (Science, 19 avril 1996, p. 346 et 373 ; 13 décembre 1996, p. 1821). Cité dans *Earthmovers of the Amazon* par Charles C. Mann<sup>[13]</sup>.

Les archéologues sont dorénavant persuadés que l'Amazonie abrita jusqu'à l'arrivée des Espagnols une

véritable civilisation, aussi développée que celles des Mayas ou des Incas<sup>[réf. nécessaire]</sup>. Selon Denevan, la région abritait « l'une des populations les plus denses et une culture parmi les plus élaborées en Amazonie » (cité dans *Earthmovers of the Amazon* par Charles C. Mann<sup>[13]</sup>), tout aussi sophistiquée que les cultures Aztèque, Inca et Maya bien que radicalement différente de celles-ci.

Ils auraient appliqué une pratique d'entretien du sol destinée à transformer un sol jaune argileux de productivité biologique limitée, en l'un des sols les plus riches de la planète. Selon William Balée, anthropologue de l'Université Tulane à La Nouvelle-Orléans, les étendues de forêt tropicale entre les zones de savane sont principalement voire entièrement anthropogéniques – une notion ayant des implications considérables pour l'agriculture en général, et la conservation future de la région en particulier. Pour Robert Langstroth, géographe culturel ayant obtenu son doctorat en 1996 à la University of Wisconsin sous la direction de Denevan, « le Llanos de Mojos représente l'un des paysages préhistoriques les plus extraordinaires de la planète. La question est de savoir dans quelle mesure celui-ci est anthropogénique et à quel point la partie anthropogénique a affecté la nature »<sup>[13]</sup>.

## 4 Pédologie

Article connexe : Pédologie.

La Terra Preta est définie comme un type de latosol, qui a un taux de carbone allant d'élevé à très élevé (plus de 13 - 14 % de matière organique) dans son horizon A, mais sans caractéristiques hydromorphiques<sup>[17]</sup>. La composition de la terra preta présente des variantes importantes. Par exemple, les jardins attenants aux habitations recevaient plus de nutriments que les champs plus éloignés<sup>[18]</sup>.

La capacité de la terra preta d'accroître son propre volume - donc de séquestrer plus de carbone - a été 'découverte' par le pédologue William I. Woods de l'Université d'Illinois<sup>[4]</sup>. Ce mystère, le « Graal » de la terra preta, est activement étudié par les différents acteurs scientifiques concernés.

Les processus responsables de la formation des sols de terra preta sont<sup>[5]</sup> :

- (1) l'incorporation de charbon de bois,
- (2) l'incorporation de matières organiques et de nutriments,
- (3) le rôle des micro-organismes et des animaux du sol.



*Terra preta*

## 4.1 Incorporation de charbon de bois

### 4.1.1 Méthode d'identification du charbon dans la terra preta

La transformation de la biomasse en charbon produit une série de dérivés charbonneux désignés sous le nom de carbone noir ou pyrogénique, dont la composition varie ; allant de matière organique légèrement carbonnée, jusqu'à des particules de suie très graphitées formées par la recombinaison de radicaux libres (Hedges *et al.* 2000)<sup>[19]</sup>. Ici, tous les types de matériaux charbonneux sont appelés charbon. Par convention, est considérée comme charbon la matière organique naturelle transformée thermiquement avec un pourcentage O/C (rapport oxygène/carbone) de moins de 0,6<sup>[19]</sup> (des valeurs plus petites ont cependant été suggérées<sup>[20]</sup>). À cause des interactions possibles avec les minéraux du sol et la matière organique, il est quasiment impossible d'identifier le charbon avec sûreté en le déterminant uniquement par le simple pourcentage O/C. Le pourcentage H/C (rapport hydrogène/carbone)<sup>[21]</sup> ou des marqueurs moléculaires comme l'acide benzène polycarboxylique<sup>[22]</sup> sont donc utilisés comme seconde dimension d'identification<sup>[5]</sup>.

### 4.1.2 Le charbon dans la terra preta

Du carbone a été ajouté aux sols pauvres, sous forme de charbon de bois fabriqué à basse température et en présence d'une quantité d'oxygène limitée (à l'aide de feu étouffés). William Woods (Université du Kansas, à Lawrence), expert en sites d'habitations abandonnés, a mesuré dans la terra preta jusqu'à 9 % de carbone noir (contre 0,5 % pour les sols environnants)<sup>[23]</sup>. B. Glaser *et al* ont trouvé jusqu'à 70 % de carbone de plus que dans les Ferralsols avoisinants<sup>[5]</sup>, avec des valeurs moyennes approx. de 50 mg/ha/m<sup>[24]</sup>.

La chercheuse finlandaise Janna Pitkien a mené des tests sur des matériaux à haute porosité tels que la zéolite, le carbone activé et le charbon. Ces tests montrent – contrairement à ses attentes - que la croissance microbienne est

substantiellement améliorée avec le charbon. Il est possible que ces petits morceaux de charbon tendent à migrer à l'intérieur du sol, fournissant un habitat pour les micro-organismes qui assimilent la biomasse de la couverture de surface<sup>[25]</sup>.

La structure chimique du charbon dans les sols de terra preta est caractérisée par des groupes aromatiques polycondensés, à qui sont dus d'une part la stabilité biologique et chimique prolongée combattant la dégradation microbienne ; et d'autre part, après oxydation partielle, la plus grande rétention de nutriments<sup>[5]</sup>.<sup>[24]</sup> Le charbon de bois (mais non celui d'herbacées ou de charbon de matériaux à haute teneur en cellulose) fabriqué à basse température, a donc une couche interne de condensats d'huiles biologiques que les microbes consomment et qui est similaire à la cellulose de par ses effets sur la croissance microbienne (Christoph Steiner, EACU 2004). Le charbonnage à haute température fait perdre cette couche et accroît peu la fertilité du sol<sup>[4]</sup>. Glaser *et al.* (1998<sup>[22]</sup> et 2003<sup>[26]</sup>) et Brodowski *et al.* (2005<sup>[27]</sup>) ont démontré que la formation de structures aromatiques condensées dépend du processus de manufacture du charbon. C'est l'oxydation lente du charbon qui crée des groupes carboxyliques ; ceux-ci augmentent la capacité d'échange des cations dans le sol<sup>[28]</sup>.<sup>[29]</sup> Lehmann *et al* ont étudié le noyau des particules de carbone noir produit par la biomasse. Ils l'ont trouvé hautement aromatique même après des milliers d'années d'exposition dans le sol et présentant les caractéristiques spectrales du charbon frais. Autour de ce noyau et sur la surface des particules de carbone noir ont cependant été identifiées de bien plus larges proportions de formes de C carboxyliques et phénoliques spatialement et structuralement distinctes du noyau de la particule. L'analyse des groupes de molécules fournit des évidences à la fois pour l'oxydation de la particule de carbone noir même, aussi bien que pour l'adsorption de carbone non-noir<sup>[30]</sup>.

Ce charbon est ainsi décisif pour le caractère durable de la culture sur sols de terra preta<sup>[8]</sup>.<sup>[28]</sup> Des amendements de Ferrasol avec du charbon de bois augmentent considérablement la productivité végétale<sup>[11]</sup>. Les sols agricoles ont perdu en moyenne à 50 % de leur carbone à cause de l'agriculture intensive et d'autres dégradations d'origine humaine<sup>[4]</sup>.

## 4.2 Incorporation de matières organiques et de nutriments

Le charbon est micro-poreux, et un gramme de charbon activé (par ex. passé à la vapeur, qui ouvre les pores du charbon) développe une surface totale de plus de 500 m<sup>2</sup> et pouvant aller jusqu'à 1 500 m<sup>2</sup>. Cette structure offre non seulement des facultés d'adsorption exceptionnelles bien connues<sup>[31]</sup>, mais aussi un habitat privilégié pour les micro-organismes.

La porosité du charbon de bois amène une plus grande

rétenion de matière organique, d'eau et de nutriments organiques dissous<sup>[28]</sup>, ainsi que des polluants comme des pesticides et des hydrocarbures aromatiques polycycliques<sup>[32]</sup>.

#### 4.2.1 Matière organique

Le potentiel élevé de sorption des molécules organiques (et d'eau) est dû à la structure poreuse du charbon<sup>[5]</sup>. Les sols de terra preta, contenant ces grandes quantités de charbon, sont donc également caractérisés par une plus grande concentration de matière organique (en moyenne trois fois plus de matière organique que dans les sols pauvres environnants<sup>[5],[24],[29],[33]</sup>), jusqu'à 150 g/kg<sup>[11]</sup>. On peut trouver la matière organique à des profondeurs de 1 à 2 m<sup>[17]</sup>. Gerhard Bechtold propose de ne parler de Terra Preta qu'en présence, à 50 cm de profondeur, d'un taux de matière organique minimum supérieur à 2,0 ou 2,5 %. L'accumulation de matière organique dans les sols tropicaux humides est un paradoxe, à cause des conditions optimum de dégradation<sup>[24]</sup>. Il est remarquable que ces anthroposols se régénèrent malgré les conditions tropicales humides prévalentes et les taux de minéralisation rapides<sup>[11]</sup>. Il a été démontré que la stabilité de la matière organique est en grande partie due aux résidus de la combustion incomplète de la biomasse<sup>[24]</sup>.

#### 4.2.2 Nutriments

Les sols de terra preta montrent aussi des quantités de nutriments plus élevées et une meilleure rétenion de ces nutriments, que les sols environnants infertiles<sup>[24]</sup>. La proportion de P présent atteint 200 - 400 mg/kg<sup>[8]</sup>. La quantité de N s'est également montrée plus grande dans l'anthroposol, mais ce nutriment a été immobilisé dû à la proportion élevée de C par rapport à l'N dans le sol<sup>[11]</sup>.

L'anthroposol montre une disponibilité de P, Ca, Mn, et Zn clairement plus élevée que le Ferrasol voisin. L'absorption de P, K, Ca, Zn, et Cu par les plantes augmente lorsqu'on augmente la quantité de charbon disponible ; la production de biomasse pour deux récoltes étudiées (riz et *Vigna unguiculata* (L.)Walp.) a augmenté de 38 - 45 % sans fertilisation ( $P < 0,05$ ), par rapport à des récoltes faites dans du Ferrasol fertilisé<sup>[11]</sup>.

Amender avec des bouts de charbon d'approximativement 20 mm, au lieu de charbon réduit en poudre grossière, n'a pas changé les résultats d'une expérience sauf pour le manganèse (Mn), dont l'absorption a considérablement augmenté<sup>[11]</sup>.

Le drainage de nutriments est minimal dans l'anthroposol malgré leur abondante disponibilité. Ceci explique leur fertilité élevée. Cependant, lorsque des nutriments inorganiques sont appliqués au sol, le drainage de nutriments dans l'anthroposol excède celui dans le Ferrasol fertilisé<sup>[11]</sup>.

Pour les sources potentielles de nutriments, seuls le C (via la photosynthèse) et l'N (par fixation biologique) peuvent être produits *in situ*. Tous les autres éléments (P, K, Ca, Mg...) doivent être présents dans le sol. En Amazonie, l'approvisionnement de nutriments par compostage *in situ* est exclu pour les sols naturels lourdement lessivés (Ferralsols, Acrisols, Lixisols, Arénosols, Uxisols...) qui ne contiennent pas de concentrations élevées de ces éléments. Dans le cas de la terra preta, seules sont possibles les sources de nutriments primaires et secondaires. On a trouvé les éléments suivants<sup>[24]</sup> :

- (1) excréments humains et animaux (riches en P et N),
- (2) rebuts tels que des os de mammifères, arêtes de poissons, carapaces de tortues (riches en P et Ca),
- (3) résidus de cendres de combustions incomplètes (riches en Ca, Mg, K, P et charbon),
- (4) biomasse de plantes terrestres (ex : compost),
- (5) biomasse de plantes aquatiques (ex : algues).

La saturation en pH et en base est plus importante que dans les sols environnants<sup>[34],[8]</sup>.

### 4.3 Le rôle des micro-organismes et des animaux du sol

Les micro-organismes et champignons vivent et meurent à l'intérieur du média poreux, augmentant ainsi sa quantité de carbone. Johannes Lehman et W. Zech, Bruno Glaser à l'Université de Bayreuth (Allemagne) et Embrapa (Manus, Brésil) étudient ces phénomènes.

Les pores du charbon frais doivent d'abord « être chargés » avant de commencer à fonctionner en tant que biotope<sup>[35]</sup>.

En date de 2008, il n'y a aucune preuve scientifique qu'un micro-organisme particulier soit responsable de la formation de Terra Preta, mais une production significative de carbone noir d'origine biologique a été identifiée, spécialement sous conditions tropicales humides<sup>[36]</sup>. Dans ces travaux il est supposé que *Aspergillus niger* en est le principal responsable. Les travaux de Topoliantz et Ponge, résumés dans un article synthétique<sup>[37]</sup>, montrent que le ver de terre *Pontoscolex corethrurus*, largement présent dans toute l'Amazonie, notamment dans les clairières après brûlis, était capable d'incorporer des particules de charbon de bois au sol minéral et de les broyer finement pour produire un humus particulier<sup>[38]</sup>. Ces auteurs, qui ont pu vérifier expérimentalement ce processus, pensent qu'il est à l'origine de la formation biologique des Terra Preta, associée à un savoir agronomique mettant en œuvre le dépôt de charbon de bois en une mince couche régulière favorable à son enfouissement par *Pontoscolex corethrurus*.

## 5 Séquestration de carbone et productivité

### 5.1 Productivité

Les sols de terra preta sont très populaires auprès des locaux, qui les utilisent pour des cultures à haut rendement économique telles que la papaye et la mangue<sup>[1]</sup>, ou le collectent pour le vendre comme terreau à potier<sup>[5],[39]</sup>. B. Glaser estime que la productivité des récoltes dans la terra preta est de deux<sup>[40]</sup> à trois<sup>[1]</sup> fois celle des sols voisins infertiles. Les jachères y sont réduites parfois seulement à six mois, alors que celles pour l'oxisol sont généralement de 8 à 10 ans<sup>[8]</sup>. De nombreuses études au Brésil, Thaïlande, Japon et bien d'autres, ont montré des accroissements de productivité des récoltes de l'ordre de 20 - 50 %, associés à des accroissements de biomasse totale allant jusqu'à 280 %<sup>[4]</sup>. D'après Beata Madari (Association Brésilienne de Recherches Agricoles) et d'autres scientifiques, la fertilité associée à la terra preta pourrait justifier la promotion de ce mode d'agriculture (citée dans le magazine Science News<sup>[18]</sup>).

### 5.2 Séquestration du carbone

Article détaillé : [Séquestration du carbone](#).

Notons tout d'abord que planter des arbres n'est en soi qu'une solution à court terme pour la séquestration effective de carbone, puisque lors de la destruction de ceux-ci le carbone qu'ils ont séquestré est relâché dans l'atmosphère. Le bilan de cette opération est donc neutre sur le plan de séquestration de carbone. Par contre, transformer les arbres en charbon (qui est en théorie composé quasi uniquement de carbone) et enterrer ce charbon, amène de fait un bilan négatif (plus de carbone séquestré que relâché)<sup>[4]</sup>. Le défrichage par brûlis (le *slash-and-burn*) relâche dans l'atmosphère environ 97 % du carbone accumulé par la végétation. Par contre le défrichage avec feux couverts pour la production de charbon (le *slash-and-char*) ne relâche qu'environ 50 % de ce carbone (Lehmann, cité dans le magazine Science News<sup>[18]</sup>). Du charbon de bois correctement préparé peut augmenter les récoltes et séquestrer du carbone pour des milliers d'années (5 000 ans selon l'estimation de Dan Gavin, chercheur en datation au carbone à l'Université d'Illinois)<sup>[4]</sup>.

De plus, les propriétés de renouvellement de la terra permettent de séquestrer encore plus de carbone grâce à l'augmentation de la biomasse végétale et de la population fongique et microbienne<sup>[4],[18]</sup>.

## 6 Applications industrielles présentes

Le docteur Ogawa, de Kansai Environmental au Japon (une division de Kansai Power, le deuxième plus grand producteur électrique de ce pays), a présenté les recherches de son équipe sur l'addition de charbon au sol. Leurs travaux, sur 15 ans d'études, ont étudié les causes des effets du charbon sur le sol, et ont amené le gouvernement japonais à approuver le charbon comme pratique officielle de gestion des sols. Kansai Electric fonde une plantation de recherche en reforestation en Australie de l'ouest (aride) avec Syd Shea, produisant du charbon et le retournant au sol pour augmenter les récoltes en milieu défavorisé<sup>[4]</sup>.

## 7 Annexes

### 7.1 Bibliographie

- (en) *Amazonian Dark Earths : Origins, Properties, Management*, par J. Lehmann, D.C. Kern, B. Glaser et W.I. Woods. 2003. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 523p. Ce livre est un condensé des connaissances présentes sur la terra preta, écrit en collaboration avec des scientifiques de spécialités diverses (archéologues, pédologues, etc). Il est inspiré par et dédié à Wim Sombroek : scientifique respecté, Secrétaire Général de la Société Internationale de Science du Sol de 1978 à 1990, il était fasciné par ces sols dès le début de sa carrière et devint un moteur du mouvement de recherche et diffusion de la connaissance sur la terra preta. M. Sombroek a aussi contribué au livre cité, avant son regretté décès en 2003 - l'année même de la publication de cet ouvrage qui fait à ce jour autorité en la matière.
- (en) *Time and Complexity in Historical Ecology - Studies in the Neotropical Lowlands*, par William L. Balée et Clark L. Erickson, juin 2006. Cette collection d'études par des anthropologues, botanistes, écologistes et biologistes, met l'emphase sur la relation étroite entre les humains et leur environnement naturel par le biais de l'écologie historique ; notamment comment les paysages ont été aménagés et la diversité des espèces modifiée tout en conservant son hétérogénéité et en contrôlant les perturbations écologiques, sur les régions des Andes de l'Équateur, d'Amazonie, la côte désertique du Pérou, et d'autres régions tropicales.
- La section "Pédologie" (voir supra) est principalement tirée des travaux de Bruno Glaser *et al.*, notamment *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*<sup>[5]</sup> ; et ceux de Johannes Lehmann *et al.*<sup>[8]</sup>. Ces deux scientifiques travaillent à

Bayreuth (Allemagne) et Cornell (Ithaca, NY, États-Unis) respectivement, et ont collaboré ensemble sur un certain nombre d'articles clés, notamment *Organic chemistry studies on Amazonian Dark Earths*, dans *Amazonian Dark Earths : origin, properties, and management* (2003)<sup>[26]</sup>, *Slash-and-char : a feasible alternative for soil fertility management in the Central Amazon ?* (2002)<sup>[41]</sup>, *Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin : fertilizer, manure and charcoal amendments*, (2003)<sup>[11]</sup>. Leur principal ouvrage reste toutefois le livre *Amazonian Dark Earths : Origins, Properties, Management*<sup>[42]</sup>, écrit en collaboration avec D.C. Kern et W.I. Woods, et avec les contributions de scientifiques de spécialités diverses (archéologues, pédologues, etc) incluant de nombreux rapports jusque là non publiés, ou publiés seulement en portugais donc non accessibles à un public international.

## 7.2 Articles connexes

- Agrochar
- Biochar
- Carbone
- Carbonisation
- Charbon activé
- Forêt amazonienne
- Humus
- Pédologie
- Pyrolyse
- Rapport C/N
- Tchernoziom

## 7.3 Liens externes

- (fr) *Terra preta : une civilisation disparue au secours de l'agriculture moderne ?*.
- (fr) *Terra Preta - Le charbon de bois, engrais du Passé... et du Futur*.
- (en) *Network activities on Amazonian Dark Earths*, ce site (commencé en 2001) liste des expérimentations par un groupe de scientifiques spécialisés sur le sujet.
- (en) *The Real Dirt on Rainforest Fertility* ou *The Real Dirt on Rainforest Fertility*, analyse par William Devenan, géographe *emeritus* à l'Université de Wisconsin, Madison. Publié en article dans le magazine Science le 9 août 2002.

- (en) *The Terra Preta phenomenon : a model for sustainable agriculture*. *Naturwissenschaften* (2001)] (Le phénomène de la terra preta : un modèle pour une agriculture renouvelable.)
- (en) *Putting the carbon back : Black is the new green*. Article dans le journal Nature 442, 624-626, 10 août 2006, *Noir est le nouveau vert*. Lien vers copie gratuite de l'article dans le site de Biopact à la suite et dans le cadre d'une entrée intitulée *Terra Preta : how fuels can become carbon-negative and save the planet*.
- (en) *The Secret of El Dorado - programme summary* Résumé du programme de l'émission diffusée par la BBC le 19 décembre 2002 intitulée *The secret of El Dorado*.
- (en) *How soil carbonization could save the planet while it saves the family farm* (Comment l'encharbonnage du sol peut sauver la planète en même temps que la ferme de famille)
- (en) Faire du charbon à la maison
- (en) Biochar and Terra Preta webpage
- (de) REGENWALD : Terra Preta – Entdeckung des sagenumwobenen El Dorado ?
- (pt) Terra Preta Arqueológica (TPA)
- (nl) Bioenergie : brug naar een post-petroleumtijdperk ?
- Le biochar est-il vert ? par Antoine Cornet et Richard Escadafal, Comité Scientifique Français de la Désertification (CSFD) (fr)
- Portail allemand (en anglais) sur la *Terra preta* (Université de Bayreuth)
- Site brésilien sur la *Terra preta* (Musée d'archéologie)

## 7.4 Notes et références

- [1] (en) Terra Preta Web Site, maintenu par Bruno Glaser de l'Université de Bayreuth.
- [2] (en) *The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from lower Amazon region, Brazil : Mineralogy*, par Marcondes Lima da Costa, Dirse Clara Kern, Alice Helena Eleotério Pinto, *et al.*, magazine *Acta Amazonica*, 2004, vol 34 no 2, p. 165-178 [cité 13 mars 2007]. Étude et analyse poussée des fragments de poterie qui accompagnent la terra preta.
- [3] (en) *Summary of Thesis about Anthrohumox in Brazilian Lowland*, par G. BECHTOLD, 2007.

- [4] (en) *Carbon negative energy to reverse global warming (a posting to Energy Resources Group on Yahoo)*. *Compte-rendu sur le symposium (EACU) en 2004 à l'Université de Georgia à Athens (Georgia, États-Unis). S'y est réuni un groupe de scientifiques aux intérêts très divers : chimie, archéologie, physique, anthropologie, microbiologie, pédologues, agronomes, chercheurs sur les énergies renouvelables, et des représentants du DOE (Department of Environment), de l'USDA (xxx) et de l'industrie. Ordre du jour : observer les évidences d'utilisations massives de carbone dans l'histoire, faire le point sur la recherche présente, et étudier comment l'énergie négative du carbone peut être économiquement déployée aujourd'hui (Voir aussi )*
- [5] (en) *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*, par Bruno Glaser, Institute of Soil Science and Soil Geography, Université de Bayreuth, 95440 Bayreuth, Germany. Publié online le 20 décembre 2006 dans *Philosophic Transactions Royal Society B* (2007) 362, 187–196. doi:10.1098/rstb.2006.1978. Cet article examine les évidences concernant le processus de génération de la terra preta ainsi que les raisons pour lesquelles celle-ci est si supérieure en termes de rétention de matière organique et de nutriments, en comparaison aux sols qui l'entourent.
- [6] Documental *The Secret of Eldorado*. Realizador : David SINGTON. DOX Productions, 2002. Emitido por vez primera por el programa Horizon de la BBC.
- [7] (es) *Recuadro 4 : Terra Preta - ¿manejo orgánico de los suelos? Brasil*, Agricultura orgánica y recursos abióticos. Departamento de Desarrollo Sostenible, FAO, 2001. Consulté le 1<sup>er</sup> mai 2008.
- [8] Lehmann *et al.*, 2003
- [9] (en) *Classification of Amazonian Dark Earths and other Ancient Anthropogenic Soils* par Nestor Kaampf, W.I. Woods, W. Sombroek, D.C. Kern et T.J.F. Cunha. Chapitre 5 de *Amazonian Dark Earths : origin, properties, and management* 2003. (eds J. Lehmann, D. Kern, B. Glaser & W. Woods), Cité dans Lehmann *et al.*, 2003, p. 77-102
- [10] (en) "Discovery and awareness of anthropogenic amazonian dark earths (terra preta)", par William M. Denevan, University of Wisconsin-Madison, et William I. Woods, Southern Illinois University, Edwardsville.
- [11] (en) *Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin : fertilizer, manure and charcoal amendments*, par J. Lehmann, J. Pereira da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech & Bruno Glaser. *Plant and Soil* 249 : 343–357, 2003.
- [12] (en) *Vivre en Guyane - compte rendu succinct de découverte de sites de Terra preta en Guyane*
- [13] (en) *Earthmovers of the Amazon* par Charles C. Mann. Article de la série *News Focus* dans *Science*, 4 février 2000, vol. 287 : 786-789. Cet article présente les recherches archéologiques dans la région du Beni directement liées au renouveau d'attention récent sur la terra preta, ainsi que des photos des reconstructions de ce mode d'agriculture.
- [14] (en) "Black gold of the Amazon", article dans le magazine *Discover*, 2007
- [15] (en) Dans le *Scribner's Monthly*, Herbert Smith décrit la fécondité extraordinaire des plantations de canne à sucre. Il écrit d'une fabrication de rhum que « le champ de cannes lui-même est une vue splendide : bien des tiges de plus de trois mètres (10 feet) de hauteur, et aussi grosses que le poignet... Le secret (en est) la riche terra preta, le « sol noir », le meilleur des Amazones. C'est un loam fin et noir, de 30 centimètres et souvent 60 centimètres d'épaisseur. »
- [16] (en) *Rock stars : Charles Frederick Hartt—A Pioneer of Brazilian Geology*
- [17] (en) Terra Preta - Homepage about Anthrohumox in Brazilian Lowland - Research by Gerhard Bechtold.
- [18] (en) "Smoldered-earth policy – Created by ancient Amazonian natives, dark soils retain abundant carbon." Article par B. Harder dans le magazine *Science News* (www.sciencenews.org), 4 mars 2006, vol. 169, p. 133.
- [19] (en) "The molecularly uncharacterized component of non-living organic matter in natural environments." par J.I. Hedges *et al.*, 2000 *Org. Geochem.* 31, 945–958. (doi:10.1016/S0146-6380(00)00096-6). Cité par B. Glaser dans *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*.
- [20] (en) "The identification of black carbon particles with the analytical scanning electron microscope : methods and initial results." P. Stoffyn-Egli, T.M. Potter, J.D. Leonard & R. Pocklington. 1997. *Sci. Total Environ.* 198, 211–223. (doi:10.1016/S0048-9697(97)05464-8). Cité par B. Glaser dans *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*,
- [21] (en) "Hydrogen-deficient molecules in natural riverine water samples—evidence for the existence of black carbon in DOM." par S. Kim, L.A. Kaplan, R. Benner & P.G. Hatcher. 2004. *Mar. Chem.* 92, 225–234. (doi:10.1016/j.marchem.2004.06.042). Cité par B. Glaser dans *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*,
- [22] (en) "Black carbon in soils : the use of benzenecarboxylic acids as specific markers", par B. Glaser, L. Haumaier, G. Guggenberger & W. Zech. 1998. *Org. Geochem.* 29, 811–819. (doi:10.1016/S0146-6380(98)00194-6). Cité par B. Glaser dans *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*,
- [23] (en) W. Woods & J.M. McCann dans *Yearbook Conf. Latin Am. Geogr.* Vol. 25 (ed. Caviedes, C.) 7–14. (Univ. Texas, Austin, 1999). Cité dans *Putting the carbon back : Black is the new green*, article dans le journal *Nature* 442, 624-626, 10 août 2006. Lien vers copie gratuite de l'article dans le site de Biopact à la suite et dans le cadre d'une entrée intitulée *Terra Preta : how fuels can become carbon-negative and save the planet*
- [24] (en) "The 'Terra Preta' phenomenon : a model for sustainable agriculture in the humid tropics." par B. Glaser, L.

- Haumaier, G. Guggenberger et W. Zech, 2001. *Naturwissenschaften* 88, 37–41 (doi:10.1007/s001140000193). Cité dans *Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon : Compost, fertilizer, manure and charcoal applications*, par J. Major *et al.*
- [25] (en) B. Glaser & K.-H. Knorr, non encore publié, cité dans *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*, par Bruno Glaser
- [26] (en) *Organic chemistry studies on Amazonian Dark Earths*, par B. Glaser, G. Guggenberger et W. Zech. Chapitre 12 de *Amazonian Dark Earths : origin, properties, and management*, 2003. (eds J. Lehmann, D. Kern, B. Glaser & W. Woods), p. 227–241. Dordrecht, The Netherlands : Kluwer.
- [27] (en) “Black carbon assessment using benzenepolycarboxylic acids : revised method”, par S. Brodowski, A. Rodionov, L. Haumaier, B. Glaser & W. Amelung. 2005. *Org. Geochem.* 36, 1299–1310. (doi:10.1016/j.orggeochem.2005.03.011).
- [28] (en) *Stability of soil organic matter in Terra Preta soils* par Bruno Glaser, Ludwig Haumaier, Georg Guggenberger et Wolfgang Zech, Institut de Sciences des Sols, University of Bayreuth, D-95440 Bayreuth, Germany.
- [29] (en) “Ecological aspects of soil organic matter in tropical land use. In *Humic substances in soil and crop sciences. Selected readings*”, par W. Zech, L. Haumaier et R. Hempfling. 1990 (eds P. McCarthy, C. E. Clapp, R. L. Malcolm & P. R. Bloom), p. 187–202. Madison, WI : American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Cité par B. Glaser dans *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*
- [30] (en) “Near- edge X- ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil : Application to black carbon particles”, par Johannes Lehmann, Biqing Liang, Dawit Solomon, Mirna Lerotic, Flavio Luizao, James Kinyangi, Thorsten Schafer, Sue Wirrick, et Chris Jacobsen. *Global Biogeochemical Cycles*, vol. 19, GB1013, doi:10.1029/2004GB002435, publié 16 février 2005.
- [31] (en) *Value Added Products from Gasification – Activated Carbon*, par Shoba Jhadhav. *Laboratoire de Combustion, Gaséification et Propulsion (The Combustion, Gasification and Propulsion Laboratory - CGPL) à l'Institut Indien des Sciences (Indian Institute of Science - IISc).*
- [32] (en) “Biodegradation of two commercial herbicides (Gramoxone and Matancha) by the bacteria *Pseudomonas putida*”, par M. Kopytko, G. Chalela & F. Zauscher. 2002. *Elec. J. Biotechnol.* 5, 182–195. Cité par B. Glaser dans *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*
- [33] (en) “Amazon soils. A reconnaissance of the soils of the Brazilian Amazon region”, par W. G. Sombroek, 1966. vol. 672, p. 283. Wageningen, The Netherlands : Verslagen van Landbouw-kundige Onderzoekingen. Cité par B. Glaser dans *Prehistorically modified soils of central Amazonia : a model for sustainable agriculture in the twenty-first century*,
- [34] Sombroek, 1966 ; Smith, 1980 ; Kern and Kämpf, 1989 ; Sombroek *et al.*, 1993 ; Glaser *et al.*, 2000 ; Liang *et al.* 2006
- [35] (en) *Everyone’s carbon sequestration : decrease atmospheric carbon dioxide, earn money and improve the soil.* par Folke Günther, Holon Ecosystem Consultants, Lund, Sweden. Papier présenté à l’Institut International pour l’Économie de l’Environnement Industriel (International Institute for Industrial Environmental Economics – IIIIEE) le 26 mars 2007.
- [36] (en) “Isotopic evidence for condensed aromatics from non-pyrogenic sources in soils : implications for current methods for quantifying soil black carbon” par Klaus-Holger Knorr et Bruno Glaser, 2008, Volume 22, Pages 935-942.
- [37] (en) “Ingestion of charcoal by the Amazonian earthworm *Pontoscolex corethrurus* : a potential for tropical soil fertility” par Jean-François Ponge, Stéphanie Topoliantz, Sylvain Ballof, Jean-Pierre Rossi, Patrick Lavelle, Jean-Marie Betsch et Philippe Gaucher. *Soil Biology & Biochemistry*, Volume 38, Issue 7, July 2006, Pages 2008-2009.
- [38] Barois I, Vilemin G Lavelle P, Toutain F (1993) *Transformation of the soil structure through Pontoscolex corethrurus (Oligoch aeta) intestinal tract*. *Geoderma* 56, 57 - 66.
- [39] (en) German et Cravo, 1999. Cité dans *Terra preta de Indio* par Johannes Lehmann
- [40] (en) B. Glaser, B. Phil. *Trans. R. Soc.* (dans la presse). Cité dans *Putting the carbon back : Black is the new green*, article dans le journal *Nature* 442, 624-626, 10 août 2006. Lien vers copie gratuite de l'article dans le site de Biopact à la suite et dans le cadre d'une entrée intitulée *Terra Preta : how fuels can become carbon-negative and save the planet*
- [41] (en) “Slash-and-char : a feasible alternative for soil fertility management in the Central Amazon ?”, par Johannes Lehmann, Jose Pereir Da Silva Jr., Marco Rondon, Cravo Manoel Da Silva, Jacqueline Greenwood, Thomas Nehls, Christoph Steiner et Bruno Glaser. Symposium no. 13, Paper no. 449. 17<sup>e</sup> WCSS, 14-21 août 2002, Thaïlande.
- [42] (en) “Amazonian Dark Earths : Origins, Properties, Management”, par J. Lehmann, D.C. Kern, B. Glaser et W.I. Woods. 2003. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 523p.



● Portail de l'agriculture et l'agronomie



● Portail de la géologie



● Portail de l'Amazonie

## 8 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

### 8.1 Texte

- **Terra preta** *Source* : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Terra\\_preta?oldid=113299973](http://fr.wikipedia.org/wiki/Terra_preta?oldid=113299973) *Contributeurs* : Anthere, Lionel Allorge, Abrahami, Zubro, Archeos, Khalid hassani, Phe, Pgreenfinch, VIGNERON, Oblic, Fcrozat, Romary, Valérie75, Sinaloa, Hbbk, Piku, Teofilo, Poulos, Sherbrooke, El Comandante, Mirgolth, Pok148, Gzen92, YurikBot, Fv, MMBot, Litlok, Crouchineki, Loveless, Sylveno, Papydenis, Akiry, Pautard, Astirmays, Esprit Fugace, Elapied, Lamiot, Liquid-aim-bot, GaMip, Bbruet, S23678, Basicdesign, Lacrymocéphale, Bapt1steD, Bzh-99, Hispalois, Thijs !bot, Bc789, Treehill, RémiH, Deep silence, Manuguf, MirgolthBot, Van Rijn, Philippe rogez, CommonsDelinker, VonTasha, Salebot, Speculos, LPLT, Isaac Sanolnacov, Deux esprits, Vincent Lextrait, ZX81-bot, Hercule, Amoceann, DeepBot, ZetudBot, Jfponge, Herr Satz, LinkFA-Bot, Luckas-bot, Micbot, Penjo, Xqbot, Coyote du 57, Lomita, Feldo, ZéroBot, OrlodrimBot, Makecat-bot, Addbot, Girart de Roussillon et Anonyme : 42

### 8.2 Images

- **Fichier:Amazon\_river.JPG** *Source* : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Amazon\\_river.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/56/Amazon_river.JPG) *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:External.svg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/25/External.svg> *Licence* : Public domain *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Denelson83
- **Fichier:Monocline01.gif** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/f/f0/Monocline01.gif> *Licence* : CC-BY-SA-3.0 *Contributeurs* : Transferred from en.wikipedia ; Transfer was made by User:Mikenorton. *Artiste d'origine* : Original uploader was Mikenorton at en.wikipedia
- **Fichier:Terra\_Preta\_crop.jpg** *Source* : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Terra\\_Preta\\_crop.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d2/Terra_Preta_crop.jpg) *Licence* : GFDL *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Hispalois
- **Fichier:Terra\_preta\_HC1.JPG** *Source* : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/da/Terra\\_preta\\_HC1.JPG](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/da/Terra_preta_HC1.JPG) *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Holger Casselmann
- **Fichier:Tractor\_icon.svg** *Source* : [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Tractor\\_icon.svg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b5/Tractor_icon.svg) *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : Spedona

### 8.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0