



La valorisation locale des déchets verts pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre

Etude d'un cas concret:

La valorisation locale des déchets verts chez des agriculteurs Charentais



La valorisation locale des déchets verts

Étude de cas : 7 exploitants agricoles du Nord Charente

5 786 tonnes valorisées localement en 2010, c'est :



Moins de transports



113 000 Km - 34 000L de gasoil - 100 Tonnes de CO₂



Moins de GES dans les procédés de valorisation



477 Tonnes de CO₂



Moins d'argent dépensé par la collectivité



202 510 €



Moins d'eau utilisée



3 500 m³ - 3,5 MégaWatts heure



Moins d'engrais minéral



Apport de 25 480 Kg d'azote organique, en substitution d'azote de synthèse soit 25,5 Tonnes Equivalent Pétrole - 77,5 T de CO₂

Soit, par Tonne valorisée :

17,3 Kg de CO₂
19,5 Km + 5,9L de gasoil

82 Kg de CO₂

35 €

600 L d'eau + 0,6 KWh

4,4 Kg d'azote
13,5 Kg de CO₂



Aujourd'hui la valorisation locale c'est 36% de GES en moins par rapport à l'industrie !

Demain, en introduisant les techniques du Bois Raméal Fragmenté pour la valorisation du broyat frais, seulement 1/3 des déchets seront compostés, évitant 73% des émissions de GES comparé à l'industrie. Utiliser du broyat frais c' est imiter le fonctionnement naturel.

En appliquant du broyat frais, on apporte au sol l'intégralité de la matière contenue dans les déchets verts, il n'y a plus de pertes gazeuses notamment de carbone et d'azote. On évite donc les émissions de GES, contrairement au processus de compostage. On crée ainsi une litière comparable à celle de la forêt.

Cela permet:

D'augmenter les rendements

Une meilleure nutrition des plantes

(apport d'azote, de phosphore, de potassium, de Calcium, de Magnésium...)

De rétablir l'activité biologique

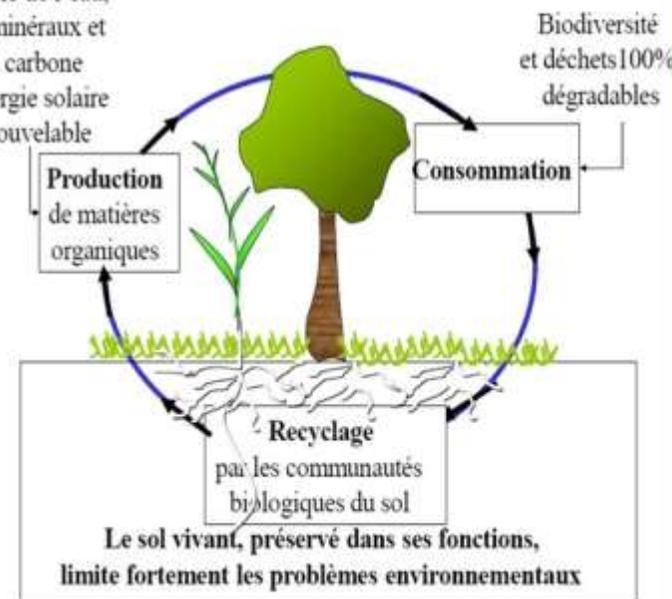
D'augmenter l'eau disponible pour les plantes

D'améliorer la structure du sol, évitant l'érosion

D'épurer l'eau biologiquement
(nitrates, molécules phytosanitaires...)

De transformer les sols en puits de carbone

- Cycle de l'eau, des minéraux et du carbone
- Énergie solaire renouvelable





Perspectives d'amélioration, en favorisant le broyat frais...

Étude de cas : 7 exploitants agricoles du Nord Charente

En réduisant le compostage à 1/3 des 5786 Tonnes...



Moins de transports



113 000 Km - 34 000L de gasoil - 100 Tonnes de CO₂



Moins de GES dans les procédés de valorisation



1082 Tonnes de CO₂



Moins d'argent dépensé par la collectivité



202 510 €



Moins d'eau utilisée



3 930 m³ - 3,5 MégaWatts heure



Moins d'engrais minéral



Apport de 29 200 Kg d'azote organique, en substitution d'azote de synthèse soit 29,2 Tonnes Equivalent Pétrole - 88,85 T de CO₂

Permettant l'économie de :

Soit, par Tonne valorisée

17,3 Kg de CO₂
19,5 Km + 5,9L de gasoil

187 Kg de CO₂

35 €

680 L d'eau + 0,68 KWh

5,05 Kg d'azote
15,4 Kg de CO₂

La valorisation locale c'est:

- Moins de Gaz à effet de serre
- Une économie pour la collectivité
- Des transports évités
- Des économies d'eau
- Une fertilisation et une structuration écologique des sols agricoles

En ne compostant que 1/3 des déchets au niveau local, on passe de 4144 Tonnes compostées à seulement 1929 Tonnes.

C'est alors 1182 Tonnes de CO₂ évitées, soit près de 73% de GES en moins par rapport à l'industrie !

L'objectif à terme est la réduction du compostage aux situations où il s'avère indispensable.

Qu'est ce que le BRF?

BRF signifie bois raméaux fragmentés, il s'agit de broyat de jeunes rameaux de feuillus, apportés directement aux sols cultivés. Le broyat frais non composté s'apparente donc à du BRF.

L'utilisation de la technique permet:

- L'augmentation de l'activité biologique des sols
- Cette activité biologique permettant une épuration de l'eau
- Un apport important de matière organique
- Une structuration des sols, évitant l'érosion
- L'amélioration de la nutrition des cultures
- L'augmentation de la réserve utile, donc moins d'irrigation
- Une séquestration de carbone dans les sols
- La diminution considérable du lessivage des nitrates

La valorisation locale des déchets verts pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre

I. Le contexte de l'étude	5
a) La lutte contre le réchauffement climatique	5
b) La demande de la collectivité	6
II. Le compostage, procédé habituel de valorisation	7
a) Le compost, des dégagements importants de GES	7
b) Le carbone biogénique	10
c) Perte d'azote durant le processus de compostage	12
III. Etude d'un cas concret: la valorisation locale des déchets verts chez des agriculteurs Charentais.	13
a) Etat des lieux	13
b) Les utilisations diverses chez les exploitants	14
c) La démarche d'analyse	15
d) La démarche pour l'évaluation des pratiques	16
e) La valorisation industrielle	20
f) Bilan de l'étude	23
IV. Synthèse de l'étude et pistes d'améliorations	25
a) Les pistes d'amélioration	26
b) Le Bois raméal fragmenté, inspiré de l'écosystème forestier	30
c) Où trouver de la lignine ?	36
Bibliographie	37
Annexes	41

I. Le contexte de l'étude :

a) La lutte contre le réchauffement climatique

Il est aujourd'hui indéniable que le réchauffement climatique, au centre de tous les débats sur l'environnement, va influencer sur le long terme le fonctionnement de nos sociétés. Les Gaz à Effet de Serre (GES) seraient responsables, entre autre, de cette modification climatique. Quoi qu'il en soit, même si la science venait demain à conclure sur la non responsabilité des émissions de GES dans le changement climatique, il n'en demeure pas moins que nous sommes dans l'incertitude quant aux différentes répercussions que pourrait engendrer l'augmentation de la concentration de GES dans l'atmosphère. La prudence conduit donc nos sociétés à limiter les émissions de GES et ainsi à revenir vers une situation plus « naturelle », où l'inconnu lié à la concentration de GES ne serait plus de mise.

Pour réduire les émissions de GES, de nombreux domaines d'activité sont concernés, notamment les transports et l'agriculture. En effet, l'agriculture nous offre des solutions afin de lutter contre le réchauffement climatique. La réflexion portant sur l'évolution des pratiques agricoles représente un défi incontournable pour nos sociétés, cela pour deux raisons principales :

- La première concerne les impacts déjà constatés. Le réchauffement climatique commence déjà à bouleverser la productivité des systèmes agraires notamment à cause des sécheresses se faisant de plus en plus récurrentes dans de nombreuses régions du monde. (FAO, 2010).
- La deuxième concerne l'énorme potentiel de l'agriculture qui, en abandonnant sa casquette de « pollueur », a les clés en main pour rendre des services écologiques à la société. Cela est possible en utilisant le sol comme puits de carbone (millenium ecosystem assessment, 2005). L'agriculture sera ainsi capable de fournir des réponses aux demandes environnementales et sociétales, afin de nourrir 9 milliards d'humains en 2050 avec une nourriture saine et ne portant pas atteinte à l'environnement.

C'est ce qu'évoque le deuxième volet du protocole de Kyoto en intégrant la séquestration de carbone dans les sols par le biais du « LULUCF » (Land Use, Land-Use Change and Forestry). A l'échelle mondiale, les experts de la communauté scientifique estiment que le potentiel de stockage de carbone dans les sols pourrait être de l'ordre de 0,5 à 2 Gigatonnes par an si des

politiques de bonne gestion des sols étaient mises en place (Lal, 1997 ; Batjes, 1999 ; Lal, 2000). Ces techniques agricoles de stockages de carbone dans les sols apparaissent au niveau mondial sous la dénomination d'Agriculture de Conservation des Sols. Cette agriculture abandonne le travail du sol, le couvre en permanence, en prenant pour modèle le fonctionnement de l'écosystème naturel ou rien ne se perd, rien ne se crée et tout se transforme.

L'étude présentée ici entre dans la démarche de services écologiques rendus par l'agriculture à la société par le traitement local des déchets verts. Il s'agit de déterminer les pistes conduisant à l'amélioration de l'empreinte écologique du déchet vert en calculant les GES évités par rapport à la pratique existante. **L'objectif étant de déterminer quelle pratique présente le plus d'avantages écologiques et économiques quant au traitement des déchets verts.**

b) La demande de la collectivité

Le gisement national de déchets verts, est estimé entre 8 et 12 Millions de Tonnes par ans (source ADEME), la part des ménages est estimée à environ 4,5 millions de tonnes par an (source ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement – 1999). L'existence d'une telle ressource entraîne de fait une réflexion de fond sur sa valorisation.

Les tailles de haies, les résidus d'élagages, les tontes de pelouses et autres déchets verts se retrouvent collectés par les déchetteries locales. Traditionnellement, cette ressource est considérée comme un « déchet ». Elle fait l'objet d'un appel d'offre de traitement qui induit une charge pour la collectivité couvrant les frais de traitement. Réglementairement, les déchets sont compostés avec un passage en plateforme.

Additionnés au coût généré pour la collectivité, d'autres problèmes apparaissent, notamment la gestion des odeurs et des GES. Curieusement, bien que peu polluantes, les odeurs « fixent » l'association d'idée entre émanations et pollutions. Cette intuition de l'odorat humain est fondée, notamment sur les émissions de GES.

Une double contrainte est identifiée par la collectivité :

- un coût incompressible dans la gestion d'un déchet,
- une « *impression* » de pollution dans la mise en œuvre des appels d'offres vers les sous traitants industriels.

Cette situation initiale est en évolution. La thématique du développement durable, le renchérissement des coûts énergétiques, la raréfaction des ressources initient des démarches et des demandes nouvelles, notamment celle de transformer un déchet en ressource.

II. Le compostage, procédé habituel de valorisation

La valorisation habituelle des déchets verts s'effectue habituellement sous forme de compost. Il s'avère que cette technique engendre une perte importante de matière sous forme gazeuse, majoritairement.

Généralement, le processus de compostage constitue une perte de matière de 60 % de la masse initialement collectée. Dans le cas étudié, lors du compostage industriel, la masse de compost obtenu représente environ 65 % de la masse de déchets de départ. La perte de matière représente 35 % de la collecte. Cette perte de matière est habituellement plus importante dans le cas du compostage des déchets verts. En effet, dans cette situation charentaise, les déchets verts sont souvent riches en lignine, matière difficile à dégrader, et pauvres en tontes de pelouses par exemple, faciles à composter. Par contre, avec des matériaux facilement fermentescibles, la perte de matière peut excéder les 60 % de la masse collectée. La perte de matière est principalement une perte de carbone agissant sous forme de GES (CO₂ et CH₄). La perte d'azote est importante, également sous forme gazeuse, dont une infime partie se trouve sous forme de N₂O (Oxyde nitreux) qui est un puissant gaz à effet de serre.

a) Le compost, des dégagements importants de GES

Lors du compostage, des émissions gazeuses ont lieu, dépendant des origines du substrat ainsi que des différents procédés utilisés. Les gaz retenant notre attention dans le cadre de cette étude sont les GES, autrement dit, dans le cas présent, le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O). La littérature offre relativement peu d'études à ce sujet quant au compostage des déchets verts comparé au compostage des effluents d'élevage. Les résultats disponibles sont assez variables étant donné les divers paramètres impliqués. Les valeurs utilisées dans la présente étude ont été les mêmes pour chaque pratique

de compostage, ils ne sont donc pas parfaitement adaptés à chaque cas mais étant utilisés comme constante, ils ont le mérite d'offrir une base, un ordre de grandeur quand aux quantités de GES émis par le processus de compostage.

La production de CO₂ est issue de la dégradation des composés carbonés par les microorganismes aérobies, l'intensité de dégagement est directement proportionnelle à leur activité. Cette activité est favorisée par une disponibilité en oxygène liée à une aération suffisante, ce qui entraîne la pratique du retournement des andains. L'activité de ces microorganismes est également conditionnée par le taux d'humidité. L'activité maximale correspondant à une humidité de 60 à 70 % du substrat. L'émission de CO₂ dépend également de la biodégradabilité du substrat. Un substrat riche en lignine induisant une dégradation lente et modérée en % de matière. Inversement, un substrat pauvre en lignine aura une dégradation rapide et importante avec une faible production de compost (40 % du produit initial).

Le dégagement de CH₄ a pour origine la présence de zones anaérobies au sein de la matière compostée, elle est limitée par une aération régulière des andains, c'est-à-dire par des retournements.

Le potentiel de réchauffement global (PRG) du méthane est 21 fois plus important que celui du CO₂. Il existe également une émission de N₂O durant le compostage. Bien que la quantité soit faible comparé au CO₂ et au CH₄ elle doit être considérée, étant donné que le PRG est 310 fois plus important que celui du CO₂.

A propos du CO₂, les résultats publiés sont très variables, on trouve 1 202 Kg/TMS (Hellebrand, 1998) pour le compostage de déchets verts en andains. Un autre résultat obtenu en réacteur indique de 139 à 172 Kg/TMS (Hellebrand et Kalk, 2001). Concernant le CH₄ une autre étude réalisée en andain indique 9,33 Kg/TMS (Hellebrand, 1998). Pour le N₂O, des valeurs de 0,109 Kg/TMS ont pu être observées en andains, puis allant jusqu'à 0,377 Kg/TMS en réacteur (Hellebrand, 1998).

Les données utilisées pour cette étude sont issues de la dernière étude disponible à ce sujet au CEMAGREF (Mallard et al, 2005) et présentés dans le tableau ci-dessous. Les valeurs concernant le méthane et le protoxyde d'azote sont corroborées par les études ci-dessus tandis que la valeur concernant le dioxyde de carbone paraît cohérente, restant logiquement inférieure aux moyennes concernant le compostage des effluents d'élevage.

<i>Gaz à effet de serre</i>	<i>Emission moyenne en Kg pour 1000 Kg de MS de déchets verts entrants</i>	<i>quantité équivalente en Kg de CO₂</i>
CO₂	600,00	600,00
CH₄	9,52	199,90
N₂O	0,22	68,20

Ainsi, pour une tonne de matière sèche de déchets verts compostés, les émissions de GES sont équivalentes à 868 kg de CO₂. Face au manque de références scientifiques, il paraît prudent de se réserver une variation possible de l'ordre de 10 %. L'hypothèse basse retenue pour les émissions de GES serait de **781 kg équivalent CO₂** pour une tonne de matière sèche de broyat de déchets verts.

Ces dégagements correspondent à une perte de matière de 60 % lors du processus de compostage. Cela signifie que pour 1 tonne de matière sèche de déchets au départ, on obtient 400 kg de compost et 600 kg de pertes. On peut conclure que les 600 kg de matière perdue entraînent l'émission de 781 kg équivalent CO₂ soit **1,3 kg équivalent CO₂ par kg de matière perdue**. L'estimation des émissions de GES répond à la formule suivante :

$$(1 - Rdt) \times 1,3 = Teq \text{ CO}_2/\text{TMS}$$

Rdt = rendement en compost, en tonne de matière sèche de compost par tonne de matière sèche de déchet

Dans le cas étudié, les déchets sont moins fermentescibles dû à la forte proportion de lignine, la perte de matière est réduite ainsi que les émissions de GES. Le rendement en compost est en moyenne de 650 kg par tonne de déchets soit une perte de matière de 350 kg. Rapporté aux 1,3 kg équivalent CO₂ par kg de matière perdue, on calcule les émissions de GES à **455 kg équivalent CO₂ par tonne de matière sèche**.

$$\rightarrow (1 - Rdt) \times 1,3 = (1 - 0,650) \times 1,3 = 0,455 \text{ Teq CO}_2/\text{TMS}$$

Etant donné la composition très ligneuse des déchets verts dans la situation charentaise étudiée, le processus de fermentation nécessite une grande quantité d'eau et de nombreux retournements afin de favoriser le processus. Les techniques de compostage locales des agriculteurs, mettant en jeu peu de retournements et une quantité moindre d'eau, laisse présager une fermentation limitée par rapport au processus industriel, et de ce fait, moins de GES émis.

L'aération limitée chez les agriculteurs laisse supposer une augmentation de la fermentation anaérobie. Les dégagements de CH₄ sont favorisés par rapport au CO₂. On peut ainsi considérer que dans un cas de traitement industriel, plus de CO₂ est émis par rapport au CH₄ et inversement dans un cas de traitement agricole qui aérera moins les broyats.

Compte tenu des incertitudes vis-à-vis des études scientifiques au sujet du compostage, la même valeur de GES émis a été utilisée pour calculer les émissions de GES du procédé industriel et celles des pratiques agricoles locales.

Cependant, un consensus existe autour de la non pollution des émissions de GES du compostage. Ces émissions appartiennent au cycle biogénique, et, grâce à cette particularité, ne seraient pas polluantes ! Cette idée, admise par la majorité des acteurs du compostage, est fautive. Si les émissions de GES du compostage ne polluent pas, alors, pourquoi les GES des ruminants sont ils polluants ? La rumination n'est elle pas aussi un cycle biogénique ?

b) Le carbone biogénique

Le carbone biogénique est le carbone fixé par la photosynthèse, provenant du CO₂ atmosphérique. Il est généralement admis que les émissions de GES provenant d'une source de carbone dit biogénique ne constituent pas un apport supplémentaire de CO₂ dans l'atmosphère, à condition que la source d'où il est issu ne change pas de vocation. C'est-à-dire que le carbone dégagé est compensé au sein du cycle du carbone. La question de la neutralité des dégagements dits biogéniques demande à être approfondie. Elle se révèle être un point clé du raisonnement sur la limitation des émissions de GES.

En réalité, dans un cycle naturel, le cycle biogénique du déchet vert est lent et passe par un stockage temporaire, de moyenne à très longue durée, sous forme organique dans le sol. Le cycle naturel de dégradation des déchets verts ne connaît pas

l'accélération de dégradation liée au compostage. Le compostage ne peut pas être considéré comme neutre car il accélère le cycle biogénique (naturel) du CO₂.

Dans le cas du chauffage au bois par exemple, les émissions peuvent être considérées comme nulles, sur une échelle de temps allant de 10 ans à un siècle, le temps que la croissance de la forêt compense le CO₂ émis lors de la combustion. Pour cela, il est nécessaire que la forêt soit gérée durablement, et soit en capacité de compenser entièrement les rejets de GES du brûlage. Le carbone rejeté ne constitue donc pas une neutralité immédiate mais bien une augmentation temporaire des GES dans l'atmosphère. La durabilité du bois énergie n'est pas remise en question, mais l'exemple illustre bien la « dette » carbone que l'on se doit de « compenser » quand on intervient ainsi dans le cycle du carbone. A ce titre, la déforestation constitue une émission nette de GES car il n'y a aucune compensation au brûlage et au défrichage réalisé.

Le déstockage actuel estimé à 6 Millions de Tonnes de Carbone (soit 22 Millions de Tonnes de CO₂) lié au travail intensif des sols et à leur dégradation n'est pas pris en compte par les estimations du CITEPA (CITEPA, 2007). Cependant, comment prétendre à la neutralité des émissions de ce carbone dit biogénique ? Aucun puits n'est mis en place pour compenser ces dégagements...

Appliqué à la problématique du compostage, la question se pose également. Cette fermentation « forcée » accélère le déstockage d'une quantité importante de carbone dit biogénique mais émet également du méthane et l'azote nitreux, ce qui n'aurait pas forcément été le cas en conditions naturelles. En considérant uniquement le carbone, la provenance variée des déchets verts n'assure en aucun cas une compensation à 100 % des dégagements dans un quelconque délai. Prenons l'exemple de la coupe d'un arbre dans un jardin, qui ne sera pas remplacé...

Il est dès lors plus facile de comprendre que tout procédé induisant un déstockage de carbone doit faire l'objet d'une réflexion. Bien que la neutralité du carbone de nature biogénique puisse être effective dans certains cas et dans une certaine échelle de temps, il est nécessaire de remettre en cause la neutralité systématique (et surtout pas immédiate!) des émissions biogéniques. Dans le contexte actuel, la volonté est de limiter de manière maximale, dès maintenant, la quantité de carbone dans l'atmosphère. C'est donc systématiquement un stockage temporaire du carbone qui devrait être privilégié, et non sa mise en circulation rapide.

Pour l'agriculture, il s'agit d'augmenter le temps de séjour de la matière organique dans le cycle sol-plante. A titre d'exemple, la prairie (système stable) héberge un stock de 65 Tonnes de carbone organique (Arrouays, 2002) contre en moyenne 40 Tonnes dans les sols cultivés. Il existe un stockage envisageable de 25 Tonnes de carbone par hectare soit 462,5 Millions de Tonnes de carbone pour les 18,5 Millions d'hectares de terres arables françaises. Compte tenu qu'une Tonne de Carbone équivaut à 3,67 Tonnes de CO₂ (Moizan, 1998), le changement des pratiques de gestion des sols pourrait faire apparaître un potentiel de stockage temporaire estimé à 1 700 millions de tonnes de CO₂.

c) Perte d'azote durant le processus de compostage

La perte est principalement liée à la volatilisation de l'azote ammoniacal présent ou produit par ammonification durant le processus de compostage. Il a pu être mesuré que la teneur en azote dans la matière sèche reste stable durant le processus de compostage. Cela signifie que proportionnellement, les pertes de MS et d'azote sont assez proches (J-M Paillat et al, INRA, 2005). Les analyses de broyat frais à la sortie du broyeur ainsi que les analyses correspondantes répondent aux chiffres de l'étude. En effet, la moyenne observée à la sortie du broyeur est de 5,61 Kg/TMS tandis que la moyenne observée pour le compost est de 5,78 Kg/TMS.

Les exploitants réalisant le compost local n'ont pas d'outil précis afin de peser le compost mûr. Les résultats du compostage industriel seront donc pris pour référence. Pour 646 Tonnes de déchets verts entrées sur la station, 426 Tonnes de compost ont été obtenues. Les pesées ayant été effectuées avec des teneurs en humidité équivalentes, une perte d'environ 35 % de MS par rapport à la masse de départ est mesurée.

Cette valeur est inférieure à celle mesurée pour du fumier de bovins (45 à 55 % de l'azote total) suite à 6 mois de maturation (J-M Paillat et al, INRA, 2005) et légèrement supérieure aux 28,6 % de pertes observées sur un compost d'ensilage de maïs ayant mûri à l'abri pendant 9 mois (D-H. Lynch et al, 2006).

Etant donné le manque de données scientifiques précises quant au compostage des déchets verts, et les nombreux paramètres pouvant influencer la perte d'azote durant le compostage, la valeur de 30 % de pertes en azote sera retenue.

III. Etude d'un cas concret : la valorisation locale des déchets verts chez des agriculteurs Charentais.

a) Etat des lieux

L'étude a lieu dans le département de la Charente où deux plateformes de compostage industriel sont en place :

- plateforme de Sainte-Sévère dans l'ouest du département
- plateforme de Poullignac dans le sud

Ces deux plateformes ont traité respectivement 5 916 et 4 193 Tonnes de déchets verts en 2010. Le compost obtenu est ensuite revendu aux agriculteurs (notamment des maraîchers), aux professionnels du paysage et à moindre échelle, aux particuliers. Ces déchets proviennent de différentes déchetteries et sont acheminés par camions jusqu'aux plateformes concernées.

Cependant, le nord de la Charente ne possède pas de plateforme normée pour le compostage des déchets verts. L'avortement du projet de construction d'une plateforme de compostage à Champagne-Mouton est lié à un investissement jugé trop élevé par la collectivité. Cette situation conduit les plateformes existantes à refuser la prise en charge des déchets verts des 12 communes du Nord Charente pour éviter l'engorgement. Ainsi, le Calitom (service public chargé de la gestion des déchets) décide de mettre en place un projet de co-compostage à la ferme.

Désormais, ce sont 6 agriculteurs et un pépiniériste qui réceptionnent les déchets verts collectés dans les communes alentours afin de les utiliser localement sur leur propre plateforme. Ce sont en effet les « co-composteurs » qui doivent offrir une plateforme adaptée en échange de la « ressource verte », n'étant dans ce cas plus considérée comme « déchet ». La collectivité, par le biais de Calitom, prend en charge le transport chez l'agriculteur ainsi que le broyage des végétaux sur place. La réception locale est facilitée dans cet exemple Charentais, la roche mère étant située peu en profondeur, la stabilisation d'une plateforme ne demande qu'un investissement limité pour l'agriculteur.

Au cours de l'année 2010, ce sont 5 786 Tonnes qui ont ainsi été valorisées chez les agriculteurs locaux (contre 6 930 Tonnes en 2009). Les livraisons sont régulières et le broyage a lieu deux fois pendant l'année. Des analyses sont effectuées systématiquement à la sortie du broyeur, afin de vérifier que le broyat ne contient pas une dose de polluants supérieure aux normes en vigueur.

Pour Calitom et pour la collectivité, cela représente moins de transports, moins de déchets à traiter et finalement des économies importantes au niveau environnemental ainsi qu'au niveau économique. La tonne de déchets valorisée localement chez les agriculteurs revient à 9 € en moyenne contre 44 € pour une valorisation en plateforme industrielle (source : Calitom).

b) Les utilisations diverses chez les exploitants

Les exploitants participant à cette démarche locale de gestion de la ressource utilisent différentes techniques de valorisation du broyat obtenu.

Pour trois d'entre eux, le choix a été fait d'utiliser le broyat sous sa forme fraîche, c'est-à-dire sans compostage. Cette technique se prête particulièrement bien au non travail du sol, c'est-à-dire en technique de semis direct. C'est le cas pour deux exploitants utilisant le broyat frais qui est épandu en surface, servant de couverture au sol, imitant l'écosystème forestier. L'utilisation de broyat frais peut cependant tout à fait être réalisée dans le cas d'un travail du sol classique type labour. Le troisième exploitant enfouit le broyat par labour ou grâce au passage d'un déchaumeur. Les quatre autres exploitants locaux ont choisi le compostage du broyat avant son épandage. La plupart du temps, il s'agit de co-compostage, c'est-à-dire le compostage simultané des déchets verts broyés avec des effluents d'élevage (type fumiers) ou d'autres déchets organiques.

Bien que pouvant contenir une proportion de résineux, l'épandage du broyat ne pose pas de problème d'acidification dans la mesure où ce type de bois est mélangé à d'autres. Les mesures de pH réalisées sur le broyat ne sont jamais inférieures à 7.

L'étude menée ici a pour but d'étudier les impacts environnementaux des différents procédés de valorisation mis en œuvre afin de déterminer les plus favorables, au plan environnemental, agronomique et économique. Les impacts environnementaux

d'une valorisation industrielle telle que Calitom la pratique, a également été évaluée afin de comparer les impacts avec une valorisation agricole locale.

c) La démarche d'analyse

Afin de connaître les impacts environnementaux ainsi que l'efficacité de différentes pratiques agricoles, il est nécessaire d'utiliser des outils mesurant des résultats précis et représentatifs. L'institut de l'agriculture durable (IAD) a mis en place des indicateurs capables de mesurer le résultat des pratiques agricoles. Ces indicateurs de résultat, au nombre de 28, répondent à différents thèmes :

- La viabilité sociale
- La viabilité économique
- L'efficacité d'utilisation des intrants
- Les gaz à effet de serre
- La qualité des sols
- La qualité de l'eau
- La biodiversité

Avec ces indicateurs, on mesure les résultats des pratiques agricoles afin de déceler les points faibles et les points forts des exploitations, encourageant ainsi une dynamique de réflexion et d'amélioration, donnant des objectifs de progression vers la production de services écologiques. Les agriculteurs concernés se sont donc évalués à partir de ces indicateurs dressant une synthèse à partir des résultats facilement disponibles dans les fermes et accessibles aux agriculteurs.

Les indicateurs relatifs au bilan énergétique ainsi qu'aux gaz à effet de serre prennent pour référence la méthode PLANETE, mise au point par l'ADEME, en partenariat avec SOLAGRO. PLANETE est une méthode mise en place afin de mesurer les performances énergétiques et les émissions de GES des exploitations agricoles. La méthode utilisée consiste à comparer l'énergie dépensée pour l'ensemble de la production à l'équivalent d'énergie produite sur l'exploitation à l'échelle d'une année.

Momentanément, L'IAD ne valide au niveau des GES que les émissions liées aux consommables. Les émissions liées aux analyses de cycles de vies (ACV), à la construction du matériel et des bâtiments, ne sont pas répercutées dans les émissions de l'exploitation comme c'est le cas dans les analyses PLANETE réalisées par L'ADEME. Cela s'explique par le fait que les analyses de cycles de vie pris pour référence sont mal renseignées. Dans l'attente de résultats de recherches plus fiables, l'IAD dresse un bilan GES simplifié par rapport à la méthode PLANETE, ne prenant en compte que les émissions directes.

Les indicateurs de l'IAD sont à la fois facilement compréhensibles et relativement rapides à mettre en œuvre. Leur avantage réside également dans leur objectivité car il s'agit de mesurer des résultats. **Il s'agit d'évaluer afin d'évoluer dans une démarche de progrès.**

d) La démarche pour l'évaluation des pratiques

Afin de déterminer l'impact environnemental résultant de la valorisation des déchets verts, une fiche récapitulative a été constituée pour chaque exploitant. Cette fiche présente les résultats relatifs au mode de traitement des déchets verts dans la ferme ainsi que les bilans énergétiques et les émissions de GES de chaque agriculteur. Grâce à l'analyse des différents cas, des données globales ont pu être calculées pour l'ensemble de la ressource valorisée localement.

Le transport est calculé d'après la distance de provenance des déchets depuis les lieux de collecte. Les camions utilisés transportent en moyenne 7 Tonnes de déchets par livraison. Cette moyenne observée par Calitom permet de calculer l'ensemble des trajets parcourus pour livrer la totalité des déchets annuels, et ainsi déterminer le nombre de kilomètres parcourus à partir desquels on détermine la consommation de gasoil. La consommation moyenne retenue pour le type de poids lourds utilisés étant de 30 L pour 100 km parcourus (étude énergéco 2007, ADEME).

Le broyage, un débit de 50 Tonnes de déchets broyés à l'heure a pu être généralement observé chez les exploitants. Ce broyage est réalisé par un sous traitant de Calitom. La consommation horaire du matériel utilisé est parfaitement connue des entreprises de transformation de déchets verts. Les valeurs utilisées pour les calculs sont de 36,1 L/Heure pour le broyeur et de 7,6 L/Heure pour le chargeur de manutention, en considérant que les deux engins nécessitent le même temps de travail.

Le compostage est un processus de fermentation puis de maturation induisant une perte de matière, majoritairement sous forme de gaz. Une partie de ces gaz sont considérés comme GES exprimée sous forme équivalente de Tonnes de CO₂. Ces dégagements ont été évalués pour chaque cas avec le même coefficient quelle que soit la méthode de compostage, soit 0,455 Tonnes de CO₂ pour une tonne de matière sèche compostée (source : Mallard et al. 2005). Il a été retenu que le broyat composté était composé en moyenne de **60 % de matière sèche**, valeur moyenne constatée lors des analyses effectuées à la sortie du broyeur.

Il est particulièrement fastidieux de déterminer précisément la quantité de GES émis lors de chaque processus, dépendant de nombreux paramètres dont le nombre de retournements, l'humidité, la température. Il a donc été considéré que les méthodes pratiquées dégageaient toutes la même quantité de GES.

Pour rappel → $(1 - Rdt) \times 1,3 = \text{Teq CO}_2/\text{TMS}$

<u>Méthode de calcul de GES émis durant le processus de compostage</u>
Tonnes de broyat frais x 0,60 = Tonnes de matière sèche (TMS)
TMS x (1 - Rdt) x 1,3 = Tonnes de CO₂ émises

Avec **Rdt** = rendement en compost, en tonne de compost par tonne de déchet

Bilan par Tonne de déchet valorisée. En considérant les trois postes précédents auxquels on ajoute les dégagements de GES durant le retournement des andains (consommation d'un chargeur estimée à 7,6 L/Heure), on obtient l'ensemble des GES dégagés lors du procédé de valorisation. On obtient donc une moyenne de GES émis par Tonne de déchets verts valorisés.

Les économies de transport : Une comparaison est ensuite effectuée vis-à-vis des avantages qu'engendre une valorisation locale des déchets verts. Dans le cas présent, la valorisation locale évite un transport vers la plateforme de Poullignac,

situé dans le sud du département. Un calcul du nombre de kilomètres évités par la conservation des ressources au niveau local permet d'estimer les rejets de GES évités pendant les transports.

On détermine à partir du volume de gasoil et de fioul consommés, le dégagement de GES correspondant. Ces calculs sont réalisés grâce aux données référencées par l'étude PLANETE de l'ADEME. On retiendra qu'un litre de fioul équivaut à un litre de gasoil soit 40,7 Méga Joules (MJ), qu'une Tonne Equivalent Pétrole (TEP) équivaut à 41 800 MJ. Il est ensuite possible de calculer les dégagements équivalents de CO₂ en sachant que 1 TEP = 3,043 Tonnes de CO₂ dégagés (Moizan F, 1998).

Les résultats spécifiques de l'exploitation sont ensuite présentés, issus des indicateurs de l'IAD.

Le bilan énergétique donne une expression des résultats grâce à la conversion des productions et des consommations en Tonnes Equivalent Pétrole.

Pour les cas où un compostage est effectué, le calcul des TEP consommées tient compte des valeurs réelles d'énergie consommée calculées lors du compostage local. L'autre valeur des TEP consommées est présentée à titre informatif, simulant l'utilisation de compost obtenu via une filière industrielle, la quantité prise pour référence est de la moitié de la masse de broyat réceptionnés par l'agriculteur. La référence utilisée est celle disponibles dans l'étude PLANETE de l'ADEME soit 1 Tonne de compost industriel équivaut à 51 500 MJ dépensés. L'ADEME considère donc l'utilisation de compost comme une dépense énergétique de l'exploitation mais n'a pas tenu compte ici des GES émis par le processus de compostage, considérant qu'il s'agit de carbone biogénique ayant un bilan GES neutre. Cette hypothèse autour des émissions de GES a été discutée précédemment et apparaît erronée pour le compost. Par contre, la consommation d'énergie est bien réelle.

L'efficacité énergétique donne la quantité d'énergie utilisée par rapport à la quantité produite. Ce résultat est secondé par l'équivalent de litres de fioul nécessaires pour produire une Tonne à l'échelle de l'exploitation.

Le bilan azoté représente la quantité d'azote résiduelle présente à l'hectare une fois la culture récoltée. Cette valeur, si elle est élevée, peut être représentative d'une sur-fertilisation ou de problèmes climatiques influant sur les rendements fixés. Dans l'idéal, on doit rester en dessous de 30 kg par hectare.

Les émissions de GES sont rapportées à l'hectare, à la Tonne produite et au Kilogramme produit. Ces valeurs sont calculées à partir d'un indicateur spécifique prenant en compte l'ensemble des émissions du procédé de production.

Voici les résultats obtenus pour l'ensemble des déchets verts valorisés localement

5786 Tonnes
de déchets verts

Bilan de la valorisation locale

Provenance moyenne: 13 km

Impact environnemental

Transport des plateformes
de collecte aux l'exploitations :
19 372 Km
5 810 L de gasoil*

Consommation lors du
broyage :
5 055 L de fioul

Émissions de GES pour
transport et broyage:
32,19 Tonnes de CO₂

Compostage : oui pour 4144
Tonnes

retournements: 205,6 L de fioul

Dégagement de GES durant la
maturation*:
1 131,31 Tonnes de CO₂

Utilisation d'eau durant le
compostage: 350 L par Tonnes
en moyenne sur les 2 267
Tonnes arrosées

Dégagement de GES durant le
compostage:
1 131,91 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

*source: CEMAGREF, Mallard et al. 2005

Bilan: 0,201 Tonne de CO₂ émis par Tonne de déchet valorisé

GES évités comparé à une valorisation sur le centre de compostage industriel concerné:

Transports

Près de 112 984 Km
Près de 33 895 Litres* de gasoil
Rejets évités: **100,43 Tonnes de CO₂**

Compostage (y compris broyage)

Rejets évités: **476,66 Tonnes de CO₂**

Bilan des GES évités:

577,09 Tonnes de CO₂

e) La valorisation industrielle

Les différentes étapes effectuées pour mener à bien le compostage sur la plateforme sont les suivantes :

- Transport des déchets des 10 déchetteries vers la plateforme
- Chargement et broyage des végétaux, suivi de la mise en andain
- Premier arrosage à la sortie du broyeur
- Retournement des andains à 7 reprises
- Mesures de température et de l'hygrométrie des andains
- Arrosages réguliers si nécessaire
- Criblage du compost mature en compost de calibres différents (10 mm et 20 mm) et broyage du refus
- Mise en stockage du produit fini à la pelle mécanique en attente d'enlèvement.

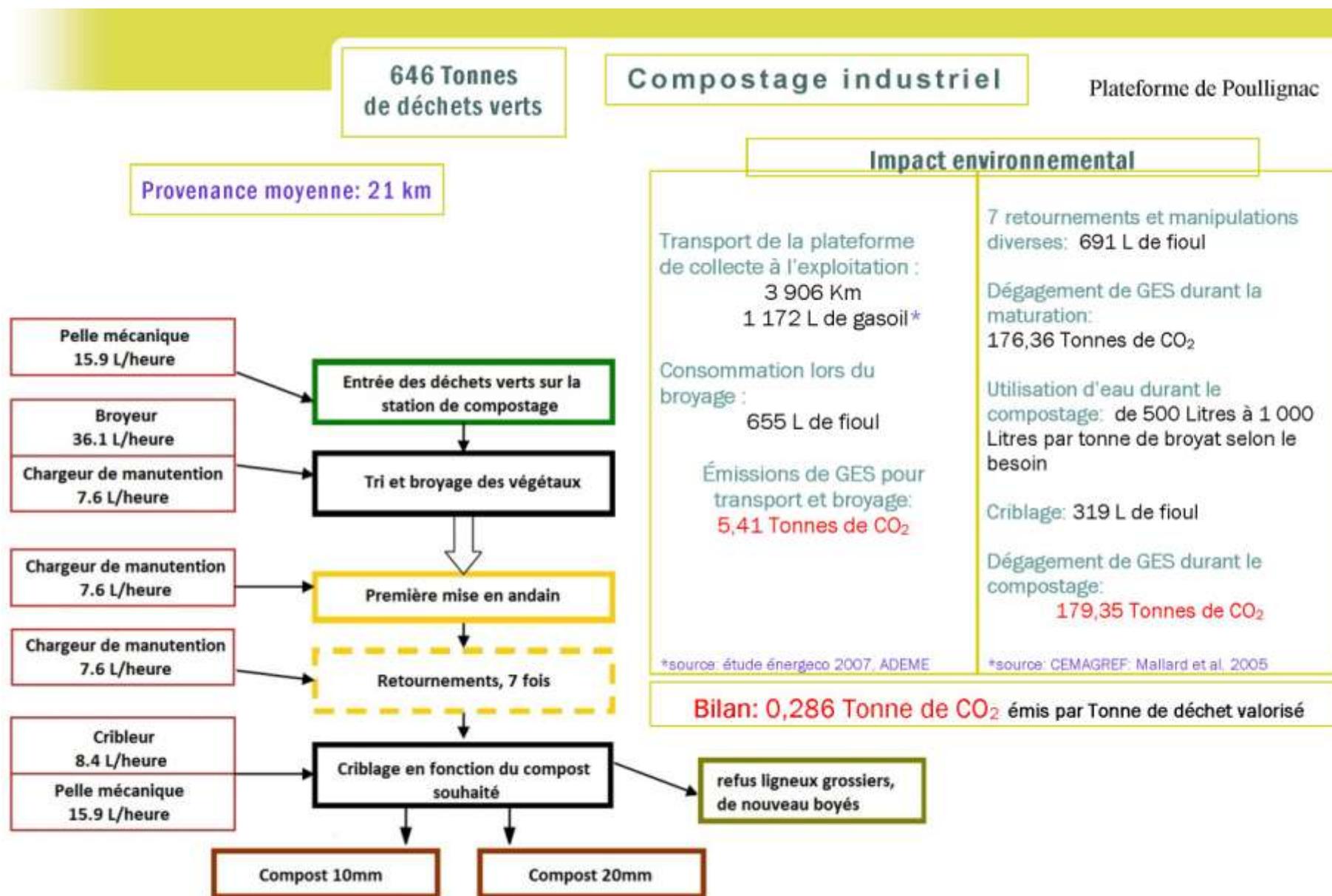
Afin de réaliser une estimation des impacts liés à la valorisation industrielle des déchets verts, la méthode de valorisation de Calitom a été prise pour référence. Les données relatives à la transformation de 646 Tonnes de déchets ont été collectées afin de déterminer les impacts du compostage tel qu'il est réalisé sur la plateforme de Poullignac. L'ensemble des déchets verts collectés sont valorisés sous forme de compost. Les refus suite au criblage ne sont pas valorisés en tant que fève pour le compostage des boues d'épuration comme cela peut être le cas sur d'autres plateformes. Ce dernier est en effet systématiquement broyé puis intégré à d'autres déchets afin d'être composté.

Pour la simple valorisation en plateforme industrielle, l'ADEME, dans son étude « impacts environnementaux de la gestion biologique des déchets » cite des valeurs de 8 KWh et de 1,5 Litres de gasoil nécessaires pour valoriser 1 Tonne de bio déchets ménagers et assimilés (Morvan, 2004) soit près de 90 MJ ; ou encore une énergie nécessaire de 30 à 100 KWh par Tonne de déchets résiduels compostés (source : Véolia) soit une énergie nécessaire comprise entre 108 MJ et 360 MJ. Dans le procédé de Calitom, les consommations ont ici été évaluées à 2,57 Litres de gasoil pour 1 Tonne de déchets verts valorisés soit environ 105 MJ. L'ADEME estime en termes de bilan énergétique, qu'en moyenne, une Tonne de compost valorisée de manière industrielle, livrée et épandue chez l'agriculteur équivaut à une dépense énergétique globale de 51 500 MJ soit 1,23 Tonnes Equivalent Pétrole.

Dans cette étude, une tonne de déchets entrée sur la station donne environ 650 Kg de compost alors qu'avec d'autres types de déchets, plus facilement décomposables, on obtient seulement 350 Kg de compost pour une Tonne entrée sur la station.

L'énergie utilisée pour l'obtention d'une Tonne de compost sera donc bien plus importante. On peut estimer que les déchets réceptionnés par Calitom sont dans le cas présent, très riches en lignine, difficilement décomposable ce qui explique le rendement important en compost.

Voici les résultats obtenus pour l'ensemble des déchets verts valorisés industriellement



f) Bilan de l'étude

La synthèse réalisée pour chaque agriculteur fait clairement apparaître les avantages d'une utilisation locale de la ressource en déchets verts. D'après les chiffres annoncés par Calitom, ce type de valorisation permet à la collectivité l'économie de 35 € par Tonnes de déchets verts soit un total **202 510 € pour les 5 786 Tonnes de déchets co-compostés en 2010.**

Outre l'aspect financier, la seule prise en compte des transports permet d'économiser près de **34 000 Litres de gasoil soit plus de 100 Tonnes de CO₂** non rejetés dans l'atmosphère.

Hormis le transport des déchets depuis les lieux de collecte jusqu' à la plateforme et l'approvisionnement du produit fini vers les utilisateurs, une tonne de broyat valorisée industriellement est responsable de l'émission de 0,2806 Tonnes de CO₂. Rapporté à l'échelle des 5 786 Tonnes valorisées par les agriculteurs locaux, cela représente 1 623,5 Tonnes de CO₂ dégagées contre 1 147 Tonnes de CO₂ dégagées pour la valorisation locale. Soit une économie de 476,5 Tonnes de CO₂.

Ajoutées aux économies de transports réalisées, on évite le rejet annuel de **577 Tonnes de CO₂** dans l'atmosphère. Il est important de préciser qu'il faudra ajouter à cette économie, les livraisons du compost de la plateforme de compostage industrielle vers les utilisateurs, émissions non prises en compte.

En considérant qu'à chaque livraison, un camion benne de 25 m³ chargé à plein peut transporter 15 Tonnes de compost, la livraison d'une Tonne de compost sur une distance de 1 Km est responsable de l'émission de 118 Grammes de CO₂.

Il est également important de prendre en compte les économies d'eau réalisées. En effet, le compostage industriel répond à un cahier des charges strict nécessitant un taux d'humidité stable dans les andains, de l'ordre de 50 %. Un arrosage est systématiquement effectué après le broyage puis en fonction des besoins suite aux résultats des analyses hygrométriques réalisés régulièrement. Les besoins en eau varient de 500 Litres par tonne de broyat à 1 000 Litres en conditions de faible pluviométrie.

Les exploitants locaux n'ont pas tous recours à l'irrigation lors du compostage. Deux exploitants sur les trois arrosant leur tas de compost ont estimé la quantité d'eau utilisée. Le premier utilise 400 Litres par Tonnes de broyat sur 1 307 Tonnes soit 523 m³. Le second utilise 300 Litres par Tonnes de broyat sur 960 Tonnes soit 288 m³. Le troisième irrigant ne mesure pas la quantité d'eau

utilisée sur 346 Tonnes, il sera écarté de la moyenne. Au total, ce sont 811 m³ qui sont utilisés pour la valorisation de 5440 Tonnes de déchets verts (dont 3 798 Tonnes compostées) soit une moyenne de 149 Litres d'eau par Tonnes de broyat.

La valorisation industrielle utilise un minimum de 500 L par Tonnes de broyat soit 350 L de plus environ par rapport à la moyenne des exploitants co-composteurs. Si on prend les 1 000 L par Tonne de broyat nécessaire à l'arrosage des andains en période sèche, ce sont environ 850 Litres d'eau économisés à la tonne de broyat. Rapportés aux 5 786 Tonnes valorisées localement en 2010, on peut estimer l'économie d'eau à 2 031 m³ pour la moyenne basse et de 4 924 m³ pour la moyenne haute. C'est donc une moyenne de **3 477 m³ d'eau économisée**, rapportée aux 5 786 Tonnes de déchets valorisés localement.

Il est estimé à 1 KWh la consommation d'électricité nécessaire à l'apport de 1 m³ d'eau (rapport EGES 2010, Arvalis, Cetiom, ITB), soit une économie estimable à **3,5 Mégawatt-heure** soit 0,30 TEP.

Les économies d'azote minéral réalisées grâce à la ressource en déchets verts est estimable de manière simple. La base prise est la moyenne mesurée grâce aux analyses de broyats à la sortie du broyeur, fournies par les agriculteurs ainsi que par Calitom. Cette moyenne est de 5,61 Kg d'azote total par Tonne de broyat. Cette valeur équivaut à 0,561 % d'azote. Sur les 5 786 Tonnes de broyat de départ, 4 144 Tonnes ont été compostées et 1 642 Tonnes épandues sous forme de broyat frais. Nous pouvons donc estimer la quantité totale d'azote épandue comme il suit :

Pour le broyat frais, il n'y a, à priori, pas de perte d'azote. Pour les 1 642 Tonnes de broyat, l'azote apporté est estimé à 9,21 Tonnes.

Pour le broyat composté, soit 4 144 Tonnes, l'azote présent au départ est estimé à 23,25 Tonnes. Suite au compostage, on estime une perte de 30% de la quantité initiale d'azote soit une quantité épandue de 16,27 Tonnes (Concentration du compost en azote multipliée par le tonnage déduit de l'analyse initiale du tonnage de déchet verts frais et de sa concentration en azote).

La quantité totale d'azote apportée grâce à la valorisation des 5 786 Tonnes est estimée à **25,48 Tonnes d'azote**. Le coût énergétique de la production, du transport et de l'épandage de 1 000 unités d'azote, est d'une Tonne Equivalent Pétrole (EFMA, 2000). Rapporté aux 25,58 Tonnes d'azote contenues dans les déchets verts, 25,48 TEP sont évitées soit **77,53 Tonnes de CO₂ qui n'iront pas alimenter l'atmosphère en effet de serre**.

IV. Synthèse de l'étude et pistes d'améliorations

Récapitulatif des économies réalisées par poste				
Transports	Compostage	Arrosage des andains	Financier	Fertilisation
113 000 Km 34 000 L de gasoil		3,5 MWh soit 0,30 TEP		25 480 Kg d'azote
100,43 Tonnes de CO ₂	476,66 Tonnes de CO ₂	3 500 m ³ d'eau	202 510 €	77,53 Tonnes de CO ₂

Face aux chiffres obtenus grâce à cette étude, on peut affirmer la nécessité actuelle de conserver les ressources de biomasse au niveau local. Les bénéfices sont observables à tous les niveaux. L'économie est énorme concernant les dégagements de GES liés au transport et aux méthodes de valorisation de la ressource. Les économies d'eau sont également significatives, à fortiori dans un département souffrant d'un déficit hydrique conséquent ces dernières années.

Bien que les effets positifs sur l'environnement apparaissent déjà très clairement grâce à la valorisation locale telle qu'elle est actuellement réalisée, les données recueillies dans la bibliographie, sur le terrain puis grâce aux indicateurs nous indiquent qu'une démarche de progrès est encore possible dans l'utilisation faite par les agriculteurs.

En comparant les résultats obtenus dans chaque exploitation, on remarque l'impact important des différents types d'utilisation des déchets verts. Il en ressort qu'une utilisation de broyat frais, en évitant les rejets de GES dans l'atmosphère liés au processus de compostage, améliore de manière significative le bilan GES ainsi que le bilan énergétique, notamment grâce à

l'utilisation de la totalité de l'azote présente au départ. **Le processus du broyat frais est inspiré des techniques BRF et sont de loin les moins polluantes.**

a) Les pistes d'amélioration

Le système de recyclage des déchets verts via les plateformes de compostage, c'est-à-dire par procédés industriels, n'offre pas de grandes possibilités d'amélioration environnementales. Les méthodes mises en place ont déjà pour objectif de limiter le coût, l'énergie et le temps nécessaire au compostage de la matière. Il apparaît compliqué d'imaginer un procédé de récupération des gaz émis par le processus de compostage opérationnel à grande échelle. La marge de manœuvre pour la méthode de valorisation industrielle est donc très limitée voir nulle. A moins qu'une nouvelle fois, l'impôt vienne financer les investissements industriels nécessaires pour récupérer les GES émis. Il est à noter que la loi du Grenelle 2 va accentuer cette réflexion institutionnelle qui pourrait s'avérer totalement anti économique et contre productive.

A l'analyse des résultats des agriculteurs, on remarque que les gains de GES obtenus permettent la mise en place d'une démarche d'amélioration importante pour certaines exploitations, au niveau de leur bilan GES, énergétique et azoté. Le raisonnement sur le carbone biogénique nous indique qu'il est urgent de modifier les techniques culturales en se basant sur le modèle des écosystèmes naturels afin de transformer les sols en puits de carbone.

Pour 2010, c'est plus de 1/3 de GES soit près de 36 % qui ont été évités grâce à la valorisation locale des déchets verts. L'amélioration des procédés, en valorisant les 2/3 de la ressource sous forme de broyat frais (techniques du BRF), éviterait jusqu'à 73 % des GES émis au cours des procédés industriels, soit des émissions divisées par 3 ! Le plan climat et le Facteur 4 sont une réalité dès lors que l'on transfère le schéma industriel sur une valorisation locale du déchet vert.

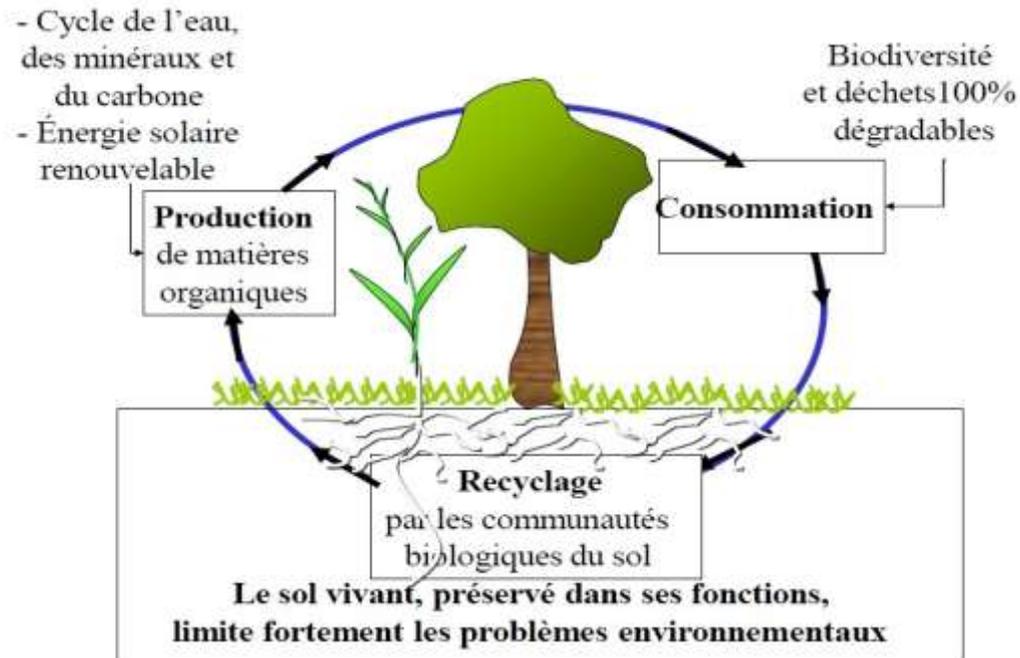
La quantité d'azote perdue lors du compostage est estimée à près de 7 Tonnes. Etant donné les problématiques actuelles de hausse du prix du pétrole et de limitation des émissions de GES, cette quantité de fertilisant organique ne peut être négligée. En effet, à l'inverse de l'azote organique des déchets verts, l'azote minéral nécessite une grande quantité d'énergie lors de sa fabrication et de son transport. Il est donc possible, en gérant localement l'intégralité de la ressource offerte par les déchets verts,

d'améliorer le bilan GES tout comme le bilan énergétique et l'équilibre de la fumure azotée des fermes. Au niveau énergétique, l'entrée d'un Kg d'azote sur l'exploitation équivaut à une dépense de 52,62 MJ (source Planète, données ITCF). En évitant le compostage, ce sont 8,79 TEP soit 367 288 MJ qui seront économisés dans le bilan énergétique des fermes.

La quantité de matière libérée sous forme de GES pendant le compostage supprime une étape cruciale du recyclage par le sol vivant comme dans les écosystèmes. Le compost est en effet un produit transformé par l'homme, mûr. Son évolution dans le sol sera très limitée et n'engendrera que très peu de biodiversité édaphique. Compte tenu de sa spécificité, le compost doit être considéré comme un engrais. Il n'apporte pas (ou très très peu) de nutrition au individu vivant dans le sol. Il ne permet pas d'améliorer la biodiversité du sol.

Pour réintégrer cette étape clé du recyclage dans le cycle biologique du sol, il s'agit, pour les agriculteurs, de copier le fonctionnement des écosystèmes naturels et notamment de la forêt. En effet, la forêt reste stable alors que la fertilité de nos sols agricoles disparaît. Cette autosuffisance de la forêt est rendue possible grâce à un cycle où les entrées sont limitées à l'énergie lumineuse, au carbone atmosphérique, à l'eau et éventuellement à l'azote atmosphérique s'il y a présence de légumineuses. Rien n'est perdu, tout y est transformé, recyclé...

Schémas du cycle de l'écosystème naturel



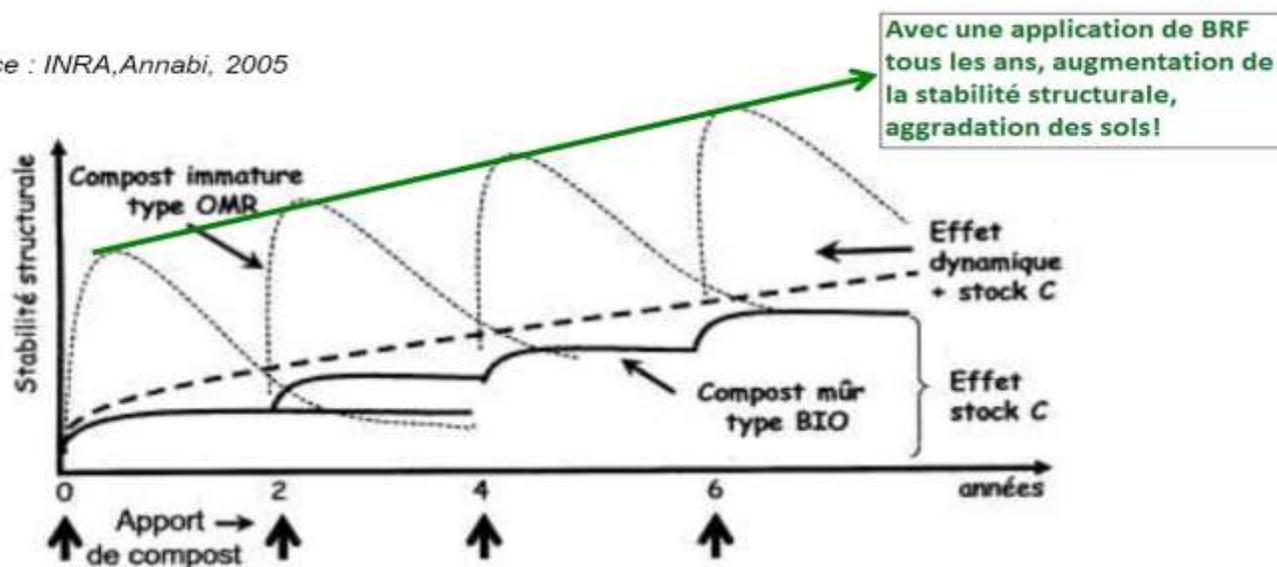
Le couple sol/plante, via la matière organique, peut être un puits ou une source de carbone atmosphérique, en fonction de l'utilisation de la terre, de la gestion du sol, de la végétation et de la ressource en eau (Lal, 2007). Les sols forestiers sont ceux qui stockent le plus de carbone, puis viennent les prairies naturelles.

A l'échelle planétaire, historiquement, les sols séquestrent plus de carbone que l'atmosphère et la biomasse végétale (Robert, 2001; AFD, 2006). Les techniques actuelles transforment dans la majorité des cas les sols en « source de carbone atmosphérique ». En effet, le travail du sol permet une oxydation rapide du stock de carbone présent initialement. C'est la

problématique bien connue du changement d'affectation des sols, gros générateur de GES au niveau mondial (de la forêt ou de la prairie vers l'agriculture conventionnelle).

Dans une expérience de l'INRA, il a été montré qu'un compost immature (1 mois de compostage) agit de façon beaucoup plus importante sur la séquestration du carbone qu'un compost mûr (6 mois de compostage).

Source : INRA, Annabi, 2005



Présentation schématique des effets variables des composts sur la stabilisation des agrégats du sol et sur le stockage de carbone.

Compost immature OMR = Ordures Ménagères triées

Compost mûr type BIO = Ordures Ménagères co-compostées avec des déchets verts

Une application tous les ans de broyat frais, à l'instar d'un compost mûr, permettrait ainsi d'améliorer de façon considérable le stock de carbone dans les sols en prenant pour modèle le « recyclage » de la matière organique réalisé dans les sols forestiers. L'utilisation de déchets verts frais et broyés est d'après l'étude la technique de valorisation à favoriser de par ses avantages environnementaux et agronomiques. En effet, du point de vue environnemental, le peu de transformations nécessaires à son utilisation en fait une technique particulièrement économique et peu gourmande en énergie.

b) Le Bois raméal fragmenté, inspiré de l'écosystème forestier

La méthode d'utilisation de broyat frais s'apparente en réalité à la technique du BRF (Bois Raméal Fragmenté). Cette technique est étudiée depuis plus de 40 ans au Canada. Les résultats obtenus permettent un développement dans de nombreux pays. Il s'agit des branches d'arbres de fin diamètre, broyées en copeaux, ce qui favorise l'attaque enzymatique. Ce copeau est ensuite épandu de la même manière que notre broyat frais de déchets verts et permet une amélioration de la structure et de la vie du sol. La réintroduction de lignine dans les sols permet une activation de l'activité biologique, permettant la création d'humus, agissant ainsi sur les mécanismes de gestion des sols : flux de nutriments, structure, propriétés chimiques, nutrition des plantes...

« Les sols agricoles issus de forêts de feuillus sont dégradés. Le BRF peut permettre le retour de la fertilité dans les sols, en activant les mécanismes de régénération via les chaînes trophiques » (Lemieux, 1996). Le BRF valorise la biomasse forestière et contribue ainsi à la réduction des émissions nationales de gaz à effet de serre (Article 43 de la L.O.A., ONF, 2006).

➤ Impact sur l'activité biologique des sols

L'apport de BRF, matière fraîche et non dégradée, constitue un substrat particulièrement intéressant pour le développement de la faune du sol et pour les décomposeurs. Il permet une augmentation des populations d'actinomycètes, de bactéries et de

champignons. Les 6 premiers mois, la stimulation de la population de champignons est effective, et se prolonge pendant deux ans. Les champignons jouent un rôle clé dans la décomposition de la lignine, dans la création d'humus, dans le cycle des éléments minéraux et notamment du carbone. Ils permettent également de stimuler la pédofaune. Ainsi se mettent en place les chaînes trophiques dans les sols, rendant le système plus stable par un équilibre entre prédateurs et auxiliaires, permettant de jouer un rôle tampon.

« Le potentiel d'apport végétal détermine la somme de vie capable d'exister dans un écosystème donné » (Bachelier, 2006).

Les apports effectués habituellement en agriculture se présentent sous forme de matière organique facilement décomposable par les colonies bactériennes, voir des produits uniquement minéraux afin d'augmenter de façon rapide mais non durable, les besoins minéraux des plantes. Ce sont des pratiques de fertilisation des sols. Ces apports suppriment ou réduisent l'activité biologique, diminuant la biodiversité des sols dans les agro-systèmes. C'est pourtant cette diversité biologique du sol qui est le support de la fertilité et qui permet la structuration, la mise à disposition des éléments nutritifs pour les plantes, la régulation des populations de nuisibles. Un sol vivant et bien nourri est un sol fertile qui devrait être à la base de toute agriculture durable.

➤ *Impact sur la teneur en matière organique et sur la fabrication d'humus*

La matière organique (MO), est la matière première à partir de laquelle l'humus se forme. La quantité de MO restituée au sol est donc primordiale pour préserver les propriétés physiques et chimiques du sol. En forêt de hêtres et de chênes, la chute de feuilles et de branches représente en moyenne de 2 à 4 tonnes par hectare et par an (Duchaufour, 1995). Ces matériaux riches en lignine sont à l'origine de la formation des substances humiques. En agriculture, l'export de matière organique est supérieur à la restitution au sol, les apports sont effectués majoritairement sous forme minérale, les amendements organiques sont souvent insuffisants et dégradés trop rapidement, ne permettant qu'un faible apport de substances humiques (Ndayegamiye et Dubé, 1986). Le BRF contient de la lignine qui est l'élément clé pour faire de l'humus stable. Les expérimentations réalisées par le CTA (Centre des Technologies Agronomiques) montrent que 1 m³ de BRF produit environ 75 kg d'humus et augmente la fraction stable de matière organique dans le sol (Noël, 2006). D'autres expériences ont quantifié un gain de 10 % à 70 % de matière organique

(Ndayegamiye et Dubé, 1986 ; Guay & al, 1982 in Lemieux, 1996). Tous les composts augmentent la quantité de matière organique dans les sols (en valeur absolue), mais sa stabilité dépend de la quantité de lignine présente (Houot, 2007).

➤ *Impact sur la structure du sol*

La structure du sol est définie par l'organisation entre la matière solide et des pores, occupés par de l'eau ou de l'air. Cette répartition conditionne les propriétés physiques du sol et la possibilité de croissance des plantes, l'aération permettant la respiration racinaire, la capacité de rétention en eau etc. Une bonne structure est obtenue grâce à un sol vivant, c'est-à-dire par l'activité biologique du sol mais également par la teneur en humus agissant au travers du complexe argilo humique comme structurant principal du sol.

Selon l'expérience du Centre des Techniques agronomiques de Stree (CTA, Belgique, Noël, 2006), l'ajout de BRF au sol augmente la capacité de rétention d'eau tout en favorisant une macroporosité permettant un ressuyage rapide. Le BRF permet donc d'apporter une solution aux sols hydromorphes tout comme aux sols sableux.

L'apport de BRF améliore ainsi la résistance à l'érosion en évitant le ruissèlement, il évite la battance et diminue les risques de tassement, de coulées de boues... (Noël, 2006).

➤ *Impact sur la nutrition azotée*

« De tous les éléments minéraux, l'azote et celui dont la carence restreint le plus la croissance des végétaux et le rendement des cultures » (Campbell et Reece, 2004). C'est pourquoi de nombreuses formes d'engrais riches en azote organique sont apportées au sol : fumiers, lisiers, boues, etc. Le BRF en fait partie. Cet azote ne sert cependant pas la première année car il doit être minéralisé avant d'être disponible pour les plantes Dans les sols cultivés, les fertilisants classiques sont minéralisés trop vite et

souvent au mauvais moment, ce qui entraîne des fuites vers les nappes ou les eaux de surfaces. C'est cette pollution qui est combattue activement et réglementée par l'Union Européenne (directives nitrates).

On observe une immobilisation de l'azote lorsqu'on épand du BRF avec des lisiers ou des fumiers. Sur un sol contenant une dose fixe de BRF, on constate que plus on met d'azote, plus il y en a de fixé. En effet, le BRF apporte du carbone, qui n'est ainsi plus un facteur limitant pour la flore du sol. Les champignons prolifèrent en proportion de la quantité de BRF ajoutée et absorbent une quantité proportionnelle d'azote. L'azote libre et lessivable est réduit à une quantité infime, réduisant tout risque de pollution des nappes ou des cours d'eau. Cette action s'ajoute à l'amélioration de la structure limitant déjà le lessivage et le ruissèlement.

Dans plusieurs expériences, l'immobilisation de l'azote par le BRF a pu pénaliser certaines cultures la première année. Mais une fois la faim d'azote maîtrisée et prévue, les rendements sont meilleurs en présence de BRF (Ndayegamiyé et Dubé, 1986 ; Noël, 2006)

➤ *Impact sur le pH*

Le pH du sol est déterminant dans le rôle qu'il joue concernant la disponibilité des nutriments pour la plante, l'activité des micro-organismes, la solubilité des éléments minéraux et la structure du sol (USDA, 1998 ; Campbell et Reece, 2004). L'agriculture actuelle fait de plus en plus face au problème d'acidification des sols. Selon les expériences, on observe une stabilisation du pH (Noël, 2006) ou bien son augmentation (Guay & Al., 1982 in Lemieux, 1996) grâce à l'apport de BRF. Le professeur Lemieux (1996) considère que le BRF permet « l'établissement d'équilibres chimiques et physiques régulés par un contrôle biologique ». On retrouve encore ici le rôle régulateur ou de tampon, de la vie hébergée dans les habitats du sol (l'activité biologique).

➤ *Impact sur la nutrition des plantes*

Tout comme l'azote et le potassium, le phosphore est un élément essentiel à la nutrition des cultures. Du fait de sa faible concentration dans les sols et de sa faible solubilité, il est souvent peu disponible pour les racines des plantes (Karemangingo, 2004). De plus le phosphore se combine facilement avec le fer, l'aluminium ou le calcium pour former des composés relativement insolubles (Lemieux, 1996; Provencher, 2003). Le BRF apporte une enzyme capable de le libérer (Lemieux, 1996). Il augmente également la teneur en éléments minéraux comme Mg, P, K, Ca...

➤ *Impact sur la dégradation des produits phytosanitaires*

En règle générale, les produits qui sont autorisés actuellement sont bien supportés par les sols, qui les dégradent rapidement. Le problème est qu'ils ne doivent absolument pas rejoindre les nappes et les cours d'eau sous peine de contamination. Le ruissellement sur la parcelle est donc particulièrement dangereux, les phytosanitaires doivent pénétrer le sol par infiltration pour pouvoir être dégradés (Duchaufour, 1995 ; Robert, 2001). Le BRF apporte une meilleure structure et accélère l'infiltration. De même, il favorise le développement de l'activité biologique laquelle entraînera la dégradation des produits phytosanitaires. Avec une telle gestion organique, le sol se transforme en « phytobac ». Le phytobac est un procédé normé d'épuration des fonds de cuves de pulvérisateurs. Il s'agit de vidanger les restes de bouillies dans un bac rempli de matière organique, de la tourbe ou de la paille, support de l'activité biologique qui dégradera les résidus phytosanitaires issus de la chimie organique.

➤ *En Bilan*

En s'inspirant de l'écosystème forestier, par l'apport au sol d'un amendement riche en lignine, on fait simplement revivre le sol. Les résultats scientifiques prouvent que l'apport de BRF, ou de broyat frais de déchets verts permet :

- De rétablir l'activité biologique
- De transformer les sols en un puits de carbone
- De diminuer les GES dus au compostage
- D'améliorer la structure du sol, évitant l'érosion
- D'augmenter l'eau disponible pour les plantes
- D'épurer biologiquement l'eau (nitrates, molécules phytosanitaires...)
- De permettre une meilleure nutrition des plantes (apport d'azote, de phosphore, de potassium, de Calcium, de Magnésium...)
- Une augmentation de rendements

Cette technique d'utilisation du BRF ouvre donc des perspectives énormes en termes de bénéfices environnementaux, économiques et énergétiques. Elle permet une irrigation réduite, une consommation raisonnée de phytosanitaires et d'engrais et, par l'utilisation du travail gratuit de l'activité biologique, le remplacement de l'énergie fossile. La diminution du travail du sol autorise de plus la préservation des habitats, c'est-à-dire que cette technique de conservation du sol va autoriser l'amélioration de l'activité biologique par préservation des biotopes. Une alliance entre les pratiques de conservation du sol et les apports de BRF ou de déchets verts frais donnera des potentiels agronomiques importants.

c) Où trouver de la lignine ?

Après avoir fait le point sur les avantages liés à cette technique la question de la ressource en bois se pose. Avons-nous des ressources suffisantes pour mettre en place cette technique à grande échelle ? Quels peuvent être les secteurs en concurrence avec le BRF pour la ressource en bois ?

Comme il l'a été démontré dans ce rapport, la ressource de déchets verts est une des pistes clé, d'autant qu'elle est déjà mise en place dans certaines régions. Pour bénéficier d'une ressource de BRF en quantité, la gestion des déchets verts doit faire l'objet d'une vraie réflexion et d'une réelle remise en question. Le fait de limiter le compostage au strict minimum, afin de satisfaire les secteurs où le compost a une réelle utilité, là où son utilisation est indispensable, permettrait de valoriser la ressource à destination d'autres secteurs tels que le bois énergie, où la filière BRF, limitant de ce fait les émissions de GES issues du compostage.

La concurrence vis-à-vis du bois énergie n'est pas évidente, étant donné que la technique du BRF utilise principalement les branches de faible diamètre et autres déchets verts, laissant disponible le bois de plus gros diamètre ainsi que les troncs et souches pour la filière énergétique. De plus, brûler des branches jeunes (les fines de broyages) provoque des émissions de chlore lors de la combustion. Cette libération de chlore est très corrosive pour les chaudières et contre productive économiquement (durée de vie des chaudières).

La réintroduction des arbres dans les exploitations agricoles paraît aujourd'hui une piste intéressante et inévitable suite au remembrement et à ses conséquences négatives au niveau environnemental. La réintroduction et l'entretien des haies bocagères permettraient la mise à disposition d'une ressource conséquente en bois, aussi bien pour la production de matériaux que pour l'énergie et le BRF.

Le développement de l'agroforesterie et des taillis à très courte rotation (TTCR) permettraient également de créer une ressource considérable pour l'agriculture comme pour les filières énergétiques. Certaines projections mondiales montrent que la lutte contre le réchauffement climatique passera par la plantation d'au moins 400 millions d'ha SAU d'arbres (d'après Lester Brown, le plan B, hachette littérature, 2007).

Bibliographie

ADEME, étude énergéco 2007, valeur moyenne de consommation réellement observées pour des véhicules de transport de 231 à 310 Ch.

[en ligne] disponible sur : <http://www.energeco.org/> consulté le 18/07/2011.

ADEME et al., 2005. In impact environnementaux de la gestion biologique des déchets, bilan de connaissances. p. 28-43, 151.

ADEME, Délégation régionale des pays de la Loire, Informations générales sur les déchets [en ligne] disponible sur : <http://www.dechets-paysdelaloire.com/information-dechets/dechet-non-dangereux/dechets-organiques/dechets-verts.htm> consulté le 07/07/2011

ANNABI M., LE BISSONNAIS Y., FRANCOU C., LE VILLIO-POITRENAUD M., HOUOT S. Utilisation de composts pour améliorer la stabilité structurale des sols limoneux Issu de la thèse de doctorat de ANNABI M., 2005. Paris: INA-PG. *Publication en anglais en 2007 dans le Sol Science Society of America Journal*.71. p.413-423

ARROUAYS D., BALESSENT J., GERMON J.C., JAYET P.A., SOUSSANA J.F. et STENGEL P., 2002. Contribution à la lutte contre l'effet de serre. Stocker du carbone dans les sols agricoles de France? Expertise scientifique collective. Synthèse INRA. p. 32.

BACHELIER G., 2006. Activité biologique des sols et techniques simples qui en permettent l'évaluation. Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux. n°211. p.2-8

BATJES N-H., 1999. Management options for reducing CO2 concentrations in the atmosphere by increasing carbon sequestration in the soil. *Dutch National Research Programme on Global Air Pollution and Climate Change*.

CALITOM, 2011. Découvrir les activités: les plateformes de compostage. [en ligne] disponible sur <http://www.calitom.com/index-module-orki-page-view-id-151.html> consulté le 18/07/2011. Ainsi que communications personnelles: site de l'Ouche Grillée, 16190 Poullignac.

CAMPBELL N. A., REECE J. B., 2004. Biologie, 2ème édition. De Boeck, Bruxelles.

CITEPA, 2007. Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en France au titre de la Convention cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. [en ligne]

Disponible sur <http://www.citepa.org/publications/Inventaires.htm> Consulté le 03/08/2011

CTA, Centre des Techniques Agronomiques. Projet BRF [en ligne] disponible sur : <http://www.ctastree.be/BRF/indexbrf.htm> consulté le 18/08/2011.

DUCHAUFOR P., 1995. Pédologie. Sol, végétation, environnement. 4ème édition. Masson, Paris.

EFMA, 2000. European Fertilizer Manufacturers Association, Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry, Production of NPK fertilizers.

FAO, 2011. Food and Agriculture organization. Adapter l'agriculture au changement climatique [en ligne] disponible sur http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/Webposting_FR.pdf consulté le 19/08/2011. Changement climatique et gestion des risques de catastrophes [en ligne] disponible sur : <ftp://ftp.fao.org/nr/HLCinfo/Disaster-Infosheet-Fr.pdf> consulté le 22/08/2011.

GES'TIM, 2010. Guide méthodologique d'évaluation de l'impact des activités agricoles sur l'effet de serre. Réalisé par le CETIOM, ITB, ARVALIS. p.3.

HELLEBRAND H.J., W.-D. Kalk, 2001. Emission of carbon monoxide during composting of dung and green waste. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, Vol.60, N°1-3, p.79-82.

HELLEBRAND H.J., 1998. Emission of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste. *Journal of Agricultural Engineering Research*, Vol.69, n°4, p.365-375.

HOUOT S., BODINEAU G., RAMPON J.N., BALESSENT J., LE VILLIO-POITRENAUD M. Effect of repeated urban compost applications on soil organic matter. Symposium international: Organic matter: dynamics in agro-ecosystems, Poitiers, France ; 16-19 juillet 2007. INRA.

KAREMANGINGO C., 2004. Problème environnemental liés au phosphore dans les sols du New-Brunswick. [en ligne] Disponible sur www.gnb.ca/0173/30/0173300016-f.asp consulté 08/08/2011.

LAL R., Challenges and opportunities in organic matter research. Symposium international: Organic matter: dynamics in agro-ecosystems, Poitiers, France ; 16-19 juillet 2007. INRA.

LAL R. 2000. Soil aggregation and C sequestration. p. 317-329. *In Global climate change and tropical ecosystems.*

LAL R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ enrichment. *Soil and Tillage Research* n°43. p. 81-107.

LEMIEUX G., 1996. Cet univers caché qui nous nourrit : le sol vivant. Groupe de Coordination sur les Bois Raméaux. n°59.p.10-38

LYNCH D.H., VORONEY R.P., WARMAN R., 2006. Caractérisation de la dynamique du carbone et de l'azote pendant le compostage, *In Soil Biology and Biochemistry* [en ligne] disponible sur : http://www.organicagcentre.ca/ResearchDatabase/res_cn_dynamics_f.asp consulté le 18/08/2011

MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. chapter 26 cultivated systems p.768-777.

Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, 1999. A chaque déchets ses solutions – déchets verts [en ligne] disponible sur : <http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?catid=14732>. Consulté le 07/07/2011

MOIZAN F., 1998. Eléments de calcul des émissions de gaz à effet de serre dans les installations énergétiques. p. 2-3.

NDAYEGAMIYE A., DUBÉ A., 1986. L'effet de l'incorporation de matières ligneuses sur l'évolution des propriétés chimiques du sol et sur la croissance des plantes. *Canadian journal of soil science.* n°66. p.623-631.

NOËL B., 2006. Mise en œuvre de la technique du Bois Raméal Fragmenté (BRF) en agriculture wallonne. Centre des Technologies Agronomiques Communauté Française, Strée.

ONF, 2006. Point sur : Forêts et Carbone. Office National des Forêts. n°5.p.3-4

PAILLAT J.-M., HASSOUNA M., ROBIN P., 2005. Abattements d'azote lors du compostage de fumier de vaches laitières : exemple de cinq élevages des Côtes d'Armor. INRA Rennes.

PROVENCHER M., 2003. Evaluation spatiale de l'efficacité agronomique du LIOR dans la pomme de terre. Laval, Québec: Faculté de l'agriculture et de l'alimentation. Rapport de maîtrise.

ROBERT M., 2001. Les milieux naturels continentaux, La jaune et la rouge : juin 2001. Le sol et l'environnement. [en ligne] disponible sur : http://www.x-environnement.org/index.php?option=com_content&view=article&id=57%3A2001&catid=36%3Ajaune-rouge&Itemid=41 consulté le 05/08/2011

Annexes

Annexe 1 : Résultats spécifiques des 7 exploitations

Annexe 2 : Les services écologiques associés au management de la matière organique

668 Tonnes
de déchets verts

Usage mixte (frais ou composté)

Provenance: 16 km

La première moitié du broyat est épandue immédiatement, la seconde est conservée en andain durant 5 mois. L'épandage est réalisé sur les sols sableux à raison de 40T/hectare.

Impact environnemental

Transport de la plateforme
de collecte à l'exploitation :
3 040 Km
912 L de gasoil*

Consommation lors du broyage :
583 L de fioul

Émissions de GES pour
transport et broyage:
4,43 Tonnes de CO₂

Compostage : oui pour 334 Tonnes
de broyat, sans retournements.

Dégagement de GES durant la
maturation*:
91,18 Tonnes de CO₂

Utilisation d'eau durant le
compostage: aucune

Dégagement de GES durant le
compostage:
91,18 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

*source: CEMAGREF, Mallard et al, 2005

Bilan: 0,143 Tonne de CO₂ émis par Tonne de déchet valorisé

GES évités comparé à une valorisation sur le centre de compostage industriel concerné:

Transports

Près de 12 350 Km
Près de 3 705 Litres* de gasoil
Rejets évités: 11 Tonnes de CO₂

Compostage

Rejets évités: 94,54 Tonnes de CO₂

Bilan: Rejets évités: 105,54 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Résultats de l'exploitation

Technique agronomique: Grandes cultures en système labour

Bilan énergie:

387 TEP* produites sur 153 ha de SAU

61 TEP* consommées (valeur calculée avec l'utilisation du compost de broyat local)
Pour information, avec l'utilisation équivalente de compost industriel (167 T)
265 TEP* consommées (source planète, ADEME: 1 Tonne de compost industriel=51 500Mj)

Efficiences énergétique:

0,16 TEP consommée/TEP produite
63 Litres de fioul/Tonne produite

Pour information:

Bilan azote: 80 kg/ha

Emissions de GES:

1,26 Tonnes de CO₂/Ha de SAU
0,19 Tonnes de CO₂/Tonne produite
194 Grammes de CO₂/Kg produit

*Totalité de la production et énergie consommée par le processus de culture exprimés en TEP

Pistes d'amélioration:

Le processus de compostage a un effet négatif sur le bilan GES, la conservation d'un andain durant 5 mois bien que non arrosé, ni retourné implique une fermentation, il serait bénéfique d'épandre systématiquement directement après le broyage. Pour information, voir les études disponibles sur le BRF.

658 Tonnes
de déchets verts

broyat frais

Agriculteur n°2

Provenance: 5 km

Le broyat est
épanché à raison de 15 Tonnes à
l'hectare.



Impact environnemental

Transport de la plateforme
de collecte à l'exploitation :
940 Km
282 L de gasoil*

Consommation lors du broyage :
575 L de fioul

Émissions de GES pour
transport et broyage:
2,54 Tonnes de CO₂

Compostage : non

Dégagement de GES durant le
compostage: aucun

Utilisation d'eau durant le
compostage: aucune

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Bilan: 0,004 Tonne de CO₂ émis par Tonne de déchet valorisé

GES évités comparé à une valorisation sur le centre de compostage industriel concerné:

Transports

Près de 10 622 Km
Près de 3 187 Litres* de gasoil
Rejets évités: **9,44 Tonnes de CO₂**

Compostage

Rejets évités: **182,93 Tonnes de CO₂**

Bilan: Rejets évités: 192,37 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Résultats de l'exploitation

Technique agronomique: Grandes cultures en semis direct

Bilan énergie:

395 TEP* produites sur 238 ha de SAU
62 TEP* consommées

Efficiences énergétique:

0,16 TEP consommée/TEP produite
72 Litres de fioul/Tonne produite

Pour information:

Bilan azote: 71 kg/ha

Emissions de GES:

0,56 Tonnes de CO₂/Ha de SAU
0,15 Tonnes de CO₂/Tonne produite
152 Grammes de CO₂/Kg produit

*Totalité de la production et énergie consommée par le processus de culture exprimés en TEP

Pistes d'amélioration:

Economiser 40 kg d'azote à l'hectare ou augmenter le rendement d'une tonne à l'hectare. Il ne doit cependant pas y avoir de problème lié au lessivage de l'azote, étant donné l'utilisation de broyat frais, permettant de remobiliser l'azote disponible dans le but de dégrader la lignine.

1307 Tonnes
de déchets verts

broyat composté

Agriculteur n°3

Provenance: 10,5 km

Impact environnemental

Transport de la plateforme
de collecte à l'exploitation :
3 906 Km
1 171 L de gasoil*

Consommation lors du broyage :
1 136 L de fioul

Émissions de GES pour
transport et broyage:
6,83 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Compostage : oui

2 retournements: 46 L de fioul
Dégageement de GES durant la
maturation*:
356,81 Tonnes de CO₂

Utilisation d'eau durant le
compostage: 400 L/tonnes de
broyat

Dégageement de GES durant le
compostage:
356,94 Tonnes de CO₂

*source: CEMAGREF, Mallard et al, 2005

Bilan: 0,278 Tonne de CO₂ émis par Tonne de déchet valorisé

GES évités comparé à une valorisation sur le centre de compostage industriel concerné:

Transports

Près de 25 854 Km
Près de 7 757 Litres* de gasoil
Rejets évités: **22,98 Tonnes de CO₂**

Compostage

Rejets évités: **6,44 Tonnes de CO₂**

Bilan: Rejets évités: 29,42 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Le compost est mélangé
à du fumier de poules et de cheval. Le
mélange est ensuite épandu à raison de
15 Tonnes par hectare.



Résultats de l'exploitation

Technique agronomique: Grandes cultures en Agriculture Biologique

Bilan énergie:

364 TEP* produites sur 201 ha de SAU

146 TEP* consommées (valeur calculée avec l'utilisation du compost de broyat local)

Pour information, avec l'utilisation équivalente de compost industriel (653,5 T)

945 TEP* consommées (source planète, ADEME: 1 Tonne de compost industriel=51 500Mj)

Efficiences énergétique:

0,40 TEP consommée/TEP produite

166 Litres de fioul/Tonne produite

Pour information:

Bilan azote: 33,8 kg/ha

Emissions de GES:

2,03 Tonnes de CO₂/Ha de SAU

0,45 Tonnes de CO₂/Tonne produite

453 Grammes de CO₂/Kg produit

*Totalité de la production et énergie consommée par le process de culture exprimés en TEP

Pistes d'amélioration:

Le processus de compostage a un effet négatif sur les GES émis, une utilisation de broyat frais agirait positivement sur le bilan GES, en évitant la fermentation. Des modifications de techniques agronomiques seront à apporter afin de gérer les adventices en agriculture biologique.

960 Tonnes
de déchets verts

broyat composté

Agriculteur n°4

Provenance: 10 km

Le compost obtenu
est épandu à raison de 10
Tonnes par hectares



Impact environnemental

Transport de la plateforme
de collecte à l'exploitation :
2 740 Km
8 22 L de gasoil*

Consommation lors du broyage :
839 L de fioul

Émissions de GES pour
transport et broyage:
4,92 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Compostage : oui

2 retournements: 45,6 L de fioul
Dégagement de GES durant la
maturation*:
262,08 Tonnes de CO₂

Utilisation d'eau durant le
compostage: 300 L par Tonne de
broyat

Dégagement de GES durant le
compostage:
262,21 Tonnes de CO₂

*source: CEMAGREF: Mallard et al. 2005

Bilan: 0.273 Tonne de CO₂ émis par Tonne de déchet valorisé

GES évités comparé à une valorisation sur le centre de compostage industriel concerné:

Transports

Près de 18 632 Km
Près de 5 589 Litres* de gasoil
Rejets évités: 16,56 Tonnes de CO₂

Compostage

Rejets évités: 4,69 Tonnes de CO₂

Bilan: Rejets évités: 21,25 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Résultats de l'exploitation

Type de cultures: Grandes cultures, portes graines et vignoble

Bilan énergie:

476 TEP* produites sur 182 ha de SAU

70 TEP* consommées (valeur calculée avec l'utilisation du compost de broyat local)

Pour information, avec l'utilisation équivalente de compost industriel (480 T)

656 TEP* consommées (source planète, ADEME: 1 Tonne de compost industriel=61 500Mj)

Efficiences énergétique:

0,15 TEP consommée/TEP produite

53 Litres de fioul/Tonne produite

Pour information:

Bilan azote: 55,7 kg/ha

Emissions de GES:

2,30 Tonnes de CO₂/Ha de SAU

0,30 Tonnes de CO₂/Tonne produite

307 Grammes de CO₂/Kg produit

*Totalité de la production et énergie consommée par le process de culture exprimés en TEP

Pistes d'amélioration:

Le compostage à un effet négatif sur les GES émis, une utilisation de broyat frais agrait positivement sur le bilan GES, en évitant la fermentation. De plus la lignine ainsi apportée aurait pour effet une réorganisation de l'azote et donc une amélioration du bilan azote.

650 Tonnes
de déchets verts

broyat frais

Agriculteur n°5

Provenance: 27km

Le broyat est épandu à
raison de 10T/ha, sur 65 ha tous les
ans, l'ensemble de la SAU est amendée
en 3 ans.



Impact environnemental

Transport de la plateforme
de collecte à l'exploitation :
4 968 Km
1 490 L de gasoil*

Consommation lors du broyage :
568 L de fioul

Émissions de GES pour
transport et broyage:
6,09 Tonnes de CO₂

Compostage : non

Dégagement de GES durant le
compostage: aucun

Utilisation d'eau durant le
compostage: aucune

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Bilan: 0,009 Tonne de CO₂ émis par Tonne de déchet valorisé

GES évités comparé à une valorisation sur le centre de compostage industriel concerné:

Transports

Près de 14 996 Km
Près de 4 499 Litres* de gasoil
Rejets évités: **13,33 Tonnes de CO₂**

Compostage

Rejets évités: **180,71 Tonnes de CO₂**

Bilan: Rejets évités: **194,04 Tonnes de CO₂**

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Résultats de l'exploitation

Technique agronomique: Grandes cultures en semis direct

Bilan énergie:

420 TEP* produites sur 227 ha de SAU
51 TEP* consommées

Efficienc e énergétique:

0,121 TEP consommées/TEP produite
49 Litres de fioul/Tonne produite

Pour information:

Bilan azote: 40,1 kg/ha

Emissions de GES:

0,54 Tonnes de CO₂/Ha de SAU
0,117 Tonnes de CO₂/Tonne produite
117 Grammes de CO₂/Kg produit

*Totalité de la production et énergie consommée par le process de culture exprimés en TEP

Pistes d'amélioration:

Economiser 10 kg d'azote à l'hectare ou augmenter sensiblement le rendement

350 Tonnes
de déchets verts

broyat composté

Agriculteur n°6

Impact environnemental

Transport de la plateforme
de collecte à l'exploitation :
1 568 Km
470 L de gasoil*

Consommation lors du broyage :
306 L de fioul

Émissions de GES pour
transport et broyage:
2,30 Tonnes de CO₂

Compostage : oui

3 retournements: 60,8 L de fioul

Dégagement de GES durant la
maturation*:
95,55 Tonnes de CO₂

Utilisation d'eau durant le
compostage: inconnue

Dégagement de GES durant le
compostage:
95,73 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

*source: CEMAGREF: Mallard et al, 2005

Bilan: 0,280 Tonne de CO₂ émis par Tonne de déchet valorisé

GES évités comparé à une valorisation sur le centre de compostage industriel concerné:

Transports

Près de 5 880 Km

Près de 1 764 Litres* de gasoil

Rejets évités: **5,22 Tonnes de CO₂**

Compostage

Rejets évités: **1,58 Tonnes de CO₂**

Bilan: Rejets évités: 6,80 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Provenance: 16 km

Le broyat fermente durant 6 mois environ, il est retourné à trois reprises et arrosé. Il est ensuite épandu sur une surface mise au repos de 20ha chaque année, à raison d'environ 10T/ha en complément de fumier de bovin. Du sorgho est implanté sur cette surface afin de couvrir le sol et la biomasse créée est ensuite conservée pour être incorporée au sol.

L'exploitation

Pépiniériste

209 ha de SAU

L'outil de l'IAD permettant de mesurer les indicateurs n'est pas adapté à cette culture spécialisée. Il à donc été impossible de réaliser un bilan énergétique et GES pour cette exploitation.



Pistes d'amélioration:

Le processus de compostage à un effet négatif sur les GES émis, une utilisation de broyat frais agirait positivement sur le bilan GES, en évitant la fermentation.

1193 Tonnes
de déchets verts

broyat composté

Agriculteur n°7

Provenance: 6,5 km

De la paille humide et des déchets de poireaux sont incorporés dans le broyat, facilitant ainsi le compostage par l'apport de matière humide. Le compost obtenu est épandu à raison de 12T à 14T/ha.



Impact environnemental

Transport des plateformes
de collecte aux l'exploitations :
2 210 Km
663 L de gasoil*

Consommation lors du broyage :
1 048 L de fioul

Émissions de GES pour
transport et broyage:
5,07 Tonnes de CO₂

Compostage : oui
3 retournements: 53,2 L de fioul
Dégagement de GES durant la
maturation*:
325,69 Tonnes de CO₂
Utilisation d'eau durant le
compostage: aucune
Dégagement de GES durant le
compostage:
325,85 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

*source: CEMAGREF, Maillard et al. 2005

Bilan: 0,277 Tonne de CO₂ émis par Tonne de déchet valorisé

GES évités comparé à une valorisation sur le centre de compostage industriel concerné:

Transports

Près de 24 650 Km
Près de 7 395 Litres* de gasoil
Rejets évités: **21,91 Tonnes de CO₂**

Compostage

Rejets évités: **5,80 Tonnes de CO₂**

Bilan: Rejets évités: 27,33 Tonnes de CO₂

*source: étude énergeco 2007, ADEME

Résultats de l'exploitation

Technique agronomique: culture spécialisée de tabac

Bilan énergie:

315 Tonnes de tabac produits sur 124 ha de SAU
480 TEP* consommées (valeur réelle, calculée avec l'utilisation du compost de broyat local)

Pour information, avec l'utilisation équivalente de compost industriel (596 T)
1192 TEP* consommées (source planète, ADEME: 1 Tonne de compost industriel=51 500Mj)

Efficiences énergétique:

1,52 TEP consommées/Tonne produite et séchée
1 561 Litres de fioul/Tonne produite et séchée

Pour information:

Bilan azote: 10,2 kg/ha

Emissions de GES:

4,49 Tonnes de CO₂/Ha de SAU
1,77 Tonnes de CO₂/Tonne produite et séchée
1 771 Grammes de CO₂/Kg produit et séché

*Totalité de la production et énergie consommée par le processus de culture exprimés en TEP

Pistes d'amélioration: Un intérêt énorme au niveau agronomique ainsi qu'au niveau des émissions de GES peut être apporté en utilisant le broyat frais directement, sans passer par un processus de compostage. A voir s'il est possible d'adapter la technique à la culture de tabac.

Annexe 2

Les services écologiques associés au management de la matière organique

Source : USDA – ARS Center – Don Reicosky 2002

