

Evaluation énergétique de 15 intrants agricoles
pour le tournesol et le maïs.
Création d'une banque d'équivalences énergétiques
pour chaque intrant permettant de calculer le rendement énergétique des cultures.
Application aux cultures énergétiques :
Combustion directe des graines - Huile végétale pure - Esters d'huiles - Éthanol carburant
Mise en parallèle des productions d'éthanol
aux USA et en France

Septembre 2006

Sommaire

Abréviations et sigles utilisés : auteurs et organismes cités.

Avant propos.

Introduction.

Objectifs de l'étude.

Méthodologie utilisée pour cette étude.

- I - Problématiques de recherches ou d'investigations. 8*
- I - 1 - Liste temporelle des publications sélectionnées.*
 - I - 2 - Analyse transversale des publications :
Première conclusion personnelle.
Travaux antérieurs.*
- II – Définitions : Productivité à l'ha, efficacité énergétique et valeur énergétique nette.*
- III - Les travaux de David Pimentel : 14*
- III - 1 - Production d'éthanol à partir de maïs, de panic érigé et de bois (cellulose)
15 intrants de 4 cultures pour 2 biocarburants : l'éthanol et l'ester*
 - III - 2 - Répartition des intrants énergétiques pour le maïs et le tournesol
et comparaison Pimentel – EBAMM.*
 - III - 3 - Comparaisons environnementale, énergétique et économique de modes de
productions agricoles biologique et conventionnelle : 22 ans d'essais agronomiques.*
- IV - Approche de Dominique Soltner en 1990 p444 ed 18 18*
Comparaison des cultures de blé en classique et en biologique. Synthèse des résultats.
- V Approche de FiBl – Fal : dossier IRAB n°1 mai 2001 : 21 ans d'essai DOC en Suisse*
- VI- EBAMM et les travaux d'Alexander Farrell : 19*
- Evaluation de l'énergie interne des 15 intrants agricoles :*
 - VI - 1 - phase agricole*
 - VI - 2 - phase industrielle*
 - Comparaison des filières maïs et cellulosique*
- VII - Comparaison des équivalences énergétiques des intrants pour 6 sources :*
- VIII - Evaluation des productions d'énergies et des rendements des cultures. 23*
- VIII - 1 - Comparaisons des publications pour le maïs à éthanol
Efficacités énergétiques de la production de maïs et d'éthanol selon les sources.*
 - VIII - 2 - Comparaisons des cultures entre elles*

IX - Solutions – propositions **28**

- IX - 1 - Adéquation culture – élevage :
une contrainte incontournable pour une agriculture pérenne.*
- IX - 2 - Notion d'UGB : Unité de Gros Bétail ou Bovin
et notion d'UGBF : Unité Gros Bétail Fumure développée par FiBl*
- IX - 3 - La dualité énergétique d'un UGB*
- IX - 4 – Questionnement.*

X - Etude de quelques intrants : **31**

- X - 1 - Les engrais NPK*
- X - 2 - Les amendements calciques.
Test de l'effervescence à l'acide sulfurique ou chlorhydrique :*
- X - 3 - La semence*
- X - 4 - Le labour et les TCS*
- X - 5 - Le séchage*
- X - 6 - L'irrigation*
- X - 7 - Le transport des marchandises*
- X - 8 - Le Bois Raméal Fragmenté : BRF*

Conclusions : **44**

- 1. sur le maïs*
- 2. sur les 2 valorisations énergétiques des productions agricoles et forestières :*
- 3. sur l'avenir souhaité de l'agriculture française*
- 4. sur l'évaluation énergétique des intrants cultureux*

Annexes techniques : **48**

- 1. Approche micro économique de la valorisation énergétique de la biomasse : PCI
PCI au litre ou densité énergétique et approche économique au kWh*
- 2. PCI ou énergie interne du gazole : quelles sont les données correctes ?*
- 3. PCI des carburants alternatifs*
- 4. PCI des grains et autres combustibles*
- 5. Calculs des PCI*
- 6. Analyse des sols : deux approches à finalité différente :
L'approche conventionnelle et la méthode Hérody*

Bibliographie **55**
Résumé et abstract.

Un glossaire est disponible sur <http://scienceenvironnement.free.fr/glossaire/GLOS5.htm>

Ce résumé de 40 pages utiles ainsi que le diaporama de soutenance sont complétés par un rapport complet accessible sur : <http://scienceenvironnement.free.fr/IA/IA.htm>

Abréviations et sigles utilisés : auteurs et organismes cités ;

ADEME	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie, www.ademe.fr/
CIVAM	Centre d'initiatives pour valoriser l'agriculture et le milieu rural, http://fncivam.free.fr/
CUMA	Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole,
EBAMM	Energy and Research Group on Biofuels Analysis Meta-Model http://rael.berkeley.edu/EBAMM/
ECOBILAN	Bureau d'études sur les ACV «développement durable» http://www.ecobilan.fr/index_fr.html
ENESAD	Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon http://www.cge.asso.fr/ecoles/ECOLE203.phtml
ERG	Energy and research Group : http://socrates.berkeley.edu/erg/index.shtml
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (IPCC)
IFHVP	Institut Français des Huiles Végétales Pures, http://institut.hvp.free.fr
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, http://www.ipcc.ch/
Planète	Pour L'ANalyse énerGETique de l'Exploitation agricole, http://www.solagro.org/site/113.html
PWHC	Price WaterHouse Coopers, http://www.pwcglobal.com/fr/fra/main/home/index.html
Solagro	Bureau d'études : initiatives pour l'énergie, l'environnement, l'agriculture
Valbiom	Valorisation non alimentaire de la biomasse, http://www.valbiom.be/
Valénergol	SARL VALorisation ENERgétique des Oléagineux, http://valenergol.free.fr

Sigles :

ACV	Analyse du Cycle de Vie
BRF	Branches & Rameaux Fragmentées
CGM	Corn Gluten Meal ([15] Farrell page 8/23)
CGF	Corn Gluten Feed
DBO₅	Demande Biologique d'Oxygène sur 5 jours
DDGS	Dried Distiller Grains with Solubles
DPU	Droits à Paiement Unique : prime unique par hectare, découplée de la production
EE	Efficacité énergétique d'un produit
EMHV	Ester Méthylique d'Huile Végétale
FOD	Fuel Oil Domestique (gazole agricole ou de chauffage)
GES	Gaz à Effet de Serre : H ₂ O, CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O, ...
GJ	Giga Joule = 10 ⁹ Joule
GNV	Gaz Naturel pour Véhicule : méthane biologique
HHV	High Heating Value = PCS
HVP	Huiles Végétales Pures
IAA	Industries Agro Alimentaires
LHV	Low Heating Value = PCI
MG	taux de matières grasses en %
MJ	Méga Joule = 10 ⁶ J
MS	Matière Sèche
NLSDSC	Non Labour Semis Direct Sous Couvert
OMC	Organisation Mondiale du Commerce
PCI	Pouvoir Calorifique Inférieur
PCS	Pouvoir Calorifique Supérieur
qx	quintaux
REACH	Répertorié, Evaluer, Autoriser 100 000 produits Chimiques
SAU	Surfaces Agricoles Utiles
TCS	Techniques Culturelles Simplifiées
TSL	Techniques Sans Labour
UGB	Unité Gros Bétail

Avant propos :

Ce mémoire formaté pour le master, est un résumé constitué d'extraits d'un rapport* disponible sur le net et sur papier, véritable objet du stage de 7 mois effectué dans les 4 structures suivantes :

L'IFHVP : <http://institut.hvp.free.fr/>.

Le CIVAM AGRO BIO 47 : <http://www.bio-aquitaine.com/content/view/80/99/>

Le Collectif Alternatives énergétiques : <http://collectifnr47.free.fr/indexENR47.htm>

Le Chaudron magique : <http://www.chaudronmagique.fr/>

* Il s'agit d'une ancienne orientation de l'IFHVP : **créer une expertise amont des filières de production des biocarburants**. Cette expertise entre dans le cadre de la nécessaire normalisation des cultures énergétiques et de leurs transformations. Cette orientation prise, en 2003, fut mise en sommeil après le concours Agrice 2004, pour se consacrer à la constitution de l'European Pure Plant Oil Organisation, association européenne des instituts nationaux spécialisés dans la filière « Huile Végétale Pure carburant ».

Cette orientation est d'autant plus d'actualité que la récente Loi d'Orientation Agricole (LOA) autorise et défiscalise, les agriculteurs à autoproduire et consommer de l'huile végétale pure en substitution au gazole pour leurs tracteurs et engins agricoles automoteurs. Cette expertise constitue le véritable point fort de l'IFHVP, dont la mission principale est de maintenir les plus values des cultures énergétiques dans le monde rural, tout en limitant les dérives environnementales.

LOA : http://www.agriculture.gouv.fr/spip/leministere.leministrecabinet.dossiersdeprese_a5643.html fiche 8.

1 - **IFHVP** : L'Institut Français des Huiles Végétales Pures a pour objet :

1. le développement de la filière « huiles végétales pures » et de tous usages des coproduits,
2. la promotion des huiles végétales pures utilisées comme additif ou carburant,
3. l'orientation des motoristes vers le développement de véhicules plus propres fonctionnant avec les HVP,
4. la suppression de tous les obstacles, notamment ceux d'ordre légal, administratif et institutionnel.

2 - **CIVAM AGRO BIO 47** : un CIVAM (Centre d'Initiatives pour Valoriser l'Agriculture et le Milieu rural) est une association de promotion du développement durable dans le milieu rural. Cette association anime des formations techniques, accompagne des projets de territoire, réalise des projets de communication sur l'agriculture durable. L'initiation aux semis directs et une formation aux méthodes d'Yves Hérody ont été organisées en juin 2006.

3 - **Collectif** : « **Alternatives énergétiques en Lot & Garonne** »

Le souhait, simple, du Collectif est que les collectivités locales et les individus soient des acteurs déterminants pour la mise en place, ou l'amplification, d'une politique énergétique qui « ne négligerait plus le bien commun et le long terme ». Le Collectif veut inciter les élus du Lot et Garonne à prendre des mesures en faveur de la maîtrise de l'énergie et des énergies renouvelables et sensibiliser le public à la maîtrise de l'énergie et aux énergies renouvelables.

4 - Le **Chaudron magique** est une ferme pédagogique de découverte du Lot et Garonne en Aquitaine ouverte au public toute l'année avec des animations éducatives. Les pratiques culturelles y sont innovantes : semis direct sans labour sous couvert végétal et sans herbicide. Cette ferme idéale concrétise le passage de l'agriculture intégrée vers l'agro écologie grâce à plusieurs expérimentations sur les alternatives agricoles.

Avant tout agriculteurs, Marie-Pascale et Martin LAVOYER et plus récemment Raphaël ont mis en place un mode de culture nécessitant un minimum d'intrants ; il s'agit du Semis Direct Sans Labour Sous Couvert Végétal (SDSLSC).

Ces 4 structures d'accueil ont des intérêts complémentaires pour les idées, concepts et données développés dans ce mémoire :

Pour l'**IFHVP** le principal souci est la normalisation de la filière courte de trituration agricole à froid des oléagineux. Cette approche ne peut pas occulter les pratiques culturales. Elles peuvent générer plus de pollutions et de consommations énergétiques que celles que l'on veut éviter via la substitution du gazole par de l'HVP.

Pour le **CIVAM agro bio 47** c'est l'autonomie des exploitations qui est l'enjeu de ces nouvelles cultures énergétiques. Les approches Planète et Hérody offrent aux agriculteurs une guidance nouvelle. Le maintien de la ruralité via ces nouveaux débouchés est conditionné à la filière de trituration agricole à froid, sans solvant, des oléagineux produits.

Pour le **Collectif** la question est faut-il brûler des céréales ou des oléagineux pour le chauffage des maisons sachant que, l'équivalent gazole de ces productions agricoles, serait à 0,2 € du litre via les productions agricoles au lieu de 0,6 €L actuellement. (annexe 1)

Pour le **Chaudron magique** c'est l'occasion d'intégrer toutes ces pratiques et donc de constituer ainsi le prototype de la ferme pédagogique indispensable pour démontrer la faisabilité de l'approche.

L'étude des intrants culturaux d'un point de vue énergétique est l'objet de ce mémoire :
Les alternatives à ces intrants et leurs conséquences sur les rendements
des cultures énergétiques seront abordées ;
L'aspect sociétal, axé sur le monde paysan, sera sous jacent.

Introduction :

Cette étude est née d'une confrontation virtuelle avec deux philosophies issues d'hommes de l'art. L'une en 1990 lors de la sortie (dés 1972) des ouvrages sur les grandes productions végétales, l'autre en 2005 avec la publication de l'étude sur l'alcool carburant aux USA, indiquant un rendement énergétique inférieur à 1.

Les écrits de *Soltner* (17^{ème} édition de 1990) se réfèrent aux travaux de *Pimentel* par ailleurs cité par Joël de Rosnay dans *La Recherche* n°47 de juillet-août 1974 : « Production agricole : un bilan énergétique qui se détériore » or dans l'édition 2005 il n'est plus fait référence à ces mêmes travaux.

Les travaux de *Pimentel* se sont trouvés controversés, en janvier 2006, par *Farrell*, qui montre que la production d'éthanol carburant a un rendement de 1,2 dés lors qu'est comptabilisée l'énergie des coproduits : DDGS-CGF-CGM.

En 2002, l'ADEME rend compte d'une étude sur ce sujet avec un rendement supérieur à 2.

En décembre 2005, *Sourie* relate la rectification des chiffres de l'ADEME par l'IPCC et nous retrouvons 1,18 pour l'éthanol de blé et 1,28 pour celui de la betterave. (chapitre II)

En mars 2005, une évaluation des externalités de la filière bioéthanol de maïs en France par *Ecobilan* aboutit à un rendement énergétique de 1,4 ou 1,9 (sans les coproduits).

Enfin en février 2006, un milliard d'euros doit être injecté par l'Etat français dans cette filière si controversée par certains scientifiques.

Si la faiblesse du rendement énergétique de la production d'éthanol à partir de productions agricoles est généralement admise, la dépendance étroite avec les intrants énergétiques utilisés pour ces productions est rarement mise en évidence. Une sous évaluation ou une omission peut-être fatale à ce rendement ; c'est ce qu'écrivent *Soltner* en 1990 et *Pimentel* en 2005. Il en est de même pour toute surévaluation des rendements moyens des cultures et de la transformation en énergie finale.

Les études publiées récemment aux USA (2005-2006) de *David Pimentel* et d'*Alexandre Farrell* montrent respectivement des efficacités énergétiques (EE) pour l'éthanol de maïs de 0,8 et de 1,2. Les études de PWHC ADEME (*Ecobilan*) assuraient un rendement de 2 en 2002. En mai 2006, le *Réseau Action Climat-France* reprenait et confirmait ces chiffres dans une note sur les biocarburants.

Dans ces conditions, comment engager le moindre euro dans des usines d'éthanol maïs, sans au préalable, une critique de toutes les études intrinsèques au projet et anticipant les conditions qui prévaudront, durant les 15 ans nécessaires à l'amortissement des usines. Une autre étude en parallèle doit être menée concernant les alternatives techniques possibles pour la production d'énergie avec ces mêmes investissements, dans ces mêmes lieux d'implantation et les principaux acteurs en lice.

Les alternatives à la filière éthanol de maïs sont :

- Modifier les modes de culture vers une agriculture sobre.
- Suivre les plans biocombustibles et bioproduits annoncés au *Sé debates le 6 avril 2006*.
- Tenir compte de l'annonce américaine de favoriser l'éthanol cellulosique : chapitre VI-2.
- Utiliser directement le maïs dans des chaudières.

Les alternatives à la filière ester d'huile de tournesol sont :

- Modifier les modes de culture vers une agriculture sobre.
- Suivre les plans biocombustibles et bioproduits annoncés au *Sé debates le 6 avril 2006*.
- Utiliser directement le tournesol dans des chaudières.
- Produire de l'HVP carburant et des tourteaux non solvantés en circuit court.

Objectifs de l'étude :

1. Inventorier les publications liées aux problématiques définies en introduction.
2. Homogénéiser les données avec des unités de mesures utilisant le Système International.
3. Mettre en exergue la variabilité des évaluations des contenus énergétiques des intrants pris en compte.
4. Rechercher des alternatives aux modes conventionnels de productions agricoles tant en France que dans le monde.
5. Montrer que les synergies entre élevage et cultures permettent de limiter les intrants énergétiques liés aux engrais chimiques et qu'avec l'aide des légumineuses, des associations et des rotations de cultures, une dégradation du sol n'est pas à craindre.
6. Montrer que l'agriculture des bioénergies devra être une agriculture où les intrants devront être régulés ou/et autoproduits avec un nouveau paramètre à optimiser :
l'efficacité énergétique.
7. Montrer que l'agriculture industrielle appliquant des méthodes non durables conduit à terme à sa disparition.

Méthodologie utilisée pour cette étude :

Recherche documentaire* sur le net :

<http://scienceenvironnement.free.fr/IA/RechercheDocumentaire.htm>

Choix des publications pertinentes,

Rédaction de notes de lecture, d'écoute et de calculs.

Rapprochement des données après homogénéisation des paramètres de calculs.

Synthèse comparative des rapprochements.

Présentation des travaux à des spécialistes (thermicien–agriculteur–syndicaliste–chercheur) et mise en évolution des écrits et des interprétations.

Rédaction d'un rapport d'expertise sur les tenants et aboutissants du couple agriculture et énergie : approches locales et globales.

* Voir « Les étapes d'un itinéraire de recherche documentaire » sur :

<http://www.scd.univ-lille3.fr/methodoc/cours/itineraire/planitineraire.htm>

La découverte de **deux outils de guidance des exploitations agricoles** dite de nouvelle génération a structuré ce mémoire ; il s'agit :

De l'approche pédologique de l'agronomie via la **méthode d'Yves Hérody** testée chez 5 agriculteurs du Civam Agro Bio 47. (annexe 6).

Du **fichier Planète** qui diagnostique l'exploitation agricole d'un point de vue énergétique et permet la comparaison entre les modes de cultures.

Approche historique :

A partir des ouvrages de *Soltner* et des publications de *Pimentel* 1990-2005

Evolution des travaux de Farrell dans *EBAMM* :

Déjà 3 versions : janvier, mai et juin 2006.

Approches nationales :

Projet éthanol à partir de maïs à Lacq *Ecobilan 2005* et *Ecobilan 2002*

Approches internationales :

Belgique : Valbiom et Institut pour un Développement Durable (*IDD*).

USA : Universités de Berkeley et de Rhode Island

Suisse : Institut de Recherche de l'agriculture Biologique (*IRAB/FiBl*).

Approches locales via les 4 structures d'accueil.

Tous les tableaux sont incomplets car les études ne concernent que certaines cultures, souvent une seule (le maïs). Aucune ne renseigne sur tous les intrants sauf *Planète* et *Risoud*.

La plupart des études, ne constituent pas des approches analytiques à données accessibles, comme le suggère Farrell dans http://socrates.berkeley.edu/erg/info/6_06_cellulosic%20ethanol.pdf

“We wanted to make this analysis absolutely transparent. The numbers and calculations are right there. It's an open-source energy analysis approach.”

Il convient de définir le nouveau paramètre à optimiser (selon l'objectif n° 6) : l'efficacité énergétique. C'est l'objet du chapitre II. Ces définitions sont illustrées par des tableaux comparatifs chiffrés tirés des sources documentaires détaillées chapitre III pour Pimentel et chapitre IV pour Farrell.

Ce mémoire est une juxtaposition des études sélectionnées ; il reste un outil de réflexion et une base pour les débats à venir sur les problématiques suivantes.

I - Problématiques de recherches ou d'investigations :

Les intrants agricoles sont à la croisée des **problématiques** telles que :

1. la **déprise du monde rural**, prisonnier économiquement de ses fournisseurs et de la baisse constante des cours des productions, liée à des surproductions structurelles massives depuis 1970 : 5 millions d'ha de SAU en trop en France selon le plan Mansholt* de 1968.
2. les **rendements énergétiques des cultures** : le bas prix de l'énergie fossile durant les 30 Glorieuses et les 20 Piteuses a généré des pratiques si voraces en énergie sur tous les intrants qu'il semble incongru aujourd'hui de vouloir les remettre en question,
3. les **pollutions** de tout acabit autorisées par l'absence d'études épidémiologiques réticulées sur tout le territoire sont à peine dénoncées d'un point de vue environnemental ; quels en sont les impacts sur la santé ?
4. la **non préservation de la fertilité des sols** : le taux d'humus est réduit d'un tiers sur la plupart des surfaces agricoles labourées ; sauf celles menées en agriculture biologique.

Une projection des évaluations énergétiques des intrants, dans le proche avenir est indispensable aux cultures énergétiques qui couvrent déjà 1 million d'ha et qu'il est envisageable de tripler lors de la prochaine décennie. En effet il est illusoire de vouloir conduire des cultures énergétiques avec les techniques culturales actuelles pour lesquels les coûts énergétiques des intrants peuvent être supérieurs aux gains.

Les dérives agronomiques de l'énergie bon marché, ont abouti à une perte d'un tiers de la valeur fertilisante des sols (le taux d'humus est passé de 3 à 2 %). Ceci a été accepté, car il fallait nourrir « la planète » en forte expansion démographique, mais n'est plus envisageable pour des cultures énergétiques L'énergie grise contenue dans ces intrants en démultiplie les coûts. La réduction ou et le changement d'origine de ces intrants est donc inéluctable financièrement.

Les conséquences environnementales et sur la santé des travailleurs et des consommateurs imposent chaque année de nouvelles règles de bonnes pratiques culturales qui s'accompagnent de droits à polluer (pour le CO₂ notamment) et de Taxes Générales sur les Activités Polluantes (TGAP) qui ramènent au point précédent.

La plupart des agriculteurs européens n'ont jamais conduit de cultures à vocation énergétique sur maïs et tournesol. Il est normal dans ces conditions que se pérennisent des pratiques culturales justifiables pour des fins alimentaires mais injustifiables pour des finalités énergétiques.

* <http://www.ena.lu/mce.cfm>

I - 1 - Liste temporelle des publications sélectionnées :

Agriculture.gouv : ministère de l'agriculture	février 2006
Cultivar : mensuel des grandes cultures	1977 - janvier et avril 2006
Farrell Alexander, Berkeley University	janvier, mai et juin 2006
FiBl, dossier n°1 : Résultats de 21 ans d'essai DOC	mai 2001
Ecobilan 2002, ADEME/DIREM	septembre 2002
Ecobilan 2005 Lacq	mars 2005.
IDD Belgique	août 2005
Modèle EBAMM versions : 1.0 et 1.1	janvier et mai 2006
Pimentel David, Cornell University New York	janvier et juillet 2005
Réseau Action Climat-France	mai 2006
Risoud Bernadette : ENESAD	décembre 1999
Solagro Toulouse : programmes Dialogue – Planète	octobre 2002
Soltner Dominique,	éditions 1990 et 2005
Sourie Jean-Claude, INRA	décembre 2005

I - 2 - Analyse transversale des publications :

Le circuit court et la production délocalisée de l'HVP à la ferme sont toujours occultés, décriés, soumis à un non avenir systématique et irrévocable ; la recommandation n°11 (*Douaud*) est très explicite. Une seule publication « officielle » mentionne le circuit court et l'HVP fermier (*agriculture.gouv p23/55*).

Seules les filières industrielles à fortes concentrations de matière et de capitaux semblent avoir grâce aux yeux de tous ces auteurs. C'est ce qui sourd du colloque « biomasse » au *Sénat le 6 avril 2006*.

Seul *Pimentel* condamne vivement ces filières industrielles mais ne propose pas d'alternative, si ce n'est de passer en agriculture biologique pour réduire l'énergie des intrants (moins 30 %). Plusieurs incompréhensions ont été relevées par Farrell dans la publication de Pimentel d'où un immense travail de remise en cause des données scientifiques par l'université de Berkeley : création du modèle de calcul (EBAMM) des ratios énergétiques des productions agricoles (le maïs et la cellulose pour le moment) et de leur transformation en alcool.

La publication de *MathPro Inc.* plus succincte, semble avoir précédé les travaux d'Alexandre Farrell, elle ne couvre, cependant pas, l'ensemble des 6 études référencées dans *EBAMM*.

Première conclusion personnelle.

***Ecobilan* veut minimiser l'impact des intrants, *Pimentel* le maximise ; les mêmes approches éthiques sont différentes. *Ecobilan* est « commandité » par l'agriculture industrielle des esters et des alcools carburants via l'ADEME ; *Pimentel* se bat pour un avenir « planétaire » raisonnable en dénonçant, chiffres à l'appui les dérives de l'agro industrie. *Farrell* tente une approche synthétique inachevée car trop rapide : moins d'un an entre la dernière publication de *Pimentel* et la sortie du fichier sous Excel : *EBAMM*. Ce travail de synthèse mériterait un prolongement vers d'autres intrants et d'autres cultures ; seul le maïs et le panic érigé (cellulose) à des fins d'éthanol sont concernés.**

Travaux antérieurs :

EBAMM constitue la base de ces travaux antérieurs les plus récents, cependant le fichier *Planète*, compilé par le bureau d'études SOLAGRO, spécialisé dans les liens entre agriculture et énergie est le plus organisé, structuré et riche en intrants quantifiés et actualisés. Ce sont 150 intrants couvrant la plupart des cultures et surtout des élevages. Ce bureau d'études a archivé un millier d'exploitations agricoles « Planétisées », en culture biologique essentiellement, (mais les pesticides et engrais chimiques font partie de la base de données). Cela constitue une approche scientifique très fine de ce monde agricole, très complexe par ses interactions avec la nature, l'industrie, la santé et l'économie (la consommation).

Le *Réseau Action Climat* présentait en mai 2006 une note sur les biocarburants de 4 pages résumant la problématique française diluée dans le rapport d'expertise d'où ce mémoire est extrait. La remise en cause, par RAC, des filières ester et alcool utilise, entre autres, les références documentaires *Pimentel* et *Sourie*. Des propositions sont suggérées : passer aux biocarburants de seconde génération, utiliser la méthanisation pour améliorer les bilans énergétiques et GES. Aucune allusion aux impacts imputables aux techniques culturales simplifiées.

II – Définitions : Productivité à l'ha, efficacité énergétique et valeur énergétique nette.

Productivité à l'ha : c'est la masse produite ou sa traduction en énergie d'un ha ; elle s'exprime en tonne/ha ou MJ/ha. Ce paramètre est toujours considéré au premier abord tant au niveau des productions agricoles qu'au niveau de leurs transformations : ici alcool, HVP ou ester.

Efficacité énergétique (EE) d'un produit et rendement énergétique d'une production : rapport entre l'énergie contenue dans le produit et l'énergie primaire dépensée pour le produire tout au long de sa chaîne de culture et de fabrication. Ce sont des MJproduits/MJdépensés.

Valeur énergétique nette : c'est la différence entre l'énergie produite et l'énergie consommée. Elle se mesure en MJ par ha.

Farrell p4/23, utilise le Net Energy Ratio (NER) et la Net Energy Value (NEV). Il décrit 2 méthodes de calculs des rendements énergétiques nets : NER

$$NER_1 = \text{énergie carburant produite} / (\text{énergie consommée} - \text{énergie des coproduits})$$

$$NER_2 = (\text{énergie carburant produite} + \text{énergie des coproduits}) / \text{énergie consommée}$$

Il soutient la seconde méthode.

Pour le NEV : valeur énergétique nette : en MJ/L d'éthanol il utilise :

$$NEV = \text{énergie produite (carburant + coproduits)} - \text{énergie utilisée}$$

La notion de productivité à l'ha de terre utilisée est héritée d'un long passé de productivisme ancrée dans les mémoires aux dépens de notions telles que les rotations de cultures, la biodiversité, l'internalisation des coûts externes, le chômage, ... qui doivent être prioritaires.

Ces notions de productivité ha et d'efficacité énergétique ne peuvent pas être optimisées simultanément ; un compromis entre les deux est à choisir. Il faut aussi penser aux rotations de cultures de minimum 3 ans, avec un optimum écologique à 7 ans, avec des cultures de légumineuses intercalées. Ces cultures devant trouver une valorisation chez un éleveur local en échanges de fumure organique. La productivité ha est donc une moyenne sur la rotation considérée.

De plus d'après « Les paysans sont de retour » de Silvia Pérez-Vitoria p42 «pour l'alimentation du bétail, on estime que l'Europe utilise 7 fois sa superficie dans les pays du Tiers Monde ».

La productivité ha des Surfaces Agricoles Utiles métropolitaines est donc à diviser par 7 dès lors qu'elle s'inscrit dans une agriculture durable, ici indépendante du Tiers Monde !

Les agricultures développées ont un impact négatif sur celles des pays en voie de développement. Elles sont suspectées de causalité d'effet sur la massification de l'immigration. Les sociétés agraires étant déstructurées ne retiennent plus les populations des villages qui gonflent ainsi les métropoles incapables d'absorber et de nourrir ces flux. Les plus riches, les plus téméraires s'organisent donc pour suivre les biomasses importées par l'Europe pour nourrir ses cheptels.

Exemples de productivité, efficacité et valeur énergétique nette.

Productivité énergétique en MJ par ha :

Elle dépend de la productivité massique et du PCI du grain récolté.

Ces deux paramètres sont variables selon les sources. Pour certaines il s'agit de moyenne sur 20 ans d'expérimentations, pour d'autres sur plusieurs années de récoltes réelles soit sur tout le pays soit sur un territoire comme celui de Lacq pour Ecobilan 2005. Pour le PCI, la variabilité est encore plus forte car il faut introduire la notion d'énergie grise qui se substitue pour Planète ou Pimentel, entre autre, au PCI : c'est tout l'objet de ce document.

Sources - cultures	Maïs	Tournesol	Soja	Panic*	Colza	Blé
EBAMM (a)	87 460			224 615		
EBAMM modifié (b)	135 563					
Pimentel (c)	130 240	39 450	38 895	165 829		
Pimentel modifié (d)		62 712				
Ecobilan 2002		64 172			74 482	141 300
Ecobilan 2005	140 352					
Damien **	77 500	52 600				
Henri **		52 600				
PCI en MJ/kg	15,5	26,1	15,1 (1)	16,7 (1)	24	15,7

* la transformation du Panic en alcool s'accompagne d'un fort recyclage d'énergie.

** Les bilans énergétiques des cultures de ces 2 agriculteurs sont dans le rapport disponible sur <http://scienceenvironnement.free.fr/IA/IntrantsAgricoles.pdf>

(1) Pimentel ; les PCI sont listés en annexe 4.

Ce tableau, est insuffisamment renseigné. Il doit être complété notamment par des mesures de productivité en champ non expérimentaux via l'outil Planète. C'est ce qui est en cours chez les producteurs du CIVAM Agro Bio, Damien et Henri. Ceci est généralisable à tous les tableaux de ce document.

Analyse du tableau :

1. les données d'EBAMM et Pimentel ont 2 interprétations possibles. Elles sont explicitées, respectivement aux chapitres III et IV.
2. Pour EBAMM, cas du maïs, le problème est le PCI du maïs : 10 MJ/kg (a) calculé à partir des données ou 15,5 MJ/kg (b) utilisé dans le cadre de l'harmonisation selon l'annexe 4. Manifestement l'écart est énorme : où est l'erreur ?
3. pour Pimentel, la version (c) est celle de la source avec un rendement en tournesol « extensif » américain de 1 500 kg/ha ; alors que la version (d) est harmonisée au rendement moyen français de 2 400 kg/ha plus un choix sur les apports en azote et sur la quantité de gazole utilisé pour cette culture ; le tout est explicité au chapitre III.
4. le panic érigé a, sans contexte, la meilleure productivité ha.
5. les données de ce tableau sont à rapprocher des données des deux tableaux suivants afin de parfaire les 3 définitions de ce chapitre.

Efficacité énergétique en MJ produit par MJ utilisé :

Elle dépend du tableau précédent et de la valeur énergétique des intrants calculés par les auteurs. L'incertitude des résultats est très grande. Elle peut-être approchée par la comparaison des résultats des diverses sources.

Sources - cultures	Maïs	Tournesol	Soja	Panic	Colza	Blé	Lin fibre
<i>Planète *</i>	4,38				4,92	6,85	10,2
<i>EBAMM (a)</i>	4,5			14,8			
<i>EBAMM modifié (b)</i>	7						
<i>Pimentel</i>	3,84	0,76	2,56	14,4			
<i>Pimentel modifié</i>		4,36					
<i>Ecobilan 2002</i>		6			3,92	8,56	
<i>Ecobilan 2005 (c)</i>	15,5						
<i>Ecobilan 2005 (c)</i>	11,7						
<i>Damien</i>	9,5						
<i>Damien sans séchage</i>	17,5	En cours					
<i>Henri</i>		En cours					

* *La France Agricole – 2 juin 2006 p63 (valeurs moyennes)*

- (a) le PCI du maïs est à 10 MJ/kg selon EBAMM
 (b) le PCI du maïs est à 15,5 MJ/kg selon l'annexe 4
 (c) voir les notes de calculs en VIII-2

Ces données montrent :

1. que Planète, EBAMM et Pimentel sont proches pour le maïs.
2. qu'EBAMM modifié est hors normes donc que la modification n'est pas correcte.
3. qu'EBAMM modifié et l'étude de Lacq (Ecobilan 2005) sont hors normes pour le maïs.
4. que Pimentel tournesol est hors normes avec une efficacité de 0,76.
5. que la culture en bio de Damien a une efficacité énergétique prévisionnelle excellente surtout s'il sèche son maïs en cribs.
6. que le tournesol a la même efficacité énergétique que le maïs
7. que le panic érigé a la meilleure efficacité énergétique. Il avait aussi la meilleure productivité.
8. que ce tableau est bien incomplet.

Valeur énergétique nette en MJ /ha :

Sources - cultures	Maïs	Tournesol	Soja	Panic	Colza	Blé
<i>EBAMM (a)</i>	68 099			217 277*		
<i>EBAMM modifié (b)</i>	116 202					
<i>Pimentel</i>	96 320	- 6 140	24 491	155 484**		
<i>Pimentel modifié</i>		48 337				
<i>Ecobilan 2002</i>		53 552			55 482	124 800
<i>Ecobilan 2005 (c)</i>	131 202					
<i>Ecobilan 2005 (c)</i>	128 546					
<i>Damien en bio</i>	69 379					
<i>Damien sans séchage</i>	73 059					
<i>Henri</i>						

Ces données montrent :

1. que le cas tournesol de Pimentel est hors normes.
2. qu'écobilan 2005 a des valeurs énergétiques nettes trop élevées pour le maïs tout comme EBAMM modifié
3. que le blé et le maïs ont des valeurs énergétiques nettes élevées
4. que les résultats sur le Panic peuvent être extraordinaires. Faut-il harmoniser les rendements massiques entre EBAMM et Pimentel :

* 13 450 kg/ha à 16,7 MJ/kg (donnée Pimentel) – 7 338 MJ/ha

** 10 000 kg/ha à 16,7 MJ/kg – 11 516 MJ/ha

Conclusion : selon les 3 paramètres définis dans ce chapitre, c'est la filière cellulosique représentée par le Panic érigé (switchgrass) qui arrive largement en tête.

Calcul du rendement énergétique via le système des allocations pour la filière éthanol.

Les règles d'allocations ou de répartition des rendements sont au prorata des masses ou de l'énergie des produits et des coproduits de la filière étudiée. Les résultats obtenus peuvent être totalement différents selon ce choix. D'où des controverses et des suspicions de vouloir masquer certaines informations. Ainsi *Sourie*, les qualifie de « méthode comptable » ou de « méthode systémique ».

Rendements énergétiques selon les modalités de prise en compte des co-produits		
	Méthode comptable *	Méthode systémique **
Ethanol de blé	2,04	1,19 **
Ethanol de betterave	2,04	1,28 **
EMHV	2,99	2,5 ***

* = ADEME DIREM 2002

** = Weel to wheels report 2004, CONCAWE, EUCAR, JRC, Union européenne

*** = modifié par INRA

RACF parle d'imputation massique et énergétique

Conclusion : Quel que soit le mode de calcul, lorsqu'une filière a un rendement faible ou négatif comme c'est le cas dans TOUTES les productions d'alcool à partir de cultures agricoles conventionnelles, il est illusoire d'utiliser ce stratagème pour masquer la réalité.

Ceci n'empêche cependant pas de construire des usines « non rentables » !

III - Les travaux de David Pimentel :

III - 1 - Production d'éthanol à partir de maïs, de panic érigé et de bois (cellulose) Production d'ester d'huile à partir de soja et de tournesol : janvier 2005

L'étude de David Pimentel décrit 15 intrants de 4 grandes cultures en les quantifiant tant d'un point de vue énergétique que financier. Nous avons déjà de tels chiffres pour 3 grandes cultures en novembre 2002 dans les bilans énergétiques financées par l'ADEME/DIREM et confiée à *Ecobilan* – PricewaterhouseCoopers. Une comparaison des données de ces 2 sources, s'impose. Une transposition française et une actualisation de l'étude de Pimentel sont nécessaires.

Trouvé sur le net : « Selon le Dr Pimentel, l'éthanol n'est pas un produit « écolo » à cause de son bilan énergétique. Le bilan énergétique est la somme d'énergie fossile nécessaire pour produire un litre d'éthanol. « Il faut l'équivalent de 1 litre de pétrole pour produire 1,3 litres d'éthanol* à partir du maïs », soutient le professeur. De plus, les producteurs de maïs ne sont pas les vrais gagnants du projet d'éthanol américain. « Le maximum de bénéfice perçu par les producteurs est d'une à deux cents le boisseau. » D'après le scientifique, les véritables bénéficiaires du projet éthanol américain sont des producteurs industriels tels ADM et Cargill. »

Fortement critiqué pour le calcul de son bilan énergétique, Pimentel conclut : « Si l'éthanol est si miraculeux, pourquoi devons-nous le subventionner à raison de 2 milliards \$ US par année? »

Nous pouvons transposer cette analyse à la France, en modifiant les masses monétaires et les noms des entreprises bénéficiaires

* l'efficacité énergétique de la filière éthanol est :
 $(1,3 \times 21,2 \text{ MJ/L d'éthanol}) / 36 \text{ MJ/L de gazole} = 0,77 \text{ MJ produit par MJ utilisé ; donc une perte d'énergie de } 23 \text{ \%}$.

15 intrants de 4 cultures calculés par David Pimentel pour 2 biocarburants : l'éthanol et l'ester.

Intrants et unité	Culture	Intrants annuels par ha				Tournesol modifié
		Maïs	Panic érigé	Soja	Tournesol	
Travail en heure		11,4	5	7,1	8,6	
Outillage en kg		55	30	20	20	
Gazole en litre		88	100	38,8	180	88 ¹
Essence en litre		40		35,7		
GPL en litre				3,3		
Azote en kg		153	50	3,7	110	0 ⁴
Phosphore en kg		65		37,8	71	
Potassium en kg		77		14,8	100	
Chaux en kg		1 120		4 800	1 000	
Semences en kg		21	1,6	69,3	70	
Irrigation en mm d'eau		81				
Herbicides en kg		6,2	3	1,3	3	
Insecticides en kg		2,8				
Electricité en kWh		13,2		10	10	
Transport en kg transportés sur 1000 km		204		154	270	
		Equivalences énergétiques en MJ/unité				
Energie consommée Mcal/ha		8 115	2 755	3 746	6 119	3 458
Energie consommée MJ/ha b		33 921	11 516	15 658	25 577	14 375³
Energie consommée en L équivalent gazole/ha*		712	242	329	537	302
Rendement culture kg/ha		8 655	10 000	2 668	1 500	2 400²
Energie produite MJ/ha a		130 240	167 200	40 149	19 437	62 712
Energie nette MJ/ha (a - b)		96 319	155 684	24 491	- 6 140	48 337
Efficacité énergétique a/b J/MJ		3,84	14,52	2,56	0,76	4,36
PCI en MJ/kg graine calculé		15	16,7	15	13	
PCI en MJ/kg valeurs retenues **		15,5	16,7	21,4	→	26,13
Energie interne des grains MJ/kg***		3,9	1,15	5,9	17	6

*Le PCI du gazole est conservé à 11,4 Mcal/L = 47,65 MJ/L alors qu'il est arrondi à 36 MJ/L.

** Voir en annexe 5 concernant les PCI des graines et autres combustibles.

*** L'énergie interne des grains est calculée à partir de l'énergie consommée par tous les intrants culturaux et le rendement de culture.

Tournesol modifié : 4 adaptations :

1 sur la dépense en gazole, c'est celle du maïs soit 88 L et non 180 L.

2 sur le rendement à l'ha : la moyenne française est à 24 quintaux/ha

3 sur le PCI des grains de tournesol : 13 MJ/kg calculé et remplacé par 26,13 (*Risoud*)

4 sur l'apport d'azote sur tournesol si le précédent cultural en a eu ! (mais épuisement du sol qu'il faudra réapprovisionner)

Il est frustrant qu'EBAMM n'ait pas aussi travaillé sur le tournesol, mais le rendement moyen US étant de 1,5 t/ha n'a rien à voir avec celui de la France : 2,4 t/ha. Pour le maïs c'est différent, les rendements moyens sont similaires : 8,7 t/ha aux USA et 9,2 en 2004 et 8,4 en 2005 en France. <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/saa2006T2.pdf>

III - 2 - Répartition des intrants énergétiques pour le maïs et le tournesol et comparaison Pimentel – EBAMM pour le maïs.

Intrants énergétiques et coûts de production du tournesol par ha aux USA.				
Intrants	Quantité	Mcal	MJ corrigé*	% Pimentel
Travail	8,6 h ^a	344 ^b	1 438	10
Mécanisation	20 kg	360 ^e	1 505	10,5
Gasoil	180 L ^a	1 800 ^g	3 678 (88 L)	25,6
Azote	110 kg ^j	1 760 ^k	0	
Phosphore	71 kg	293 ^m	1 225	8,5
Potassium	100 kg	324 ^o	1 354	9,4
Chaux	1 000 kg	281 ^d	1 175	8,2
Semences	70 kg ^a	560 ^q	2 341	16,3
Irrigation				
Herbicides	3 kg	300 ^v	1 254	8,7
Insecticides				
Electricité	10 kWh	29 ^s	121	0,8
Transport	270 kg ^t	68 ^u	284	2
total		6 119	14 375	100
Rendement tournesol	1 500 kg/ha	4 650	2 400 kg/ha	

* colonne tournesol corrigé de la page précédente

Malgré la correction sur le poste gasoil, il a le plus fort impact sur l'énergie des intrants : 25,6 %.

Intrants énergétiques et coûts de production du maïs par ha aux USA.					
Intrants	Quantité Pimentel	Mcal/ha	% Pimentel	% EBAMMc	Pimentel - EBAMM
Travail	11,4 h ^a	462 ^b	5,7	2,4	3,3
Outillage	55 kg	1 018 ^c	12,5	2	10,5
Gazole	88 L	1 003 ^h	12,4	13,3	-0,9
Essence	40 L	405 ^j	5	6,3	- 1,3
GPL				3,3	- 3,3
Azote	153 kg ^k	2 448	30	42	- 12
Phosphore	65 kg	270 ^o	3,3	3	0,3
Potassium	77 kg	251 ^f	3,1	3,4	- 0,3
Chaux	1 120 kg	315 ^u	3,9	6,6	- 2,7
Semences	21 kg	520	6,4	1,2	5,2
Irrigation	81 mm	320	4	0,2	3,8
Herbicides	6,2 kg	620	7,6	3,5	4,1
Insecticides	2,8 kg	280 ^{ee}	3,5	0,4	3,4
Electricité	13,2 kWh	34 ^{ff}	0,5	3,8	- 3,3
Transport	204 kg ^{gg}	169 ^{hh}	2,1	4,6	- 2,5
total		8 115	100	100	
Rendement maïs	8 655 kg/ha	31 158		8 746 kg/ha	

% EBAMMc : voir chapitre V-2-1-Phase agricole ; « c » signifie corrigé selon le point (b).

Total des intrants pour Pimentel = 33 921 MJ/ha

Total des intrants pour EBAMM = 20 397 MJ/ha

Pour un rendement ha en maïs similaire Pimentel rapporte des intrants 66 % supérieurs à ceux d'EBAMM malgré des sous évaluations de l'intrant azote de 12 %, de 2,5 % pour le transport et 3,3 % pour le GPL (pas de séchage du maïs). Pour EBAMM c'est l'énergie interne de l'outillage qui est sous évaluée de 10,5 %, l'irrigation de 3,8 %.

Selon http://wiki.les-verts.infini.fr/index.php/Nous_mangeons_du_p%C3%A9trole « la consommation d'énergie pour l'agriculture se répartit comme suit aux USA :

- 31% pour la fabrication d'engrais non organique
- 19% pour les engins agricoles
- 16% pour le transport
- 13% pour l'irrigation
- 08% pour élever le bétail (sans sa nourriture)
- 05% pour le séchage des récoltes
- 05% pour la production de pesticides
- 08% divers »

Sources :

1 - Comparison of energy inputs for inorganic fertilizer and manure based corn production, McLaughlin, N.B., et al. Canadian Agricultural Engineering, Vol. 42, No. 1, 2000.

2 - Food, Land, Population and the U.S. Economy, Pimentel, David and Giampietro, Mario. Carrying Capacity Network, 11/21/1994. <http://www.dieoff.com/page55.htm>

Pimentel est retrouvé comme source documentaire de cette liste d'intrants agricoles classés selon l'importance de leurs contributions à la consommation énergétique de la culture du maïs non biologique et sans fumier.

Le total des pourcentages fait 105 et se pose la question de la présence de l'alimentation du bétail dans cette liste ?

Le poste engrais est toujours le plus élevé : 31%.

Il est de 40 % pour Pimentel (tableau précédent) et 55 % pour EBAMM.

Le poste engins agricoles doit comprendre l'énergie interne des machines et le gazole consommé, ici cela représente 19 %, pour Pimentel il vaut 29,9 % et pour EBAMM 21,2 %.

III - 3 - Comparaisons environnementale, énergétique et économique de modes de productions agricoles biologique et conventionnelle : 22 ans d'essais agronomiques.

Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems. Pimentel

Entre 1981 et 2002, le centre d'essais agronomiques de l'Institut Rodale, aux USA, a comparé trois modes de fumure pour la production de grain, sur 6,1 ha :

(a) le conventionnel, (b) l'organique* avec fumier et légumineuses et (c) l'organique avec légumineuses. Chaque mode de culture est répété 8 fois chaque année sur des bandes de 18 x 92 m séparées par 1,5 m enherbé.

*aux USA l'agriculture biologique est nommée organique.

Résumé : Diverses techniques organiques ont été utilisées depuis 6000 ans pour rendre l'agriculture "durable" en termes de préservation des sols, de l'eau, de l'énergie et des ressources biologiques. Parmi les attraits des techniques biologiques il y a des taux d'humus et d'azote plus élevés, une réduction de l'énergie fossile des intrants, des rendements similaires à ceux des systèmes conventionnels et une préservation de l'humidité des sols ainsi que des ressources en eau (particulièrement avantageux sous des conditions rigoureuses). **L'agriculture conventionnelle peut devenir plus « durable » et écologiquement sensibilisée en adoptant quelques techniques traditionnelles de l'agriculture organique.**

Commentaires du Mouvement pour les Droits et le Respect des Générations Futures :

<http://www.mdrgf.org/>

« Le bio moins polluant et plus rentable que l'agriculture conventionnelle selon une importante étude américaine. David Pimentel de l'Université Cornell aux USA et son équipe de chercheurs du Rodale Institute ont comparé les données recueillies depuis 1981 dans des parcelles

expérimentales conduites en agriculture conventionnelle à celles recueillies dans des parcelles expérimentales conduites en agriculture biologique.

Les conclusions de cette étude réalisée à partir de 22 années (1) d'observations et publiée en juillet 2005 dans la revue scientifique BioScience sont très intéressantes :

- Les taux de matière organique étaient plus élevés dans les sols cultivés en bio.
- Ces hautes teneurs en matières organiques ont aidé les sols à garder leur humidité, ce qui a été bénéfique pendant les années de sécheresse.
- **L'utilisation d'énergies fossiles dans les systèmes de production biologique a été inférieure en moyenne de 30% à celle utilisée dans les systèmes conventionnels.**
- Selon les cultures, les sols et les conditions météorologiques les rendements annuels de l'agriculture biologique peuvent égaler ceux de l'agriculture conventionnelle.
- **L'agriculture biologique utilise en moyenne environ 15% de main d'œuvre de plus que l'agriculture conventionnelle.** Ce besoin en main d'œuvre est mieux réparti au long de l'année qu'en agriculture conventionnelle.
- Les produits bio sont souvent vendus plus chers que ceux issus de l'agriculture conventionnelle, le bilan économique de la bio est souvent égal voire même supérieur à celui de l'agriculture conventionnelle. (2)
- Les rotations de cultures et la couverture des sols pratiquées en bio réduisent l'érosion des sols les problèmes de nuisibles et la consommation de pesticides.
- **Le recyclage des fumiers réduit la pollution et bénéficie aux cultures biologiques.**
- L'abondante biomasse présente en agriculture biologique favorise la biodiversité et aide ainsi au contrôle biologique des ravageurs et favorise la pollinisation par les insectes.
- Des techniques utilisées par l'agriculture biologique peuvent être employées en agriculture conventionnelle afin de la rendre plus durable et respectueuse de l'environnement. ».

(1) voir, au chapitre V, l'étude de FiBl sur 21 ans

(2) le nombre de fermes en biologique a augmenté de 3 % entre 2004 et 2005 alors que l'ensemble des exploitations agricoles baisse de 5 % par an.

IV - Approche de Dominique Soltner en 1990 p444 ed 18

Comparaison des cultures de blé en classique et en biologique. Synthèse des résultats.

D'après une étude de Max Crouau, revue *Nature & Progrès* n° 51 juillet-août 1976.

Type d'agriculture :	Conventionnelle		Biologique
	Modérée	Grande culture	
Intrants en litres équivalent gazole/ha	309	436	100
Production en quintaux/ha	50	50	40
Rendement en L de fuel par quintal de blé	6,18	8,72	2,5
Productivité énergétique nette/ha*		1 897	1 767

* En litre de gazole par ha (le PCI du blé est 16,8 MJ/kg et celui du gazole de 36).

Conclusion : L'agriculture conventionnelle consommait en 1990, 3,5 fois plus d'énergie que l'agriculture biologique. En utilisant moins d'un quart des intrants (comptabilisés en énergie), la perte de productivité massique par ha était de 20% et la perte de productivité énergétique de 9,3 % en 1990.

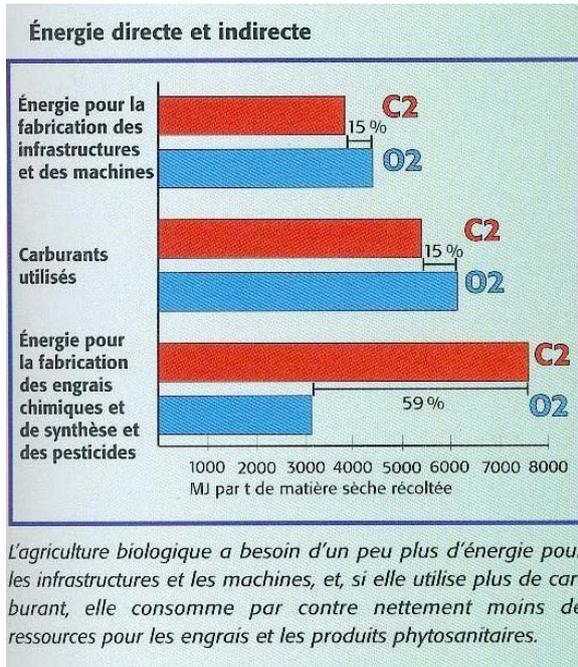
NB : en 2005 les rendements en blé sont de 72 quintaux/ha et en 2006 de 70.

http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/com_detail.asp?id=306

V - Approche de FiBl – Fal de l'IRAB : 21 ans d'essai DOC en Suisse. Éditions FiBL.

Le bio améliore la fertilité du sol et la biodiversité.

« La recherche moderne doit aller vite : deux ou trois essais en pots dans un local climatisé, et voilà qu'on publie déjà un nouveau papier scientifique. A l'opposé on trouve, tel un monolithe, l'essai de longue durée DOC de l'Institut de Recherche de l'Agriculture Biologique (IRAB / FiBL) et de la station fédérale de recherches en agro écologie et en agriculture (FAL). Mais qui peut encore se permettre de mesurer, d'observer, de faire la mise en valeur statistique de ces montagnes de chiffres et de les interpréter chaque année pendant 21 ans ? »



Les résultats de 21 ans d'essais DOC sur 3 types d'agriculture et 2 niveaux de fumure : 0,7-1,4 UGBF.

Ces 2 niveaux sont repérés par les chiffres 1 et 2 à droite des symboles des 3 agricultures.

D : agriculture bioDynamique

O : agriculture biOlogique

C : agriculture ConventiOnnelle

Le bio est-il plus économe ?

Selon le graphique ci contre, l'agriculture biologique consomme 15 % d'énergie en plus que l'agriculture conventionnelle tant pour les équipements que pour les carburants utilisés. Cependant, elle consomme 59 % d'énergie en moins que l'agriculture conventionnelle pour les engrais et les pesticides. Globalement, l'efficacité énergétique est de 30 à 50 % inférieure pour

l'agriculture biologique par rapport à l'agriculture conventionnelle. Pimentel annonce 30 % de moins (chapitre III-3).

Conclusion : compte tenu de la réduction des intrants énergétiques liée aux pratiques culturales de l'agriculture biologique, ce sont celles-ci qu'il faudrait préconiser, comme le suggère Pimentel (chapitre III-3) et FiBl, pour toutes cultures à vocations énergétiques. Afin de normaliser ces nouvelles productions agricoles, le suivi de ces cultures pourrait être confié aux organismes de contrôle de l'agriculture bio, déjà en situation et acceptés par la profession.

VI - EBAMM (Energy and research group Biofel Analysis Meta-Model).

Pour Alexander Farrell p6/23 : « l'énergie Agricole c'est l'énergie consommée lors des productions de biomasse (...). Ces intrants incluent à la fois les intrants énergétiques en amont de la ferme et ceux de la ferme. Ces intrants énergétiques sont classés dans sept catégories :

1. l'énergie interne des intrants d'exploitation,
2. énergie pour conditionner ces intrants
3. énergie pour transporter les intrants à la ferme,
4. énergie utilisée directement dans la ferme
5. énergie générée par les ouvriers de la ferme,
6. l'énergie pour le transport des travailleurs de la ferme, et
7. l'énergie incorporée dans des machines de ferme (parfois appelée capital énergie).

Les intrants spécifiquement agricoles sont :

1. les engrais contenant l'azote (en tant qu'élément N),
2. le phosphore (en tant que P_2O_5), et
3. le potassium (en tant que K_2O) ;
4. l'engrais calcique (pierre à chaux écrasée, $CaCO_3$) ;
5. les herbicides; insecticides et graines.
6. L'énergie directe utilisée dans les fermes peut être décomposée en essence, diesel, gaz de pétrole liquéfié (LPG), et l'électricité».

Extraits de http://rael.berkeley.edu/EBAMM/EBAMM_1_0.xls

Evaluation de l'énergie interne des 15 intrants agricoles : données moyennes retenues par l'EBAMM à partir des résultats de 6 équipes de chercheurs (dont Pimentel) sur l'éthanol de maïs et cellulosique.

Les pouvoirs calorifiques ou les énergies internes sont en PCI (LHV)

La feuille de calcul, « NetEnergy », de EBAMM_1_0.xls est scindée en 2 tableaux ci-dessous ; un pour la phase agricole et un pour la phase industrielle. Ils donnent une approche récente et fortement documentée des intrants culturaux avec les doses ha utilisées pour le maïs et le Panic érigé (cellulosic).

Dans la colonne Calculs Today (a) ci-dessous les calculs des intrants énergétiques en MJ/ha sont le résultat du produit des doses ha par l'énergie interne à chaque intrant. Il est à noter la dose nulle pour la chaux alors que Pimentel prévoit 1 120 kg/ha pour une énergie interne de 1,2 MJ/kg de chaux. La traduction de l'anglais « lime » pose problème car ici c'est du CaO et pour Farrell p6/23 c'est du $CaCO_3$.

Les postes de transport de l'énergie et du personnel ne sont pas renseignés.

Le total calculé 19 053 est différent de celui annoncé 19 361.

(b) Afin d'approcher une valeur tenant compte au moins des apports calciques je propose d'ajuster les intrants énergétiques de la phase agricole à $19\,053 + 1\,344 = 20\,397$ MJ/ha. Pimentel les évalue à 34 000 MJ/ha. Cet ajustement fait passer la part de l'énergie agricole de 5,6 MJ/L d'éthanol à 5,9 MJ/L soit une augmentation de cet intrant de 5 %. Cette augmentation est significative car le gain énergétique de cette filière n'est que de 20 %.

La conversion du maïs en éthanol aujourd'hui génère 25 MJ par L d'éthanol produit. Comme le PCI (LHV) de l'éthanol est de 21 MJ/L, la production d'énergie nette est de 4,5 MJ par litre d'éthanol ce qui donne un ratio énergétique net $NER = (21 + 4,1)/21 = 1,195$ arrondi à 1,2.

Bilan de la culture de maïs et de son éthanolisation selon EBAMM :

Intrants :

Phase agricole	19 361 MJ/ha
Phase transformation en alcool	15,19 MJ/L d'alcool x 2 463 L/ha = 52 603 MJ/ha
Intrants totaux	71 964 MJ/ha

Extrants : (productions)

3 463 L d'éthanol par ha à 21,2 MJ/L =	73 416 MJ d'éthanol
Coproduits 4,1 MJ/L d'éthanol x 3 463 =	14 198 MJ de drêches séchées
Extrants totaux	87 614 MJ/ha

Solde positif de 15 650 MJ/ha ce qui confirme les 4,5 MJ/L d'éthanol de valeur énergétique nette ! Ceci conduit à un PCI théorique du maïs de 10 MJ, comme celui de la semence pris par EBAMM, alors que la graine vaut 15,5 MJ/kg de maïs à 15 % d'humidité ! Si ces calculs se confirment cela voudrait dire que l'éthanolisation générerait une perte d'un tiers de l'énergie de départ du grain !

NB : la nouvelle version d'EBAMM http://rael.berkeley.edu/EBAMM/EBAMM_1_1.xls n'a pas été intégrée dans ce mémoire.

VI - 1 - Phase agricole

Net Energy Summary	Today	Calculs Today		Cellulosic
Agricultural Phase		MJ/ha (a)	En % (b)	
Nitrogen (MJ/kg)	57			49
N Application rate (kg/ha)	150	8 550	42	50
Phosphorus (MJ/kg)	9			11
P ₂ O ₅ application (kg/ha)	64	576	3	2
Potassium (MJ/kg)	7			5
K ₂ O application (kg/ha)	99	693	3,4	3
Lime (MJ/kg)	0			-
Lime CaO application (kg/ha)	1 121	??	(b) 6	-
Herbicide (MJ/kg)	356			322
Herbicide application rate (kg/ha)	2,8	717	3,5	0,4
Insecticide (MJ/kg)	358			377
Insecticide (kg/ha)	0,21	75	0,4	-
Seed (MJ/kg)	10			-
Seed rate (kg/ha)	24	240	1,2	-
Transportation of inputs, (MJ/ha)	934	934	4,6	36
Transport energy (MJ/kg)	0,64	??	??	0,64
Gasoline (MJ/ha)	1 277	1 277	6,3	-
Diesel (MJ/ha)	2 719	2 719	13,3	3 737
Natural gas (MJ/ha)	670	670	3,3	-
LPG (MJ/ha)	765	765	3,8	-
Electricity (MJ/ha)	820	820	4	618
Energy used in irrigation (MJ/ha)	49	49	0,2	-
Farm labor (MJ/ha)	574	574	2,4	-
Labor transportation (MJ/ha)	-	??	??	-
Farm machinery (MJ/ha)	320	320	1,6	320
Inputs packaging (MJ/ha)	74	74	0,4	74
Total Agricultural Phase (MJ/ha)	19 361	19 053	20 397 (b)	7 338
Crop yield (kg/ha)	8 746			13 450
Energie interne des grains MJ/kg	2,2		2,3	0,6

Les engrais azotés représentent 42 % des intrants agricoles et tous les intrants pétroliers représentent 34 % de ces intrants.

L'efficacité énergétique de la production agricole du maïs pour EBAMM, calculée à partir d'un PCI grain de 15,5 MJ/kg (annexe 5) et d'un rendement ha de 87,5 quintaux serait de 7,11. L'énergie utilisée pour la production serait donc multipliée par 7,11 ; il resterait un solde positif de 6,11 MJ par MJ utilisé.

(a) erreur d'addition

(b) oubli de l'intrant calcique confirmé dans la version 1_1 mais ramené à 448 kg CaO/ha.

VI - 2 - Phase industrielle

Net Energy Summary	Today	Calculs Today	Cellulosic
Total Agricultural Phase (MJ/ha)	19 361	20 397 (b)	7 338
Biorefinery Phase			
Transportation of feedstock to biorefinery (MJ/L)	0,59		0,63
Coal (MJ/L)	8,3		-
Natural gas (MJ/L)	5,5		-
Diesel (MJ/L)	-		0,06
Biomass (MJ/L)	-		(μ) 26
Capital (plant and equipment) (MJ/L)	0,13		0,44
Process water (MJ/L)	0,38		0,29
Effluent restoration (BOD energy cost in MJ/L)	0,29		0,29
Transportation of chemicals to plant	-		-
Total	15,19		
Crop yield (kg/ha)	8 746		13 450
Biorefinery yield (L/kg corn)	0,40		0,38
Net ethanol yield per land area (L/ha)	3 463	3 498 (c)	5 135
Net fuel energy yield per land area (MJ/ha)	73 424		108 855
Agricultural energy (MJ/L)	5,6	5,9	1,4
Biorefinery energy (MJ/L)	15		28
Recycled biomass energy (MJ/L)	-		26
Input energy (MJ/L)	(20,6) 21	20,9	3,1
Reported Heating Value of ethanol (MJ/L)	? 21	21,2 (d)	21
Coproduct credits (MJ/L)	4,1	4,1	4,8
Coproducts as % of total energy	20%		16%
Output Energy (MJ/L)	25	25,3	26
Net energy value, NEV (MJ/L)	4,5		23
NER : Net Energy Ratio *	1,2	1,2	8,3

* voir http://rael.berkeley.edu/EBAMM/EBAMM_SOM_1_0.pdf

(a) Erreur d'addition. (b) Oubli de l'intrant calcique. ? = erreur ou approximation.

Conséquence : l'énergie de la phase agricole passe de 5,6 à 5,9 MJ/L soit + 5 %. Le NER n'est pas modifié compte tenu des approximations sur le PCI (d) de l'éthanol.

Comparaison des filières maïs et cellulosique :

Les intrants agricoles pour la cellulose ne représentent qu'un tiers de ceux du maïs !

La grande différence entre le maïs et la cellulose réside dans l'apport énergétique en biomasse de 26 MJ/L d'éthanol produit. (μ) et rien pour le maïs.

L'utilisation de la cellulose à la place du maïs semble conduire à un ratio de 8,3 contre 1,2 ; à une énergie nette de 23 MJ/L d'éthanol contre 4,5 ; à une productivité à l'ha qui passe de 3 463 L d'éthanol pour le maïs à 5 135 L pour la cellulose, soit + 48 %.

Conséquence : « A la surprise générale, le président Bush a déclaré que l'éthanol « cellulosique » ou bioéthanol doit devenir un carburant commercial aux Etats-Unis d'ici à six ans. »
Sciences et technologies : Le bioéthanol remplacera-t-il le pétrole ? [27/02/06]

http://www.lesechos.fr/info/rew_metiers/4388134.htm

Conclusion : La production d'éthanol à partir du maïs est à abandonner au profit de la filière cellulosique. http://socrates.berkeley.edu/erg/info/6_06_cellulosic%20ethanol.pdf
http://www.cndwebzine.hcp.ma/cnd_sii/article.php3?id_article=954

D'autres valorisations du maïs ou/et des terres cultivées sont plus « rentables » pour l'agriculteur ET les consommateurs.

VII - Comparaison des équivalences énergétiques des intrants pour 6 sources :

1 cal = 4,18 J - 1 kWh = 3 600 kJ = 860 kcal

Sources	Pimentel	PWHC	Soltner	Planète	EBAMM	Idd	(1)
Intrants \ unités	Equivalence énergétique en MJ/unité						
Travail par h	190,61				0		
Outillage par kg	77,33		87,80				
Gazole* par L	47,65	39,30		40,70			35,95
Essence par L	42,32			41,50			
Azote urée par kg d'N	66,88	64,70	77,33	64,65	57,00	54,30	66,1
Azote ammonitrate/kg N		48,40		52,62			50,5
Nitrate ammoniacale/kg N		55,80		52,60			54,2
Phosphore par kg P ₂ O ₅	17,36	18,30	14,00	15,55	9,00		
Scories par kg P ₂ O ₅				9,30			
Potassium par kg K ₂ O	13,60	11,60	9,68	12,10	7,00		
Chaux* par kg CaO	1,18			2,80	0		1,5
Semences* de maïs /kg	103,50			16,20	10,00		
Semences de Panic /kg	261,25			9,40			
Semences de soja /kg	33,42			7,00			
Semences tournesol /kg	33,00			7,00			
Irrigation par m ³ *							
Herbicides par kg	418,00	256,00*	102,40	414,00	356,00		
Insecticides par kg	418,00	576,00	id	359,00	358,00		
Fongicides par kg		175,00	id	267,00			
Anti limaces par kg				288,00			
Régulateur de croissance par kg		241,00		300,00			
Electricité par kWh	10,80			9,60			
Transport par tonne.km	3,50	0,57		0,85			

* Voir les chapitres spécialisés

Conclusion : ce tableau, très incomplet tant d'un point de vue des intrants listés (Planète de Solagro en liste 150) que des réponses glanées dans les 6 sources, montre la difficulté pour réellement quantifier les rendements des cultures énergétiques. Seuls Pimentel et Planète donnent accès à ces équivalences énergétiques aussi appelées « énergie interne » des matériaux et des services. EBAMM obère l'accès à bon nombre d'entre eux tout en donnant leur équivalence à l'ha ou au MJ d'éthanol pour le maïs et le panic érigé.

Les études Ecobilan de 2002 et de 2005 reposent sur la fiabilité de telles données. Compte tenu des enjeux liés à ces études, un « Handbook » international sur ces équivalences énergétiques est indispensable.

A ces remarques, il faut ajouter, pour chaque intrant, la variabilité des évaluations énergétiques en fonction de ses usages. Ainsi, par exemple, un grain et une semence d'un même végétal n'ont pas la même valeur énergétique, alors que physiquement rien ne les distingue. Cet intrant est détaillé chapitre X-3.

(1) **Valeurs retenues :** cette colonne ne peut-être renseignée, sauf à générer des arbitrages sur plusieurs paramètres. (chapitre X)

VIII - Evaluation des productions d'énergies et des rendements des cultures

VIII – 1 - Comparaisons des publications pour le maïs à éthanol

	Intrants maïs en MJ/ha (a)	Production maïs en kg/ha (b)	Production maïs en MJ/ha (c)	Total des intrants pour l'éthanol MJ/ha (d)	Litre éthanol/tonne maïs à 15 % (e)	PCI du maïs 15 % d'humidité en MJ/kg (f)
<i>Pimentel</i>	33 921	8 655	130 240	54 808 (1)	372	15
<i>EBAMM</i>	19 361	8 746		52 476 (2)	400	10 (7)
<i>Valbiom (6)</i>	29 299		87 896			
<i>IDD</i>					418	
<i>Ecobilan 2005</i>	8 950 (3)	9 055	140 352	40 681 (4)	398	
<i>Ecobilan 2005</i>	11 806	9 055	140 352	53 662 (5)	398	
<i>Planète p8</i>	32 940	8 900				16,21 (8)
<i>Damien en bio*</i>	8 121	5 000	77 500			15,5

* Chapitre II-3-4-7 du rapport complet

(1) Le tableau 2 p67 mentionne une dépense de 6 597 Mcal pour produire 1 000 litres d'éthanol à 99,5 %. Ils sont obtenus à partir de 2 690 kg de maïs. Pour une production de 8 115 kg de maïs/ha (tableau 1). Les intrants à imputer à la production d'éthanol sont de $88\,729 - 33\,921 = 54\,808$ MJ/ha.

(2) Energie de biorafinage 15 MJ/L d'éthanol x 400 L d'éthanol/tonne de maïs x 8,746 tonne/ha.

(3) $1\,128,8$ MJ/hL éthanol x 3,98 hL/tonne de maïs à 15 % x 9,055 t de maïs/ha x 22% part des étapes de cultures et séchage du maïs ou avec 1 489 (voir la note de calcul en VIII-2).

(4) $1\,128,8$ MJ/hL x 3,98 x 9,055 = 40 681 MJ/ha

(5) $1\,489 \times 3,98 \times 9,055 = 53\,662$ MJ/ha

(6) Liste de diffusion Valbiomag de mars 2006

(7) Calcul du PCI du maïs à partir des données d'EBAMM.

Intrants : phase agricole 19 361 MJ/ha + phase alcool 15,19 MJ par litre d'alcool soit pour 3 463 litres d'alcool par ha 52 603 MJ/ha d'intrants pour la phase alcool.

Total des intrants : 71 964 MJ/ha.

Productions de 3 463 litres d'alcool à 21,2 MJ/L soit 73 416 MJ d'éthanol + le co produits à 4,1 MJ/litre d'éthanol soit 14 198,3 MJ/ha. Energie totale produite 87 614,3 MJ/ha

Solde positif de 15 650,3 MJ/ha ou 4,52 MJ/L pour un rendement maïs de 8 746 kg/ha

Estimation du PCI du maïs produit $87\,614,3 / 8\,746 = 10$ MJ/kg alors que c'est 15,5 ?

(8) Calculé à partir des tables INRA d'alimentation du bétail :

<http://www.inra.fr/productions-animales/an2003/num233/noblet/jn233ann2.pdf>

Analyse :

(a) les intrants d'Ecobilan 2005 sont très faibles. Du même ordre de grandeur de ceux d'un maïs bio non irrigué (Damien).

(b) le rendement en maïs est maximum pour Ecobilan 2005

(d) Ecobilan 2005 minore les intrants du biorafinage

(e) la productivité de l'éthanol-maïs est du même ordre de grandeur pour les 5 lignes renseignées.

(f) le PCI calculé à partir des données d'EBAMM est manifestement erroné (calcul 7).

Efficacités énergétiques de la production de maïs et d'éthanol de maïs selon les sources :

	Intrants maïs en GJ/ha (a)	Production de maïs				PCI		Ethanol		hL éthanol par	
		en qx/ha (b)	en GJ/ha (c)	Efficacité énergétique en MJ/MJ (d)	Valeur énergétique nette en GJ/ha (e)	maïs en MJ/kg (f)	éthanol MJ/L (j)	Total intrants GJ/ha (g)	Efficacité énergétique en MJ/MJ (h)	ha (i)	tonne maïs (k)
Pimentel	34	87	130	3,8	96	15,0	21,44	89	0,78	32,2	3,7
EBAMM	19	87	87	4,5	68	10,0	21,(2)	87	1,2	34,6	4,0
EBAMM			136	7	116	15,5*					
Valbiom	29		88	3	59						4,2
Ecobilan 2005	9	91	140*	15,5	131	15,5*	21,3*	41	1,89	36,0	4,0
Ecobilan 2005	12	91	140*	11,7	129	15,5*	21,3*	54	1,43	36,0	4,0
Risoud	33	89	144	4,4	111	16,2					
bio sans séchage	4	50	78*	17,5	73	15,5*					
bio avec séchage	8	50	78*	9,5	69	15,5*					
Moyennes **	29	84 ***	130	4,5	101	15,5	21,3			33,6	4

* Valeurs non indiquées par la source

** sur les résultats de Pimentel, Valbiom et Planète

*** rendement moyen 2005 en France <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/saa2006T2.pdf>

L'efficacité énergétique de la production de maïs est surévaluée pour EBAMM à 15,5 de PCI et pour Ecobilan 2005.

Parmi les efficacités énergétiques « normales », c'est celle de la bio sans séchage qui est la plus élevée, mais c'est aussi dans ce cas, où la valeur énergétique nette est la plus faible.

L'efficacité énergétique de la transformation du maïs en éthanol (colonne h) est le quotient de l'énergie produite, ici l'alcool, sur le total des intrants, colonne (g).

Les deux colonnes efficacités mettent en exergue la perte d'énergie primaire inhérente à la transformation du maïs en éthanol.

L'impact du séchage est mis en évidence pour les 2 lignes du maïs cultivé en mode biologique.

VIII - 2 - Comparaisons des cultures entre elles :

	(a)	Rendement moyen en t/ha						
	Surface en Mha en 2004	Sourie INRA 2005 p5	Ecobilan 2005	Ecobilan 2002 p17	Pimentel	2004 (b)	2005 (b)	2005 (b)
Tournesol	0,6			2,24	1,5*	2,4	2,4	
Colza	1,1	3,3		3,34		3,6	3,7	
Maïs	1,8	9,6	9		8,1	9,2	8,4	
Blé tendre	5,2	8,2 **		9		7,8	7,2	7
Betterave	0,4	79,5		66,2				

(a) Surface en Mha en 2004 en France, *Douaud* p19/35. Cette colonne donne un ordre de grandeur de l'importance des cultures en 2004 en France. Le maïs vient loin après le blé.

(b) moyennes nationales.

* Le rendement en tournesol de Pimentel est trop bas, la moyenne française est à 2,4 t/ha. Aux USA les cultures sont plus extensives qu'en France où la productivité surfacique est encore le critère maximisé. Cela est moins vrai pour le maïs.

** 7 t/ha en 2006 pour le blé tendre : http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/com_detail.asp?id=306

Productivité nette, par combustion directe, de 4 cultures en France selon Ecobilan :

Un hectare de...	Produit...	Humidité	PCI graines MJ/kg	GJ/ha	L équivalent gazole/ha (par combustion)		
	kg graines				Produits	Consommés	Nets
Tournesol	2 240*	9 %	26,3	59	1 636	295**	1 341
Colza	3 340*	9 %	22,3	75	2 069	528**	1 541
Maïs	9 055***	15 %	15,5	140	3 900	343***	3 557
Blé	9 000*	15 %	15,7	141,3	3 925	458**	3 467

* *Ecobilan 2002, synthèse p17/17*

** *Ecobilan 2002 page 56/132*

*** *Ecobilan 2005*

Note de calcul des 343 litres d'équivalent gazole/ha pour les intrants culturaux du maïs par *Ecobilan 2005 p4/7* : « Les besoins énergétiques totaux (hors allocations) sont estimés à 1 489 MJ/hl d'éthanol. (...) L'énergie non renouvelable mobilisée par hl pour l'éthanol de maïs est de 1 128,8 MJ. (...) Cette énergie est liée, pour la filière éthanol à 22 % aux étapes de culture (incluant la production des intrants) et séchage du maïs et 77 % à l'étape de transformation industrielle. ».

Remarques : 2 chiffres différents pour les besoins énergétiques en MJ/hL d'éthanol. L'addition des pourcentages fait 99 %.

Données :

La conversion maïs éthanol est prise à 398 L par tonne de maïs à 15 % d'humidité

Le PCI du gazole est 36 MJ/L

Calcul 1 : $1\,128,8 \times 3,98 \times 9,055 \times 0,22 / 36 = 248,6$ litres d'équivalent gazole

Calcul 2 : $1\,489 \times 3,98 \times 9,055 \times 0,22 / 36 = 327,9$ litres d'équivalent gazole

Calcul 2 : $1\,489 \times 3,98 \times 9,055 \times 0,23 / 36 = 342,8$ litres d'équivalent gazole

Conclusion : Dans tous les calculs l'évaluation énergétique des intrants agricoles du maïs est sous évaluée en 2005, si l'on compare avec celle du blé à 458 litres/ha en 2002 par le même bureau d'études Ecobilan.

Analyse :

La présentation en litres équivalent gazole de ce tableau image le potentiel énergétique d'un ha de culture. Ces volumes de gazole ne tiennent pas compte du rendement de chaudière estimé à 80 % dans la présentation économique de l'annexe 1.

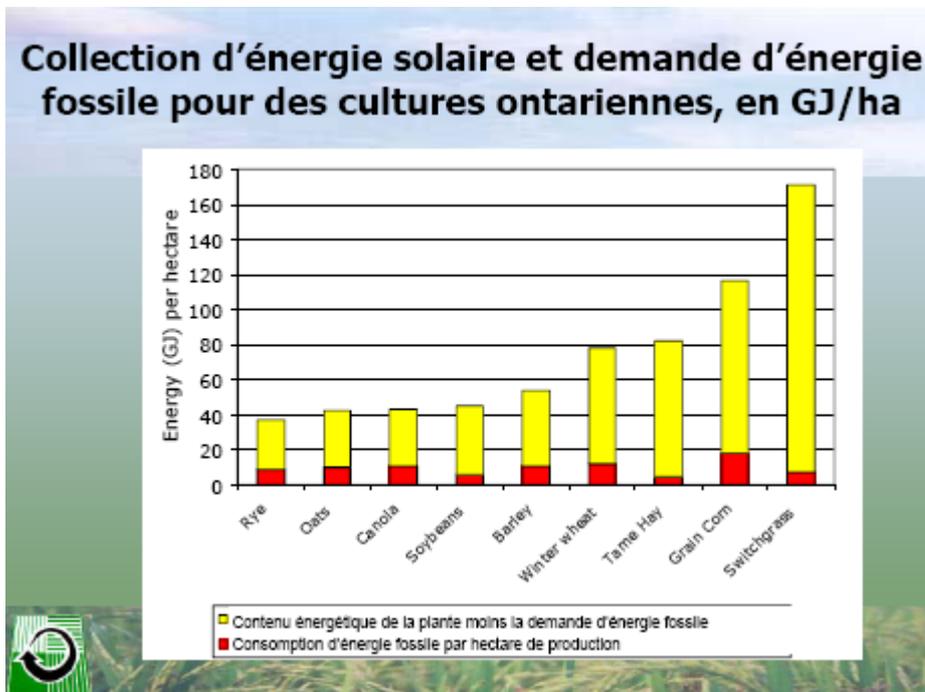
C'est le maïs qui semble avoir la meilleure productivité nette en 2005, mais cette étude présente des données non explicites ce qui la rend difficilement exploitable. D'où des incohérences avec d'autres études.

Ces 3 557 litres d'équivalent gazole sont à comparer avec les 3 221 litres d'éthanol que Pimentel propose par ha de maïs. Ils représentent des énergies différentes pour des volumes similaires :

$3\,557 \times 36 = 128 \text{ GJ/ha}$ pour le gazole par combustion directe de la graine.

$3\,221 \times 21,3 = 68,6 \text{ GJ/ha}$ pour l'alcool par carburateur dans un moteur.

Ce calcul met en exergue la différence de PCI des deux liquides dont les volumes au départ sont similaires. Il montre aussi la perte d'énergie « utilisable » liée à la production d'éthanol. Le gazole rendu disponible par la combustion du maïs est celui utilisé par les chaudières alimentées par le maïs. Il a la même valeur, en terme de motorisation, que l'essence remplacée par l'éthanol.



http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-serre/documents/HullCQVBBioenergie_samson.pdf

Ce tableau illustre les propos précédents. Il faut, environ, 19 GJ/ha de maïs soit 528 litres d'équivalent gazole ; Ecobilan 2005 en prévoit 249, EBAMM 538, Pimentel 711 et Risoud 809.

C'est bien le panic érigé qui consomme le moins d'énergie et surtout en produit le plus par ha. (c'est une des conclusions du chapitre II)

IX - Solutions – propositions

IX - 1 - Adéquation culture – élevage :

une contrainte incontournable pour une agriculture pérenne.

Selon *Pimentel*, l'organic farming nécessite 30 % d'énergie en moins que l'agriculture conventionnelle.

Avant l'avènement des engrais et de la motorisation, la recherche de fertilisants était permanente. Ainsi en Chine c'est l'emploi des toilettes sèches qui est encore pratiqué. Les pigeonniers très répandus partout dans le monde, il y a quelques décennies, permettaient un complément protéique mais aussi un apport de fientes à fort taux d'azote organique. La disparition de la traction animale a favorisé l'emploi massif des engrais de synthèse. Un cheval a besoin d'un ha et demi pour être nourri et plus s'il travaille.

IX - 2 - Notions d'UGB et d'UGBF :

Unité de Gros Bétail ou Bovin et Unité Gros Bétail Fumure

« L'UGB est une unité employée pour pouvoir comparer ou agréger des effectifs d'animaux d'espèces ou de catégories différentes. On définit des équivalences basées sur les besoins alimentaires de ces animaux. Par définition, une vache de 600 kg produisant 3 000 litres de lait par an correspond à 1 UGB, un veau de boucherie = 0,45 UGB, une brebis-mère nourrice = 0,18 UGB, une truie = 0,5 UGB, un canard = 0,014 UGB ».

http://ec.europa.eu/comm/agriculture/envir/report/fr/lex_fr/report.htm

FiBl utilise 2 niveaux de fumure : 0,7 et 1,4 UGBF (chapitre V) et *Mercier* indique p87, tableau 19 qu'une vache laitière de 500 kg, équivalent à 1 UGB, rejette chaque année 63,5 kg d'azote, 29,5 kg de P₂O₅ et 79,3 kg de K₂O. Soit pour un apport de 100 kg d'azote par ha et par an, il faut 1,6 UGB.

L'exemple de la Belgique en 1990 décrit par *Soltner p177* montre que **les apports en NPK des rejets des animaux couvrent les besoins de toutes les cultures** du pays. De plus, d'après *Soltner dans le sol 2005 p302*, la production de fumier par UGB est de 6 à 10 tonnes par an soit, avec un rendement de 10 % du poids de fumier humide, une production de 600 à 1 000 kg d'humus par an et par UGB. C'est bien l'humus qui fait défaut à tous les sols en cultures intensives depuis un demi siècle.

Effectifs des animaux en 2005 en France métropolitaine selon

<http://agreste.maapar.lbn.fr/TableViewer/tableView.aspx>

Effectif de l'ensemble de l'espèce	en tête de bétail	Nombre d'équivalent UGB
Bovine	19 245 094	1
Porcine	14 976 485	0,5
Caprine	1 211 101	0,18
Ovine	9 086 576	0,18

Conclusion : En 2005, la France comptait, 28 586 918 équivalent UGB hors poules, canards et lapins, pour 18,4 millions d'ha soit 1,6 UGB par ha de SAU. Ce qui serait suffisant pour fertiliser les terres sans apports d'engrais chimiques si la répartition était homogène.

IX - 3 - La dualité énergétique d'un UGB

L'utilisation des effluents d'un UGB permet de supprimer les engrais chimiques utilisés dans les cultures. En conséquence l'énergie grise de ces engrais est économisée. Si ces effluents ne sont pas utilisés pour cet usage ils doivent être « dépollués », ce qui est le cas le plus fréquent. Il faut selon *Pimentel* 4 kWh pour éliminer 1 kg de DBO₅.

Ainsi soit l'UGB génère des économies d'énergie par substitution aux engrais de ses effluents soit il en consomme pour leur dépollution. Ces 2 énergies doivent s'ajouter et être créditées à l'agriculture biologique qui met ainsi en boucle la matière organique et tous ses éléments solubles qui génèrent tant de problèmes : dystrophisation, marées vertes,

Calcul de l'énergie impliquée dans le couple élevage-culture pour un UGB :

La valeur fertilisante en azote d'une unité de gros bétail (UGB) est de 73 kg d'azote, soit l'équivalence de 1 UGBN (Arrêté du 19/12/2000, article 3, II)

<http://www.eau-artois-picardie.fr/IMG/pdf/ARRETE28OCTOBRE75.pdf>

http://www.environnement.gouv.fr/rhone-alpes/bassin_rmc/rdbmrc/glossaire/Ugb.htm

L'énergie interne de cet élément fertilisant est de $73 \times 52,62 \text{ MJ/kg N} = 3,8 \text{ GJ}$.

La valeur polluante d'un UGB tout aliment = 13 équivalent-habitant pour la pollution phosphorée = 12 kg de Phosphore par an soit 0,034 kg /j. et 18 équivalent-habitant pour la pollution en matières organiques = 394 kg de matières organiques par an soit 1,08 kg /j.

http://www.bordeaux.cemagref.fr/adbx/Rapports/DCE/Zahm2005_DCEp3.pdf

Un équivalent habitant c'est 60 g de DBO₅ / jour.

Soit $60 \cdot 10^{-3} \times 365 \times 18 \times 4 \text{ kWh électriques} \times 3 \text{ kWh chaleur par kWh électrique} \times 3,6 \text{ MJ/kWh} = 17 \text{ GJ}$ d'énergie primaire dépensée pour dépolluer la MO de l'effluent d'un UGB par an.

Conclusion : Ce sont plus de 20 GJ par UGB et par an qui concernent l'adéquation élevage-culture soit plus de 500 litres d'équivalent gazole. Comparez ce chiffre avec la capacité de production d'HVP ou d'équivalent gazole d'un ha : 800 litres pour le tournesol et 1000 litres pour le colza.

IX - 4 - Questionnement :

1 - Quelle est la pression environnementale souhaitable par ha ?

1 UGB/ha avec un maximum à 3 UGB/ha

2 - Quel est le nombre d'UGB par ha pour maintenir le taux d'humus ou pour l'accroître ?

Pour un sol à 2 % d'humus sur 3 000 tonnes de terre par ha et un coefficient $k_2 = 0,5 \%$ (coefficient de minéralisation de l'humus d'un sol) il faut **2 UGB pour maintenir le taux d'humus d'un ha.**

3 - Quel est le nombre d'UGB par ha pour apporter la quantité de NPK par culture ?

Pour FiBl elle se situe entre 0,7 et 1,4 UGBF

Voir aussi le tableau 4 : composition moyenne de quelques fertilisants organiques sur

<http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Brochure%20fertilisation15nov.pdf>

4 - Comment inciter les éleveurs et les agriculteurs à déconcentrer leurs activités spécialisées et à retrouver la synergie entre ces deux piliers de l'agriculture durable : **cultures et élevages** ?

C'est un problème d'aménagement des territoires. Nationalement on parle de ZES : Zone à Excédent Structurel, comme la Bretagne pour N et P. Localement c'est le phénomène NIMBY qui opère dès qu'un élevage industriel prévoit de s'implanter. Ce sont les Consommateurs Acteurs qui détiennent la solution : si l'on veut des poulets de chair s'approchant de ceux de la « grand-mère » pour ceux qui ont la chance d'avoir vécu cela, il faut de petits élevages locaux non industriels c'est-à-dire nourris par les productions végétales de la ferme ou des fermes connexes.

5 - L'agriculture biologique est-elle apte à nourrir l'ensemble de la population ?

« Une étude récente menée par des scientifiques de l'Institut de Recherche pour l'Agriculture Biologique (IRAB) en Suisse a montré que les fermes biologiques avaient un rendement inférieur de seulement 20% aux fermes conventionnelles sur une période de 21 ans. En passant en revue plus de 200 études menées aux Etats-Unis et en Europe, Per Pinstrup Andersen (professeur à Cornell et gagnant du World Food Prize) et ses collègues sont arrivés à la conclusion que **le rendement de l'agriculture biologique arrive environ à 80% du rendement de l'agriculture conventionnelle**. Beaucoup d'études montrent une différence encore moins marquée. Analysant les informations de 154 saisons de croissance sur diverses cultures, arrosées par la pluie ou irriguées, Bill Liebhardt, scientifique agricole de l'Université de Californie à Davis, a découvert que la production de maïs biologique atteignait 94% de celle de la production conventionnelle, celle de blé biologique 97% et celle de soja biologique 94%. La production de tomate biologique quant à elle égalait la production conventionnelle. (...)

Le facteur limitant : Y a-t-il assez d'azote ?

On trouve beaucoup plus d'azote sous forme d'engrais vert que sous forme d'engrais animal... Des recherches menées à l'Institut Rodale en Pennsylvanie ont montré que le trèfle violet, utilisé comme couvre-sol d'hiver dans une rotation avoine/blé - maïs - soja, sans ajouts d'engrais, permettait d'obtenir un rendement comparable à celui des champs cultivés de manière conventionnelle (...)» par Brian Halweil traduit de World Watch L'état de la planète n°27 mai/juin 2006

<http://www.delaplanete.org/L-agriculture-biologique-peut-elle.html>

Voici 3 tableaux extraits de *FABLQ p9 et suivantes*.

L'azote : un manque à gagner !

Prenons l'exemple d'une culture de blé fertilisée à partir d'un lisier de porc. La différence entre les besoins de la culture et les nutriments apportés s'estiment ainsi :

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Exportation par la récolte (kg/t)	26.1	10.2	5.7
Rendement espéré	4 t/ha		
Besoin de fertilisation (kg/ha)	104	41	22

Pour combler les besoins en P et K, on apporte 14 m³/ha (3000 gal/ha) de lisier de porc, d'une teneur moyenne de 4,5 kg de N, 3 kg de P₂O₅ et 3 kg de K₂O par tonne,

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Apports en nutriments par le lisier (en kg/ha)	63	42	42
Balance (kg/ha)	- 41	+ 1	+ 20

Ce calcul, quoique sommaire, fait clairement ressortir comment, en utilisant la plupart des fumiers disponibles sur les fermes, les besoins en phosphore et en potasse sont largement comblés par rapport au besoin en azote. Si en agriculture dite conventionnelle ce manque à gagner est comblé par l'utilisation des différents engrais azoté de synthèse, en agrobiologie ce manque à gagner ne peut être comblé que par l'intégration intensive de légumineuses dans le système de production. Seules les légumineuses peuvent apporter de l'azote nouveau sans apporter de phosphore et de potasse supplémentaire. Sur la ferme laitière, la culture abondante de prairies de luzerne et/ou de trèfle remplit bien ce rôle. Sur la ferme de grandes cultures et maraîchère seule l'intégration dans la rotation de culture d'engrais vert de légumineuses peut combler ce besoin en azote.

Tableau 1 - Estimation de la fixation symbiotique selon diverses espèces de légumineuse

Espèces	Fixation de (kg/hectare)
Luzerne	175
Trèfle rouge	125
80% légumineuse+20% graminée	140
50% légumineuse+50% graminée	100
30% légumineuse+70% graminée	70
Soja	70
Haricot	50
Pois	60
Lupin	140
Vesce	100

Tableau 6 - % de disponibilité de l'azote sur sol froid selon divers engrais organiques



¹ Ces valeurs ne sont qu'indicatives. Pour les lisiers et les purins, la fraction d'azote disponible peut varier en fonction de l'alimentation des bêtes, la durée et le mode d'entreposage. Pour les composts, ces valeurs peuvent varier en fonction du C/N de départ, de la durée du compostage et des techniques utilisées.

*X - Etude de quelques intrants :**X - 1 - Les engrais NPK*

Les engrais chimiques N, P, K pourraient être remplacés par des rejets d'élevages ou d'IAA ou des résidus des concentrations urbaines ou par des autoproductions dans les exploitations agricoles. La spécialisation des cultures, les concentrations des élevages et des IAA ont rompu l'équilibre des flux de matières rejetées par ces activités très imbriquées ; ce qui autrefois était synergie entre les filières est devenu pollutions problématiques énergivores et toujours sujet à des transferts de pollution lors des mises aux normes des effluents. C'est un problème d'aménagement des territoires ruraux.

La fourniture d'azote est le plus fort consommateur d'énergie, même si en 20 ans la quantité d'énergie fossile nécessaire à la production d'une unité d'azote est passée de 3 litres de gazole à 1 ou 2 litres. Selon Pimentel l'azote représente 30 % des intrants énergétiques pour le maïs et selon EBAMM : 42 % : voir les chapitres III-2 et V-1.

Cependant, les ACV utilisant l'azote n'ont pas toutes les mêmes approches. Les internalisations des impacts externes de cet élément ne sont pas quantifiées au même niveau énergétique et parfois sont totalement occultées. Ainsi la Confédération paysanne* « rejette les fausses alternatives issues de l'agriculture intensive, en rappelant que 600 kilos de pétrole sont nécessaires pour produire 180 unités d'azote, épandues sur un hectare de blé». Ce qui donne 3,96 litres de gazole par kg d'azote minéral sous forme d'engrais.

Quantité d'énergie nécessaire pour produire 1 kg d'azote de synthèse :

Sources	Forme azotée	Energie grise	
		en MJ/kg N	En litres équivalent gazole (36 MJ/L)
EBAMM	Nitrogen	57	1,6
Pimental	Azote urée	66,88	1,9
Soltner 1995	Azote urée	77,33	2,2
Ecobilan 2002	Azote urée	64,7	1,8
Idd Belgique	Azote urée	57	1,6
Planète	Azote urée	64,65	1,8
Planète	Azote ammonitrate	52,6	1,5
Ecobilan 2002	Azote ammonitrate	48,4	1,3
Planète	Nitrate d'ammoniaque	52,6	1,5
Ecobilan 2002	Nitrate d'ammoniaque	55,8	1,6
Confédération Paysanne*	Unités d'azote	142	3,96**

* http://www.confederationpaysanne.fr/campsol_dossiers.php3?id_article=559&Valider=Afficher+le+dossier

** une partie de cet azote doit provenir de l'humus en dégradation naturelle et des résidus des cultures antérieures (légumineuses) donc il s'agit d'une dépense énergétique équivalente aux besoins et pas aux apports. Cette ligne met en exergue le concept d'énergie interne d'un produit ou d'un service alors que les lignes au dessus, listent la dépense énergétique pour produire cet intrant.

Conclusion : Faut-il compter, dans les bilans énergétiques, l'énergie des intrants réels ou bien celles des exportations de la culture ?

Hormis la ligne « syndicale » les trois formes d'azote ont des énergies grises similaires :

Pour l'azote urée elle est de 66,1 MJ/kg N

Pour l'azote ammonitrate elle est de 50,5 MJ/kg N

Pour le nitrate d'ammoniaque elle est de 54,2 MJ/kg N

Que représente la synthèse industrielle des engrais azotés ?

Sur les 9,7 millions de tonnes d'azote dans les sols de France (chiffres 1989, SNIE), un peu plus du tiers provient de la synthèse des engrais azotés, à partir de l'azote de l'air et de l'énergie. »
Soltner 2005 p389

Sources azotées en France en 1989	En millions de tonnes d'azote	%
Déjections humaines	0,25 à 0,3	3
Retombées atmosphériques	0,5	5
Fixation d'azote atmosphérique par les légumineuses	1,3	13
Déjections animales	2	21
Engrais azotés d'origine industrielle	2,6	27
Minéralisation de la matière organique	3	31
Total des entrées annuelles d'azote en France	9,7	100

La dépendance en 1989 des engrais azotés de synthèse était de 27 %, à combien est-elle aujourd'hui ?

X - 2 - Les amendements calciques.

Test de l'effervescence à l'acide sulfurique ou chlorhydrique :

Serge Pontailleur rappelait en 1971 (p65) : « **la chaux enrichit le père et ruine le fils** ».

Elle ne remplace pas les engrais mais elle accroît leur efficacité en limitant leur lessivage car l'ion calcium augmente le coefficient de fixation défini par Hérody (annexe 6).

La notion de pillage intergénérationnel peut s'appliquer à l'humus décrit ci-dessous : temporairement les engrais n'ont fait que masquer la réduction du taux d'humus et de matière organique du sol.

Les apports calciques peuvent se faire par la chaux agricole, la chaux vive, le carbonate de calcium ou calcaire broyé ou par les fientes très riches en calcium mobilisable (l'alimentation des poules pondeuses en contient en excès).

Les équivalences de doses préconisées en 1971 (p66) étaient, pour une même action calcique, de l'ion Ca^{++} de :

Dose ha	Forme de l'apport	Rapport des doses ha
1000 kg de	carbonate de chaux pur	2
750 kg de	chaux éteinte	1,5
500 kg de	chaux vive	1

Molécules	Masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	Rapport des masses molaires
CaCO_3	$40,1 + 13 + 3 \times 16 = 104,1$	1,9
$\text{Ca}(\text{OH})_2^*$	$40,1 + 2 \times (16 + 1) = 74,1$	1,32
CaO^*	$40,1 + 16 \text{ g} = 56,1$	1

* ces deux produits brûlent la matière organique du sol, ils doivent être épandus avec précaution.

Ces deux séries de rapports sont équivalentes car chaque molécule libère un seul ion Ca^{++} ; c'est le principe actif, donc pour un même apport massique, il faut respecter les rapports de masses molaires, c'est la notion de milliéquivalents très employée en agronomie ; voir la définition et les équivalences sur : <http://scienceenvironnement.free.fr/glossaire/GLOS5.htm>

Conclusion : Vouloir substituer une forme d'apport calcique par une autre pour des raisons économiques est un leurre : les apports massiques ne sont pas identiques ! Quels sont les coûts économiques et énergétiques de ces 3 molécules selon les formes d'apports ?

Tableau des intrants calciques en kg de CaO par ha :

Cultures	Pimentel	EBAMM	Ecobilan 2005	Pontailier
Maïs	1 120	1 120	125	176*
Soja	4 800			
Tournesol	1 000			
Colza				233 p75
Blé				60 p90

* Pontailier cite pp23 et 90 : 56 kg/ha de CaO + 120 kg de chaux par 30 tonnes de fumier.

Farrell cite page 6/23 “agricultural lime (crushed limestone, CaCO₃)”; et dans EBAMM lime CaO application 1 121 kg/ha de maïs et lime (MJ/kg) = 0 ! pour la version 1-0. Dans la version 1-1 il maintient l’apport énergétique nul mais avec une application de 448 kg/ha.

Quelle est la forme d’apport calcique utilisée ?

Quelles sont les énergies internes en MJ/kg de ces différentes formes d’apports ?

Quelles distances parcourent-elles pour atteindre la SAU ?

Dans la seconde version EBAMM de juillet 2006 un fichier liste les apports de chaux par état chaque année, ainsi en 2002 sur 17 états, 46 % des terres sont amendées tous les 5,3 ans en moyenne par 4,7 tonnes de chaux/ha en moyenne. http://rael.berkeley.edu/EBAMM/USDA_lime_report.pdf

Après cette introduction sur les masses de cet intrant et sur sa forme il convient de discuter la valeur énergétique de chacune des formes de l’apport calcique.

C’est sans conteste la fiente qui a une dépense énergétique quasi nulle pour tous les ingrédients qu’elle contient, d’autant plus si elle est autoproduite dans une ferme mixte culture et élevage ou dans une ferme mitoyenne. Pour les autres formes, outre l’énergie interne liée à la production ou à l’extraction du produit, il faut comptabiliser son transport qui dépend de son mode. Ces modes de transport sont présentés au chapitre X-7.

Energie interne du CaO et dose ha pour le maïs :

Sources	MJ/kg CaO	Dose ha pour le maïs en kg
Pimentel	1,2	1 120
Planète	2,8	
EBAMM Today	0	1 121 – 448*
EBAMM Patzek	2	333
EBAMM Pimentel	1	1 121
EBAMM Shapouri	?	18
EBAMM Graboski	0,1	2 959
EBAMM Oliviera	2	275
Ecobilan 2005	?	125
Pontailier		176

* versions EBAMM 1_0 et EBAMM 1_1

Les doses ha dépendent des sols et des itinéraires culturaux. Elles peuvent être apportées certaines années et pas d’autres.

Conclusion : la valeur moyenne de l'énergie interne de la chaux sur ceux qui se prononcent est de 1,52 MJ/kg. La dose ha moyenne est de 805 kg de CaO/ha.an. Le meilleur apport en Ca est celui du calcaire broyé CaCO₃ extrait localement ou par les fientes.

L'énergie interne des apports calciques devrait être définie pour chaque forme d'apport en équivalent Ca⁺⁺. En effet la chaux vive produite dans des fours consomme de l'énergie fossile alors que le calcaire des fientes est un déchet pour un élevage industriel et un intrant lorsque la synergie culture – élevage est possible.

Ce poste représente 3,9 % de l'énergie des intrants agricoles du maïs pour Pimentel, 6 % pour EBAMM corrigé version 1_0 et 2,4 % pour la version 1_1.

Test de l'effervescence à l'acide sulfurique ou chlorhydrique :



Selon le livret de formation de Dominique Massenet : Les bases de la méthode Herody. p30 « Tous les sols qui ne font aucune effervescence à l'acide dilué ont besoin d'être chaulés pour maintenir la saturation en bases du complexe organo-minéral. Le départ du calcium par la culture en place et surtout par le lessivage est un phénomène continu. »

Conclusion d'Yves Hérody : certains sols calcaires doivent être amendés à faible dose selon une table d'apports calciques en fonction du Coefficient de Fixation du sol et des analyses (voir l'annexe 6) avec du calcium lorsque celui-ci n'est pas ou plus mobilisable.

Le calcium et le fer sont les 2 éléments chimiques indispensables au sol pour lier les matières organiques aux argiles et limons. Ils sont une des clés du transfert des nutriments du sol profond vers la plante, base de la méthode Hérody.

X - 3 - La semence

C'est un poste de coût important et une course aux améliorations qui fait vivre les semenciers. D'un point de vue énergétique il faut distinguer la semence du grain, selon Pimentel la semence a un contenu énergétique supérieur à celui de la graine.

En termes de bilan énergétique le concept d'énergie nette fait intervenir la valeur énergétique du produit de substitution. Ainsi une semence et un grain d'une même espèce végétale ont la même énergie de combustion directe, il faut ajouter à la semence le coût de son extraction spéciale, de sa conservation longue et sous des contraintes drastiques, de son ensachage, étiquetage et trop souvent protection chimique ou physique. Son énergie interne est donc très supérieure à celle du grain correspondante, c'est pourquoi je suis de l'avis de Pimentel même si je ne puis justifier de son coefficient multiplicateur de 7 pour le maïs, de 2,5 pour le tournesol et de 15,6 pour le panic érigé.

Polémique entre le contenu énergétique et le PCI des grains et des semences.

En réalité la polémique ne porte pas sur le simple PCI mais sur l'imputation énergétique que les auteurs donnent à cet intrant qui est aussi une production en effet un grain c'est à la fois :

1. Une production agricole,
2. Un aliment pour les animaux, sous forme de graines ou de tourteaux
3. Une semence,
4. Un combustible, (annexe 1)
5. Un carburant, HVP ou ester ou éthanol

Pour chaque aspect de ce même produit sa quantification énergétique est différente selon le type d'allocations utilisé et le degré d'intégration entre PCI et énergie interne :

Contenu énergétique des grains et des semences selon 4 sources :

En MJ/kg	Pimentel		EBAMM		(2)		Planète - Risoud	
	semence	grain	semence	grain	semence	grain	semence	grain
Tournesol	33	13					7*	26,13
Colza					13,8	23,2	5,7*	25,22
Maïs	104	15	10	10 (1)			1*	16,21
Blé					7,2	13,8	8*	15,82
Panic érigé	261	16,7		19,85			9,4*	18,4
Soja	33	15					7*	20,18
Orge						12,5	8*	15,93
Seigle						9,2	8	
Avoine						10,4	8*	17,45
Triticale								16,22

* pourquoi une telle différence sur les données Planète entre semence et grain?

La différence de contenu énergétique entre grains et semences réside dans plusieurs qualités que doit avoir le grain pour devenir semence, notamment en matière de plantes hybrides. Une semence est toujours plus âgée qu'un grain, qui voit son prix augmenter au fur et à mesure de l'éloignement de la récolte. Le coût de stockage + emballage sont donc supérieurs pour une semence. De plus une semence est triée, sélectionnée, produite en plus petite quantité, enduite de fongicide et + D'où la différence !

A minima, un grain et une semence d'une même espèce devrait avoir le même impact énergétique. C'est l'hypothèse de Farrell mais pas au bon niveau énergétique.

(1) calcul indirect du contenu énergétique du grain pour EBAMM :

Production de 3 463 litres d'alcool à 21,2 MJ/L = 73 416 MJ/ha de maïs

Co produit 4,1 MJ/litre d'alcool x 3 463 = 14 198,3 MJ/ha de maïs

Energie totale sortant du champ et de l'unité de fermentation-distillation = 87 614,3 MJ/ha pour une production de 8 746 kg de maïs par ha soit 10 MJ/kg de maïs.

Vérification :

Intrants phases agricole et alcool =

19 361 MJ/ha + 15,19 MJ/hL alcool x 3 463 L/ha = 71 964 MJ/ha

Solde positif de 15 650,3 MJ/ha pour 3 463 litres/ha soit une NEV de 4,52 MJ/litre comme indiquée par Farrell dans EBAMM_1_0.xls NetEnergy.

(2) <http://www.usask.ca/agriculture/caedac/dbases/INPUT.html>, ou <http://scienceenvironnement.free.fr/IA/INPUT.html>

Ces données comparatives sont très anciennes (1970). Elles viennent de plusieurs publications sur la plupart des intrants. Certains des pesticides mentionnés sont aujourd'hui interdits. Les sources citées et datées les plus anciennes chez Planète sont de 1980 (Bonny).et 1973 (Pimentel). Les plus récentes sont chez *Risoud* et le fichier sous Excel *Planète*.

Il faut confronter ces 2 énergies à une troisième : l'énergie de production et de récolte du grain soit l'énergie des intrants agricoles qui pourrait-être l'énergie grise des grains (EG):

	Pimentel			EBAMM			Planète - Risoud		
	sem	grain	EG	sem	grain	EG	sem	grain	EG
Tournesol	33	13	17				7	26,13	
Colza							5,7	25,22	5,1
Maïs	104	15	3,9	10	10	2,2	1	16,21	3,7
Blé							8	15,82	2,3
Panic érigé	261	16,7	1,2		19,85	0,6	9,4	18,4	
Soja	33	15	5,9				7	20,18	
Orge							8	15,93	
Seigle							8		
Avoine							8	17,45	
Triticale								16,22	

Pour les lignes renseignées, seul le maïs, chez Planète, a une énergie pour la semence inférieure à son énergie de production.

Importance relative des semences :

En %	Pimentel		EBAMM		(1)	
	énergie	cout	énergie	cout	énergie	cout
Tournesol	9,1	8,2				27
Maïs	6,4	8,1	1,2			
Panic érigé	4	1,3				
Soja	15	9				

Selon Jean-Pierre Berlan, directeur de recherche à l'INRA, les semences sont le premier poste de coût de l'agriculture conventionnelle, alors que pour *Pimentel* c'est le travail (16 %) pour le maïs et les machines (25 %) pour le tournesol.

(1) Les semences de tournesol représentent 27 % des charges opérationnelles.

Les informations agricoles n°2378 janvier 2006 Mont de Marsan 40

X - 4 - Le labour et les Techniques Culturales Simplifiées (TCS) :

Il s'agit en fait d'une véritable révolution agronomique qui limite les utilisations des engins agricoles et des intrants chimiques, donc va à l'encontre de l'agronomie actuelle qui ne peut donc pas la préconiser.

Le non labour et le semis direct génèrent, en moyenne 50 litres d'économie de gazole par ha sur les 90 litres nécessaires aux labours et préparation de la terre pour les semis !

Consommation de carburant et temps de travail en fonction du mode de travail du sol			
Source : TCS, 1999	Labour	TCS	Semis direct
Consommation	108 L	75 L	49 L
Globale exploitation	41 euros/ha	29 euros/ha	19 euros/ha
Déchaumage	20 L	10,5 L	6 L
Préparation du sol	42 L	18 L	8 L
Semis	13 L	10,5 L	7,5 L
Temps de travail	4,8 h/ha	3,3 h/ha	2,2 h/ha

Consommation globale = consommation de l'année + nombre total d'ha.
Elle comprend le travail du sol, l'implantation, le suivi de la culture et la récolte

Extrait de la diapositive 10/19 de :

<http://www.agriculture-de-conservation.com/publitscs.php>

Conclusion : Le non labour avec semis direct divise par 2 les consommations directes en gazole pour les façons culturales. Le temps de travail est également divisé par 2.

Rendements observés sur l'essai travail du sol de Boigneville (q/ha ou t/ha)

MAÏS / BLÉ	Récoltes	Labour	Travail superficiel	Semis direct
Maïs	1978-2004	70.0	70.1	69.6
Blé	1971-2004	76.8	77.5	77.6

BS / BLÉ / POIS / OP	Récoltes	Labour	Travail superficiel	Semis direct	Horsch SE
Betterave	1998-2004	81.1	78.0	79.2	75.0
Blé	1999-2004	83.8	83.4	87.1	85.8
Pois	1998-2004	54.1	49.7	49.7	47.5
Orge de print.	1998-2004	74.4	73.2	75.5	72.4

MONOCULTURES	Récoltes	Labour	Travail superficiel	Semis direct
Blé (pailles restituées)	1971-1977	53.0	52.0	49.9
Blé (pailles brûlées)	1978-2001	76.3	76.7	78.2
Blé (pailles restituées)	2002-2004	68.2	69.2	70.9
Maïs	1978-1994	62.0	60.6	58.0

Les pertes de rendements sont négligeables pour la rotation maïs-blé et de 6,5 % pour le maïs en monoculture d'après http://www.arvalisinstitutduvegetal.fr/fr/com_detail.asp?id=216.

Ces données sont à vérifier sur un grand nombre de cas comme l'ont fait Pimentel, Farrell et l'IRAB. En France, Solagro compile ces données via Planète. Chaque agriculteur peut, à l'échelon de sa ferme, situer d'un point de vue énergétique, ses pratiques culturales à l'aide des 1 000 exploitations déjà enregistrées par Planète.

X - 5 - Le séchage

X - 5 - 1 - Le séchage du maïs en 2005

Il faut approximativement 1 kWh pour « évaporer » 1 kg d'eau ! Cette énergie se décompose en chaleur vive et en chaleur latente de vaporisation de l'eau plus la chaleur vive consommée par la masse du produit à déshydrater plus celle de l'air véhiculant les calories et évacuant la vapeur d'eau. Il faut aussi comptabiliser l'énergie nécessaire à la montée en température du tunnel ou du silo de séchage.

La température de départ est de 20°C et celle du séchage de 55°C ; soit un $\Delta\theta$ de 35°C.

Conversions et données :

1 kWh = 3,6 MJ ; 1 L de gazole = 36 MJ

Chaleur latente à 100 °C de vaporisation de l'eau = 2,25 MJ/kg = 0,624 kWh.kg⁻¹

Chaleur massique de l'eau = **4,18 kJ.kg⁻¹.°C⁻¹**

Chaleur massique air : 1 010 J/kg air sec et 1 030 pour air saturé

Chaleur massique du maïs assimilée à la chaleur massique du bois : 1,76 kJ/kg

La masse volumique du maïs grain à 15 % d'humidité est de 720 kg/m³ pour

<http://www.areneidf.com/energies/pdf/Lescheroles-cereale-chauffage.pdf>

Données pratiques : selon *Ecobilan 2005* « Le maïs est récolté à 28 % d'humidité. Il doit être ramené à un taux maximal de 15 %. Pour cela il faut 162,5 kWh gaz et 14 kWh électrique par tonne de maïs sec stocké. » La dépense énergétique globale E est donc de 162,5 + 3* x 14 = 204,5 kWh chaleur = 736,2 MJ = 20,5 L de gazole par tonne de maïs sec stocké.

**L'énergie électrique est convertie en chaleur en considérant qu'il faut 3 kWh chaleur pour produire 1 kWh électrique.*

Calcul de l'efficacité énergétique du séchage en MJ/litre d'eau évaporée (en 2005) :

1 tonne de maïs à 28 % contient 280 kg d'eau et 720 kg de MS

Ces 720 kg de MS conserve 15 % d'eau sur la masse brute représentent 85 % de la masse brute

Cette masse brute de maïs à 15 % d'eau est donc de $720 / 0,85 = 847$ kg de maïs à 15 % d'eau.

1 tonne de maïs à 28 % donne 847 kg de maïs à 15 % soit une perte d'eau de 153 kg.

1 tonne de maïs à 15 % génère donc une perte d'eau de 180,6 kg

pour une dépense énergétique de 204,5 kWh = 20,5 L de gazole.

Soit une efficacité énergétique de **1,1 kWh/litre d'eau = 4,1 MJ/litre d'eau.**

Calculs de l'énergie théorique du séchage d'une tonne de maïs grain humide :

$$Q_{\text{sensible MS maïs}} (720\text{kg de sec}) = 720 \times 1,76 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \times 35^\circ\text{C} = 44.352 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{sensible}} (280 \text{ kg d'eau totale}) = 280 \times 4,18 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \times 35^\circ\text{C} = 40.964 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{latente}} (153 \text{ kg d'eau}) = 153 \times 2250 \text{ kJ/kg} = 344.250 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{totale}} \text{ générant } 847 \text{ kg de maïs à } 15 \% \text{ et } 153 \text{ kg d'eau.} = 430 \text{ MJ/tonne.}$$

Il faut donc théoriquement au moins **2,8 MJ pour évaporer 1 kg d'eau** dans ces conditions.

Le rendement du séchage était de 69 % sur cette donnée en 2005.

Tableau récapitulatif sur le séchage du maïs et ses interprétations énergétiques :

	Maïs 28 %	Maïs 15 %
Masse eau par tonne en kg	280	150
Masse de matière sèche par tonne	720	850
Equivalence massique en kg	1000	847
Equivalence massique en kg	1180,6	1000
Pertes en eau en kg/tonne brute	153	180,6
Energie de séchage en kWh/t	173	204,5
Energie de séchage en MJ/t	624	736
Energie de séchage en litre de gazole/t	17,3	20,4
Rendement en kg maïs/ha	10 690	9 055
PCI du maïs grain MJ/kg brut	13,1	15,5
Masse de maïs nécessaire au séchage kg/t	47,6	47,5
En % massique *	4,8	4,8
Energie de séchage en litre de gazole/ha	185	186
Energie de séchage en % de l'énergie récoltée	4,8	5
Energie récupérable dans 1 ha de maïs en GJ	140	133,34
Energie récupérable dans 1 ha de maïs en litre de gazole	3 889	3 704
Consommation énergétiques des intrants cultureux	712	712
Energie nette récupérable sur 1 ha de maïs	3 177	2 992

* d'après les **Réflexions sur la valorisation non alimentaire de la biomasse février 2006 Agri.gouv p43/55** « A titre d'exemple, il faut 400 quintaux de grain pour en sécher 10 000 de maïs, 600 quintaux pour chauffer 1500 m² de bâtiment hors sol et 1ha de serre utiliserait 120 ha de blé tendre. »

La masse de maïs équivalente à l'énergie de séchage est ici de l'ordre de 4 % de l'énergie totale contenue dans le maïs séché. Les calculs ci-dessus aboutissent à 5 % ce qui reste dans l'ordre de grandeur.

Efficacité énergétique en	Théorique	Soltner 1990*	Ecobilan 2005	Crib à maïs
MJ/litre d'eau évaporée	2,8	7,4	4,1	0 ± ε
Rendement du séchage	1	2,6	1,5	∞

* en 1990 le maïs était principalement récolté à 35 % d'humidité alors qu'en 2005 c'est 28 %.

Conclusion : l'efficacité énergétique du séchage a presque doublé depuis 1990.

X - 5 - 2 - Stockage du maïs en grain humide sans air :

Actuellement certains éleveurs bénéficient de la technologie du stockage du maïs grain humide sans entrée d'air extérieur qui élimine l'étape séchage !

« Yves Miot, éleveur allaitant à Montboyer (16) - En adoptant le maïs grain humide pour mes bovins « j'ai réduit mes coûts de production de céréales de 50 % ». Gain de poids équivalent, coûts de production en céréales réduits de moitié, le maïs grain humide améliore la marge brute des taurillons à l'engraissement. Témoignage d'Yves Miot, éleveur allaitant, sur cette technique qui concerne aussi les bovins lait, les ovins et les caprins. »

<http://www.web-agri.fr/Outils/Fiches/FichesDetail.asp?idRub=868&id=18420>

Conclusion sur le séchage du maïs :

La dépense énergétique globale pour passer de 28 % à 15 % d'humidité est de :

204,5 kWh = 736,2 MJ = 20,5 L de gazole par tonne de maïs sec stocké.

Pour évaporer 1 kg d'eau il faut environ 1 kWh. (1,13 kWh chaleur selon Ecobilan 2005)

La fermentation alcoolique du maïs est en phase aqueuse ; le séchage du maïs n'est donc pas requis pour cette étape industrielle qui consomme 4,8 % de l'énergie primaire. Le stockage en grain humide serait une solution pour améliorer l'efficacité énergétique de l'éthanol.

X - 6 - L'irrigation

L'irrigation est sujette à polémiques entre les différents usages de l'eau. L'eau a d'autres usages plus nobles que d'accroître la mobilité (motricité) des hommes via la production de maïs irrigué destiné à l'éthanol carburant.

D'autres solutions sont possibles comme augmenter le taux d'humus des sols et pratiquer le mulch via des semis directs sans labour sous couvert végétal ou le BRF. En effet, selon Joseph Pousset*, l'humus fixe 10 à 15 fois sa masse en eau. Donc augmenter de 1 % le taux d'humus, c'est fixer l'équivalent de 3 à 4 cm d'eau directement accessible par la plante.

L'irrigation représente 4 % de l'énergie des intrants pour le maïs selon Pimentel et 0,3 % pour EBAMM. A raison 810 m³/ha pour 1 339 MJ/ha de maïs et 1,65 MJ/m³ d'eau.

Pour Ecobilan 2005, la pompe pour l'irrigation génère une dépense de 67 litres de carburant par ha soit 2 365 MJ. Ce poste représente 20 % des intrants du maïs irrigué.

* <http://scienceenvironnement.free.fr/biblio/engrais%20verts/Engrais-verts.htm>

Conversion : 1 m³/ha correspond à 0,1 mm d'eau

Sources	Energie utilisée en irrigation en MJ/ha pour 810 m ³ d'eau/ha	En MJ/m ³ d'eau
Pimentel	1 339	1,65
EBAMM Today (moyenne)	49	0,06
Planète élec faible		5
Planète élec moyen		6
Planète élec fort		7
Planète pompage gazole		6,5
Planète eau du réseau		14

Dans « Production de maïs : conception et évaluation de systèmes de culture de maïs »
<http://www.itada.org/download.asp?id=FlyerP03F.pdf>
 p148/168 les techniques culturales ont un impact sur l'écoulement de l'eau d'arrosage. Près de la moitié de l'eau s'écoule en labour alors qu'en semis direct seuls 4 % de cette même eau s'écoule.

Écoulement	en %
Labour	48
Semis mulché	7
Semis direct	4

Conclusion : Solagro et Risoud, dans Planète, donnent un intrant irrigation à très forte énergie interne : 3 fois plus que Pimentel et 83 fois plus qu'EBAMM, dans l'hypothèse la plus favorable. Les cultures énergétiques ne devraient pas être irriguées si elles sont sur terres labourées car elles perdent la moitié de l'arrosage par écoulement. Seuls les semis directs et les mulchs devraient être irrigués.

Selon Agreste, l'irrigation du maïs en 2004 a augmenté le rendement moyen de 24 % (de 83 à 103 quintaux/ha) et de 32 % en 2005 (de 74 à 98 quintaux/ha).

X - 7 - Le transport des marchandises :

L'OMC repose sur un transport des marchandises libre et peu onéreux. Les deux agricultures qui tentent de cohabiter diffèrent, entre autre sur cet intrant. Il s'agit en fait de transporter des denrées sur 300 km ou sur 30 km ; cas des HVP carburant et de l'ester comme substitut au gazole qui lui a parcouru 3 000 km.

Planète distingue 5 modes de transport :	Camion	0,85 MJ/tonne.km
	Tracteur	3,2 MJ/tonne.km
	Rail	0,33 MJ/tonne.km
	Voiture	2,8 MJ/tonne.km
	Bateau	0,25 MJ/tonne.km = 250 kJ/tonne.km

Pimentel *tableau 1_{hh}* estime l'énergie nécessaire au transport par bateau à 3,5 kJ/tonne.km, soit 71 fois moins que Planète.

Pimentel *tableau 2_c* estime l'énergie nécessaire au transport du maïs sur 144 km aller retour à 322 Mcal pour 2,68 tonnes soit 3,47 kJ/tonne.km. Même résultat que ci-dessus mais en camion ?

L'usine d'éthanol collecte donc le maïs sur un rayon moyen de 72 km !

EBAMM comptabilise 934 MJ/ha de maïs pour le transport des intrants à la ferme alors que les 6 sources donnent : 400 ; 707 ; 73 ; 738 ; - ; 168 soit une moyenne de 417,2 MJ/ha. Farrell ne fournit aucune explication pour la différence rencontrée ci-dessus.

Selon l'ADEME, entre 1970 et 2000, le transport ferroviaire a crû de 8 %, le transport fluvial de 20% et la route de 320 % en Europe occidentale ! *Forum de l'éco-région Aquitaine Verte p3.*

Selon la *vision pour 2030 des biocarburants en Europe, p12/32* "The largest increase in fuel use for transport in absolute terms is expected to be for trucks. After 2010 the fuel demand by trucks is forecast to even exceed that for passenger cars and motorcycles."

« On s'attend à ce que la plus grande augmentation de l'utilisation de carburant pour le transport en termes absolus soit pour des camions. Il est prévu qu'après 2010, la demande de carburant des camions excédera celle des voitures de tourisme et des motos. »

Conclusion : le faible coût actuel des transports par camion inhibe toute prise en compte des dépenses énergétiques qu'il génère. Cette situation ne devrait pas perdurer avec l'augmentation des carburants fossiles. Les bennes camion déposées en bout de champ lors des récoltes permettent de diviser par 3,8 l'énergie de transport des graines par rapport au transport par tracteur.

C'est cet intrant qui fait la différence entre les circuits courts et les autres. Ils sont courts en distance 30 km pour l'HVP et 300 km pour l'ester et l'alcool ; et ils sont aussi courts en nombre d'étapes de transformations et de distribution.

Travaux complémentaires :

Calculs de l'impact des transports des matières premières et des produits finis sur les bilans énergétiques de chaque filière : HVP sur 30 km, ester sur 300 km et alcool sur 74 km.

X - 8 - Le Bois Raméal Fragmenté : BRF

BRF : Bois Raméal Fragmenté en substitution aux engrais et à une partie des produits phytosanitaires. Utilisé en « mulch » il préserve la réserve hydrique du sol durant toute la croissance de la plante. C'est un amendement pour les sols agricoles (1) mais aussi une technique culturale, appropriée à cet usage, de la biomasse forestière. Il est très utile sur les sols très pauvres et pour les cultures sans eau. Le BRF est :

1. un support de culture type litière
2. un engrais retard,
3. un générateur d'humus sur 3 ans,
4. une protection physique des sols, effet litière ou « mulch »
5. une réserve d'humidité tant par son effet mulch que par l'éponge qu'il constitue tout au long de son humification (1 kg d'humus fixe 12 à 15 kg d'eau).
6. un support aux microorganismes, notamment les champignons
7. un débouché pour les zones non semées en tant que vecteur de transfert de fertilité (3) de ces zones vers les cultures.
8. un désherbant naturel : « Le BRF, en immobilisant l'azote minéral du sol, défavorise les mauvaises herbes nitrophiles et stimule la fixation symbiotique d'azote par la légumineuse (ici le soja). Le résultat est un « désherbage naturel » et une augmentation du taux d'humus susceptible de diminuer fortement l'érosion et d'améliorer les rendements. En outre, la production de BRF doit se faire localement, à proximité, incitant les paysans à planter des haies (lutte anti érosive, brise vent, biodiversité,...) ». Benoit Noel

C'est donc une nouvelle production de l'agriculture qui peut se substituer aux intrants les plus onéreux (50 % de la valeur économique des intrants) :

- les engrais chimiques : 120 €/ha et par an ainsi que
- les produits phytosanitaires : 130 €/ha et par an en moyenne pour l'agriculture « chimique ».

Il doit être épandu et non enterré aussitôt collecté sur des branches de 7 cm au plus (4 cm étant l'optimum) de diamètre, en sève, à raison de 200 m³/ha la première année puis 75 m³ / an pendant 5 ans.

Le BRF épandu revient à moins de 3 €/m³ (4) en autoproduction, soit 288 €/ha en moyenne sur 6 ans soit 115 % des dépenses sur les 2 postes pour l'agriculture « chimique ».

Cette pratique nécessite 4 h de travail par ha. La conversion d'un million d'ha sur les 18,4 millions de SAU générerait 3 000 emplois ruraux non délocalisables.

« Il faut aussi prendre en considération l'aspect énergétique. S'il faut plusieurs litres de carburant à un petit broyeur de jardin pour broyer 1 m³, un broyeur professionnel (entre 10 000 et

50 000 €) se contentera généralement de moins d'un litre. Le broyeur d'Intradel, consomme, quant à lui 0,2 L/m³ et broie 150 m³ à l'heure ! ». <http://andre.emmanuel.free.fr/brf/articles/aggradation3.pdf> p5/6

Benoît Noel est le promoteur du BRF sur les traces du professeur Gilles LEMIEUX.

Projet BRF Centre des Technologies Agronomiques 16 rue de la Charmille 4577 Strée – Modave Belgique www.ctastree.be <http://users.skynet.be/BRFinfo/>

(1) <http://www.lavoieagricole.ca/content/fullnews.cfm?newsid=3453>

Bois raméal fragmenté, un amendement pour les sols agricoles.htm

(2) <http://www.societal.org/mada/brf1.htm>

Potentiels et techniques de redressement et d'entretien de la fertilité des sols par les (BRF)

(3) <http://www.societal.org/mada/BRF-CJPM.pdf>

(4) <http://www.ctastree.be/BRF/MAP%20BRF%20decembre%2005.pdf>

p 4/23 « (...) les amendements organiques ont un effet répressif sur la germination de nombreuses mauvaises herbes. Cela réduit l'utilisation des herbicides et protège ainsi l'environnement (Hébert 1998). En réduisant la dépendance à ces intrants coûteux tels les fertilisants, herbicides et pesticides, une grande partie des revenus resteront à la ferme. (...)

p 6/23 « (...) sur la culture des pommes de terre. Cette recherche a démontré que :

- Les BRF frais donnent de meilleurs résultats que les BRF humifiés
- Lorsqu'ils sont appliqués au printemps, les BRF nécessitent une fertilisation d'appoint de 1,9 kg d'azote par tonne de BRF (base humide)
- La faim (immobilisation) d'azote est négligeable dès la seconde année.
- Le taux d'humidité du sol augmente significativement pendant la deuxième année, mais pas la production. »

http://www.reap-canada.com/online_library/Reports%20and%20Newsletters/Sustainable%20Agriculture/1%20Analyse.pdf

« Les BRF pour transférer la fertilité de la forêt vers l'agriculture. C'est la raison pour laquelle on parle d'aggradation et de pédogenèse.

Peut-on envisager d'utiliser des engrais chimiques en même temps que les BRF ?

Non. Ce sont deux itinéraires incompatibles. Après le redressement de départ (200 m³/ha), et pendant les 5 années suivantes, appliquer 75 m³/ha tous les ans pour accroître le taux d'humus dans le sol. » [Le site du Groupe de Coordination sur les bois raméaux](#)



Epannage du BRF sur les Causses du Quercy <http://www.onpeutlefaire.com/articles/a-bois-rameal-fragmente.php>

« Le bois raméal fragmenté : nouvelle technique pour les grandes cultures : **Le BRF et l'azote**

Il aide à réduire les pertes en azote, mais lors du premier stade de dégradation, les champignons immobilisent l'azote d'où la nécessité de compenser ce phénomène par un apport d'azote. Ainsi, 100 m³/ha de BRF fixe 33% de l'azote libre, il faut donc que les

besoins de la plante soient égaux à 67% de l'azote disponible dans le sol, d'où l'intérêt de semer une légumineuse en même temps que l'apport de BRF. Ce stock d'azote sera ensuite libéré progressivement au profit des plantes. Cependant, l'intérêt principal du BRF est l'apport de carbone. L'humus formé par le BRF contient 4,3% d'azote, par conséquent l'humification demande un apport d'azote, c'est-à-dire 1 kg N/m³ de BRF. » http://www.ruralinfos.org/xthemes.php3?id_article=2093&id_mot=7

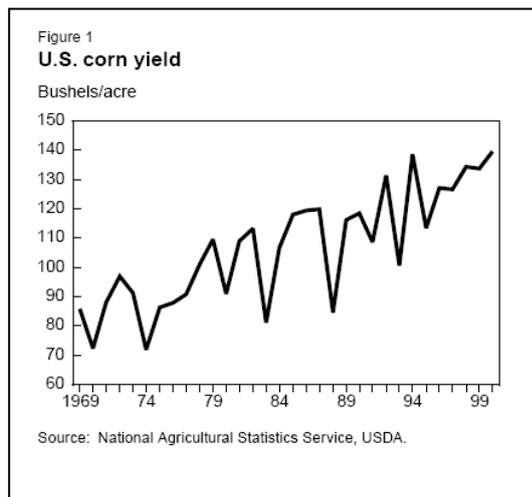
Conclusions :

La valorisation énergétique de la biomasse est une opportunité pour le monde agricole mais nécessite une gestion rationnelle des intrants. Le couple agriculture-élevage peut faciliter cette gestion.

La production d'énergie issue de la biomasse cultivée est envisageable économiquement via une combustion directe. La transformation agricole de cette biomasse cultivée ne peut se justifier que pour des carburants directement utilisables dans des moteurs adaptés. La production d'alcool ne se justifie que comme additif spécifique type carburant AZUR*.

*supercarburant ancien mélange de benzène et d'alcool

1 - Conclusions sur le maïs



Les rendements de conversions du maïs en éthanol sont théoriquement si faibles (au mieux 1,2) que la moindre variation dans les intrants ou les extrants le modifie en les minorant le plus souvent. Et ce n'est pas l'espoir d'une amélioration de ces rendements qui peut justifier la confiance des décideurs dans la filière maïs-éthanol. La courbe ci-dessous prouve que cette augmentation de rendement est réelle depuis 1969 mais elle montre aussi une forte variabilité entre les années.

D'un point de vue statistique, cette valeur moyenne des rendements doit être attachée à un écart type. Les calculs prévisionnels utilisant cette donnée se trouvent ainsi encadrés. La probabilité d'avoir une prévision comprise dans cet encadrement est ainsi normalisée à 68 ou à 95 % pour un ou 2 écarts types.

<http://www.transportation.anl.gov/pdfs/AF/265.pdf>

L'étude Ecobilan 2005 montre bien cette confiance dans le « progrès technique ». Elle indique p3/7 que les calculs sont basés sur un rendement moyen en 2004 de 90,55 quintaux/ha et le rendement 2010 a été estimé en considérant une augmentation moyenne de 1 quintal par an à 96,7 quintaux /ha. Or, en 2005 le rendement moyen sur les 3 zones agricoles de LACQ a été de 82 quintaux /ha, soit une réduction de 10 % du rendement de base des calculs. Les intrants eux n'ont pas changé donc le rendement de 1,2 passe à 1,1.

Selon <http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/saa2006T2.pdf> les rendements moyens nationaux en maïs ont baissé de 92 quintaux/ha en 2004 à 84 en 2005, quels seront-ils en 2006 ?

Maïs grain	Surface en ha			Rendement par qx/ha		
	2004	2005	%	2004	2005	%
Production totale	1 766 575	1 614 793	- 8,6	92	84	- 8,7
irrigué	755 392	683 317	- 9,5	103	98	- 4,9
non irrigué	1 011 183	931 476	- 7,9	83	74	- 10,8
% irrigué	42,8	42,3				

2 - Conclusion sur les 2 valorisations énergétiques des productions agricoles et forestières : Carburants et combustibles

Il existe une voie (très peu explorée en France) d'économie de gazole rouge et de gaz (propane ou butane liquéfié). C'est celle du chauffage des locaux privés, publics et industriels avec des céréales ou oléagineux utilisés comme combustibles. Cette technique permet, dans l'attente de la création des « plans bois locaux » producteurs de plaquettes forestières, de réduire nos consommations de liquides et gaz fossiles tout en donnant des débouchés solvables aux agriculteurs. Les surfaces agricoles dédiées aux cultures énergétiques sont ainsi soustraites aux cultures à vocation alimentaire ; les surproductions chroniques et structurelles depuis 1970 se trouveront limitées voire éliminées.

L'objectif du plan Mansholt ou "Programme Agriculture 1980" ou "Rapport du groupe Gaichel", sera enfin finalisé : soustraire 5 millions d'ha des productions agricoles alimentaires ! Cette voie ne souffre d'aucune problématique fiscale ; elle demande des initiatives locales pour démarrer le couple offre demande et débiter la production de plaquettes ainsi que l'installation des chaudières polycombustibles dites « mangent tout » !

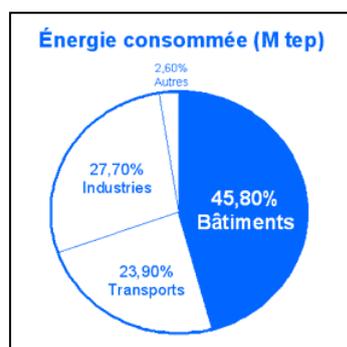
en million de tep	2004	2005 (p)	% 2005
Sidérurgie	5,79	5,46	
Industrie	33,51	33,62	
Résidentiel et tertiaire	67,86	68,24	42
Agriculture	3,00	2,92	2
Transports	50,81	50,38	31
Total	160,97	160,62	100

Consommations finales énergétiques par secteur économique, corrigée du climat.

(p) provisoire Source : Observatoire de l'énergie (Bilans de l'énergie) DGEMP

http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/1e_stats.htm

La consommation énergétique finale en 2005 se répartit pour 42 % dans le résidentiel et le tertiaire, 31 % pour les transports et 2 % pour l'agriculture.



D'après <http://www.isolonslaterre.org/>, les bâtiments représentent 45,8% de l'énergie totale consommée en France contre seulement 23,9 % pour les transports.

Vouloir reléguer l'HVP à la niche agricole c'est lui ôter toute ambition ; vouloir positionner le combat sur la seule problématique du transport c'est oublier le marché le plus important qui ne souffre d'aucune problématique TIPP. C'est bien dans le résidentiel et le tertiaire que les agriculteurs trouveront les débouchés pour leurs céréales, oléagineux, tourteaux, plaquettes forestières, bois bûches, ...

Le débat sur l'HVP carburant ne doit pas occulter cette possibilité mais au contraire l'utiliser pour sauver les agriculteurs en voie de disparition.

Le transport ne représente que 30 % de l'énergie totale consommée par l'Europe. Focaliser comme cela se fait actuellement sur les seules alternatives alcool et ester est non productif. De nombreuses niches d'économies sont directement accessibles ; elles sont économiquement rentables et légalement non concernées. Pourquoi les laisser de côté alors que bon nombre d'entre elles économisent du gazole rouge qui a la même valeur que le blanc pour le protocole de Kyoto ; ils sont tout deux fossiles. En fait le débat sur les biocarburants est un débat politique sur le choix de société. Société avec ou sans les agriculteurs ! Alors que nous pouvons sauver chaque actif agricole et en créer d'autres indépendamment de la problématique des biocarburants.

3 - Conclusion sur l'avenir souhaité de l'agriculture française :

Est-il réellement possible de se passer à 80 % de ces intrants sur 50 % des terres ?

De 1955 à 2003, soit en 48 ans, 1 544 000 exploitations agricoles ont disparu : 32 000 par an en moyenne*. Cela signifie que le système actuel s'autodétruit et sera (est) remplacé par un nouvel équilibre culture-élevage basé sur une prévision simpliste :

* Histoire & Patrimoine n°5 janvier 2006 – Les derniers PAYSANS ?

La moitié des terres actuellement utilisées soit 9 millions d'ha réduiront, à terme, leurs intrants de 80 % (en coût) sur les engrais, les pesticides, le gazole, les semences, ...

Actuellement un ha, en culture conventionnelle, utilise 120 € d'engrais, 130 € de pesticides, 50 € de gazole et 100 € de semences soit près de 400 € d'intrants (1) en moyenne par ha.

C'est donc un chiffre d'affaires annuel de plus de 2,8 milliards d'euros qui changent de mains (2). Il est alors « naturel » que les producteurs, marchands et conseillers de ces produits fassent du lobbying pour retarder ces échéances pourtant inéluctables car « profitables » au plus grand nombre, à l'environnement ET au Consommateur.

Est-il réellement possible de se passer à 80 % de ces intrants sur 50 % des terres ?

Oui car :

1 - en 2003 1,7 % des SAU étaient en bio (3). Les 11 402 exploitations en bio en 2005 (4) constituent autant de modèles, d'exemples pour les 590 000 autres (5) qui voient leurs charges augmenter, leurs rendements stagner ou réduire et leurs prix de vente baisser.

2 - la quantité de N P K nécessaire à toutes les SAU françaises est contenue dans les effluents d'élevages à l'instar de ce que décrit *Soltner* pour la Belgique en 1990 et par l'IRAB en Suisse. Reste à aménager le territoire pour que la répartition d'un UGB par ha soit « négociée ».

3 - les coûts de ces intrants sont indexés sur celui de l'énergie. Ils ne pourront pas longtemps rester artificiellement bas.

4 - les débouchés des productions agricoles sont chamboulés par la baisse de leurs prix de vente et l'augmentation du gazole. En effet il est d'ores et déjà très « rentable » pour l'agriculteur de changer de destination ses productions. S'il vend son maïs, par exemple, dans le circuit de l'alimentation ou de l'estérification, les organismes stockeurs lui achète à 106 € la tonne ; alors que la valeur énergétique de ce même maïs est de 211 €/tonne. (*voir annexe 1*).

5 - la problématique des semences est mondiale. Un milliard d'exploitations agricoles ne sont pas solvables pour les semenciers et donc détiennent une biodiversité de semences encore disponibles.

6 - un ha c'est 1 000 litres d'équivalent gazole sous forme d'HVP nécessitant moins de 20 000 € d'investissement en matériel amortissables en moins de 5 ans sur 100 ha.

7 - les pesticides n'ont pas encore tous été testés selon le programme REACH. La preuve de leur innocuité est maintenant à apporter par le producteur et non plus par le consommateur.

8 - l'information n'a plus de frontières :

1 - un grand nombre de scientifiques décryptent la désinformation organisée par les lobbies favorables à l'agriculture conventionnelle (intensive ou industrielle).

2 - les « alternatives » à tous ces intrants existent et les savoirs faire qui les accompagnent ne sont pas encore brevetés.

9 - l'agriculture biologique est capable de nourrir les européens dès lors que toutes les externalités sont imputées au prix de revient des produits en fonction du mode de production.

Il s'agit d'une « révolution » qui devrait être beaucoup plus rapide que celle qui a laminé en un demi-siècle la ruralité française. Elle devrait être créatrice de milliers de postes de travail (6) en zone rurale via les circuits courts et l'autoproduction des intrants. Mais c'est un autre sujet qui mériterait une approche globale permettant de quantifier le coefficient multiplicateur à appliquer au poste de travail agricole générant d'autres emplois autour.(7)

- (1) Ces données sont contestables, mais le raisonnement reste vrai, quels seront ces chiffres si le pétrole continue d'augmenter?
- (2) Une grande partie de cette somme sera convertie en salaires non délocalisables.
- (3) http://fr.wikipedia.org/wiki/Agriculture_biologique
- (4) http://www.pleinchamp.com/article/detail.aspx?id=23506&page=1&local=false&pub_id=2&menu_id=2
- (5) http://www.insee.fr/fr/ffc/chifcle_fiche.asp?ref_id=NATTEF10203&tab_id=134
- (6) L'agriculture biologique génère deux fois plus d'emplois que l'agriculture conventionnelle.
- (7) Il est de l'ordre de 40 à 50 emplois par jeune agriculteur qui s'installe (*Pérez-Vitoria p113*).

4 - Conclusion sur l'évaluation énergétique des intrants cultureaux :

La comparaison des données bibliographiques des équivalences énergétiques des intrants cultureaux montre une forte variabilité. Cette variabilité est générée par le nombre d'intrants, leurs origines, leurs modes d'intégration dans les pratiques culturelles, les interactions entre eux et les productions de l'exploitation. Ces productions pouvant devenir intrants.

L'internalisation des énergies externes n'est pas effectuée de la même façon par toutes les sources à l'exemple des intrants semence et transport. Une harmonisation des critères d'internalisation crédibilisera les études et les Analyses des Cycles de Vie des produits.

Compte tenu des enjeux énergétiques, un « Handbook » sur ces équivalences énergétiques est indispensable. Pour les ACV, les études bilans énergétiques des filières de production agricoles ou forestières de carburants ou de combustibles.

Sont concernés par ces équivalences « normées » les industriels mais aussi les particuliers qui trouvent aujourd'hui des alternatives aux énergies fossiles, dans la biomasse : plaquettes, pellets et graines : maïs, tournesol, colza, blé, avoine, ...(voir l'annexe 1)



<http://www.inra.fr/dpenv/do24.htm>

*Annexes techniques : Economie - Energie - Pédologie-agronomie**Annexe 1 - Approche micro économique de la valorisation énergétique de la biomasse :*

Les chaudières polycombustibles à plaquettes forestières ou/et céréales – oléagineux ou/et tourteaux gras sont devenues beaucoup plus « rentables » (1) comme le montre le tableau ci-dessous !

- ❖ L'investissement chaudière, silos, installation est aidé par l'Etat à hauteur de 50 % soit 6 000 €
- ❖ Le « combustible » vaut au maximum 0,17 €équivalent kg gazole au lieu de 0,73 (août 2006)

Avec une variation de rendement de 15 % ce coût du combustible passerait à 0,2 €soit un gain de 0,53 €/kg d'équivalent gazole. Pour une consommation de 2 000 kg de gazole par an (1 656 L) la capacité de remboursement de l'investissement est de 1 060 €/an

Donc à prix constant le remboursement de la chaudière est acquis en moins de 6 ans.

Si le prix du gazole rouge continue à monter, ce temps de retour sur investissement en est d'autant réduit !

1 litre de gazole rouge vaut (août 2006) 0,6 € pour 36 MJ, soit 0,01667 €/MJ. Avec un rendement de combustion de 0,8 de la biomasse, le MJ biomasse vaut 0,0134 € A partir de ce prix de référence pour l'énergie combustible, calculons la valeur économique en €/kg brut de quelques biomasses et comparons cette équivalence avec le cours actuel de cette biomasse :

Biomasse : Taux de matière grasse et d'H₂O	PCI en MJ/kg	Valeur économique par équivalence énergétique en €/kg	Cours actuel en €/kg (2)
Tourteaux soja 46 (3% MG – 6 %)	18,3 (4)	0,24 (3)	0,25
Tourteaux (25 % MG – 9 %)	21,3	0,28	0,17
Tourteaux (15 % MG – 6 %)	20,3	0,27	0,17
Tourteaux (2 % MG – 12 %)	17,1 (4)	0,23	
Tourteaux (2% MG – 6 %)	18,3 (4)		
Huile de tournesol	37,2	0,50	0,8
Graines tournesol à 9% d' H₂O	25,8 (4)	0,34	0,21
Plaquettes forestières à 20%	12,6 (5)	0,17	0,07
Blé à 9 % d' H₂O	15,7 (4)	0,21	0,097
Maïs à 15 % d' H₂O	15,5	0,21	0,106
Tournesol à 9 % d' H₂O	26,1	0,35	0,213
Colza à 9 % d' H₂O	22,3	0,30	0,219
Gazole rouge* d = 0,84	42,8	0,73	0,73

* Fioul domestique

(1) <http://collectifn47.free.fr/voyageDordogne/CompteRenduEnergieBoisDordogne3dec05.htm>

(2) Cours de mars 2006. http://www.terre-net.fr/outils/cours_marches/matieres_premieres.asp

(3) La France importe 5 400 000 tonnes de tourteaux de soja par an du Brésil et des USA. Il s'agit d'une importation forcée, par les accords internationaux de Blair House, qui limitent aussi la mise en culture d'oléagineux à moins de 6 millions d'ha, en Europe. Ces tourteaux représentent une énergie évaluée selon les données ci-dessus à 3 195 millions de litres de gazole soit 1 % de la consommation totale de gazole (34 593 millions de litres de gazole consommés en France en 2002).

(4) <http://www.inra.fr/productions-animales/an2003/num233/noblet/jn233ann2.pdf>

(5) <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/tbb/note-methodologique.htm>

http://www.innovagri.com/reaxia_files/Pr%E9sentation_Bordeau_innovagri2004.pdf

http://www.valbiom.be/popup/Bioenergies/bioenerg_TiCR.html

PCI au litre ou densité énergétique et approche économique au kWh.

Le maintien du kWh, comme unité d'énergie, est lié à la profession « chauffagiste » qui l'utilise quasi exclusivement.

	PCI en kWh/kg brut	PCI au litre en kWh/L (a)	Valeur en €/tonne		Différentiel en € (c)	Prix en € du litre équivalent gazole (d)	Prix en € du kWh (e)
			En équivalence gazole* (b)	Cours en mars 2006			
Plaquettes	3,5	0,7	210	70 (4)	140	0,20	0,020
Granulés (5)	4,9	3,2	294	200 (2)	94	0,41	0,041
Blé	4,2	3,2	252	97 (1)	155	0,23	0,023
Orge	4,5	3,3	270	94 (3)	176	0,23	0,023
Seigle	4,1	3,1	246				
Triticale	4,4	3,3	240	104 (3)	136	0,24	0,024
Avoine	4,5	2,3	270				
Maïs	4,3	3,6	258	106 (1)	152	0,25	0,025
Colza	6,2	4,3	372	219 (1)	153	0,35	0,035
Tournesol	7,3	3,7	438	213 (1)	225	0,29	0,029
Tourteaux **	5			120 (3)			

* à 0,6 €/L ou 0,06 €/kWh

** colza à 12 % de matière grasse

(1) http://www.terre-net.fr/outils/cours_marches/grandes_cultures.asp

(2) <http://www.konex-consulting.com/online/pelletsproduitsettarifs.htm>

(3) http://www.terre-net.fr/outils/cours_marches/matieres_premieres.asp

(4) Deux CUMA de Dordogne livrent ces plaquettes aux réseaux de chaleurs du Bugue et de Meyral : 1 t de plaquettes forestières à 30 % d'humidité est vendue 70 €/livrée localement. <http://collectifnr47.free.fr/voyageDordogne/CompteRenduEnergieBoisDordogne3dec05.htm>

(5) L'énergie de granulation est estimée par *Samson* à 450 MJ/tonne de granulé de Panic érigé. Cette technique est de plus en plus utilisée et constitue un intrant conséquent.

Notes de calculs :

- (a) le PCI au litre en kWh/L s'obtient en divisant le PCI par la masse volumique mal nommée « densité » dans le tableau des énergies combustibles dans l'habitat. Cette colonne permet de classer les combustibles selon leur densité énergétique volumique.
- (b) L'équivalence gazole à 0,6 €/L ou 0,06 €/kWh est la contre valeur en € de l'énergie contenue dans le combustible, il s'obtient en multipliant le PCI par 60 (0,06 x 1000 pour la tonne)
- (c) Le différentiel est entre (a) & (b).
Il permet d'identifier, en mars 2006, quel est le combustible le plus avantageux.
- (d) Le prix du litre équivalent gazole se calcule en divisant le cours du combustible par son PCI en kWh/kg puis diviser par 10 (1 litre de gazole c'est 10 kWh) et diviser par 1000. (€/tonne).
Il permet de visualiser, en mars 2006, quel est le combustible le plus avantageux.
C'est la plaquette forestière qui offre le meilleur prix de l'énergie, le plus cher étant le colza.
- (e) Le prix en € du kWh s'obtient en divisant le cours de la tonne par le PCI en kWh/kg et par 1 000. Il faut comparer cette colonne avec le prix d'un kWh gazole : 0,06 €/L

Annexe 2 - PCI ou énergie interne du gazole : quelles sont les données correctes ?

Cette grandeur physique est difficile à mesurer. Pour ce qui est des gazoles et des fiouls, ce sont des mélanges, et leurs PCI sont donc fonction de leur composition. De plus la masse volumique de ces liquides est dépendante de la température ce qui modifie le PCI volumique.

Voici quelques valeurs glanées dans la documentation écrite, papier ou Internet :

Pour les conversions 1 cal = 4,18 J et 1 kWh = 3 600 kJ = 860 kcal

Sources	Nom	Densité	MJ/L	MJ/kg
Pimentel tableaux 1 & 6	Diesel		47,65*	
Pimentel tableau 8	Diesel		41,8*	
Ecobilan 2002 p17/17	Gazole			42,8
IFHVP p68/78	Gazole	0,828	36,69	44,31
Vaitilingom p310	Gazole	0,83	36,36	43,8
IFHVP Lambert p7/21	Gazole	0,85 hiv 0,84 été	35,35	41,59 42,08
Solagro p4/10	Fioul domestique	0,833	40,7**	48,86
(a)	Fioul domestique			42
(b)	Gazole	0,84	35,952	42,8
(c)	Gazole	0,84	35,952	42,8
Valeurs retenues PCI	Gazole	0,84	35,95	42,8
Valeurs proposées pour l'énergie interne	Gazole	0,84	47,65	56,73

* Deux valeurs différentes dans la même publication :

** Risoud p8/47, inclus l'extraction, le raffinage, le transport, la distribution et l'entretien des réseaux. Ce n'est donc pas que l'énergie contenue dans le combustible. Cependant au travers de la notion d'EQF, Solagro évalue cette énergie interne à 17 % du PCI.

(a) <http://www.industrie.gouv.fr/energie/comprendre/q-r-generalites.htm>

(b) <http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/enjeuxbiocarburants.htm>

(c) <http://www.cgm.org/rapports/RAPPBIOCARBUR.pdf> 20 septembre 2005

Conclusion : les produits pétroliers ont un PCI utilisable sur site mais dans le bilan énergétique de la filière dans lequel ils interviennent il faut « ajouter » 17 % d'énergie indirecte selon SOLAGRO. En fait, avec les valeurs retenues c'est 13 % en plus pour Solagro et 32 % pour Pimentel (valeur haute).

Annexe 3 - PCI des carburants alternatifs :

L'éthanol :

Sources	Nom	Densité	MJ/L	MJ/kg
Pimentel tableaux 2 & 4	Ethanol		21,44	
Ecobilan 2002 p17/17	Ethanol			26,8
EBAMM			21,2	
Vaitilingom p310	Ethanol 95 %	0,78		26,9
(a)	Ethanol	0,794	21,3	26,8
(b)	Ethanol	0,794	21,3	
Valeurs retenues	Ethanol	0,79	21,3	27

(a) <http://www.douane.gouv.fr/dab/pdf/05-046.pdf>

(b) <http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/rap-cgm-igf-biocarburants.pdf>

L'huile végétale pure : HVP colza

Sources	Nom	Densité	MJ/L	MJ/kg
Ecobilan 2002 p17/17	Huile de colza			37,2
Vaitilingom p195	Huile de colza	0,916 à 20°C		37,4
IFHVP	HVP colza	0,915	33,9	37
Valeurs retenues	HVP colza	0,916 à 20°C	34	37,2

L'huile végétale pure : HVP tournesol

Sources	Nom	Densité à 20°C	MJ/L	MJ/kg
Ecobilan 2005 p17/17	Huile de tournesol			37,7
Vaitilingom p41	Huile de tournesol	0,925		37,75
IFHVP Lambert p8/21	HVP tournesol	0,925	34,4	37,2
Valeurs retenues	Huile de tournesol	0,925	34,9	37,7

Valeurs retenues des PCI :

Nom	Densité	MJ/L	MJ/kg
<i>Gazole</i>	<i>0,84</i>	<i>35,95</i>	<i>42,8</i>
<i>Ethanol</i>	<i>0,79</i>	<i>21,3</i>	<i>27</i>
<i>HVP colza</i>	<i>0,916 à 20°C</i>	<i>34</i>	<i>37,2</i>
<i>HVP tournesol</i>	<i>0,925</i>	<i>34,9</i>	<i>37,7</i>

Annexe 4 – PCI des grains et autres combustibles.

MJ/kg brut	% H ₂ O	(1)	(2)	(3)	(4)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
Tournesol	9	26,3	22,4	26,13	20					13	26,1
Colza	9	22,3	22,4	25,22	24,6	26					24
Soja	15		17,2	20,18						15,1	17,5
Maïs	15	15,5	13,7	16,21	14,7(5)	17		15,8	15,8	15	15,5
Epis de maïs									18		
Blé	15	15,1	13,3	15,82	15	16		15,1			15,7
Orge	15	16,2	13,4	15,93		16					16,2
Seigle	15	14,8	13,1			16					14,8
Triticale	15	15,8	13,2	16,22		16					15,8
Avoine	15	16,2	14,3	17,45							16,2
Panic érigé	13 (9)		14*	18,4*	15,8**				18,8	16,7	16,7
Bois buche		12,6			12,6						12,6
Plaquettes bois	25	12,6			12,2		10,8	13			12,6
Granulés bois	6	17,6			17,6	18	16,9	16,2			17,6
Noyaux :	12										
Cerises							11,9				
Abricots							17				
Olive triturée	13				17,5						

* herbe ** herbe d'héléphant

- (1) http://www.hsfrance.com/sysmodules/RBS_fichier/admin/forcedownload.php?id=139
- (2) Energie brute des aliments <http://www.inra.fr/productions-animales/an2003/num233/noblet/jn233ann2.pdf>
- (3) Planète - Risoud
- (4) <http://www.balma.org/comparaisons.html>
- (5) Méthode de calcul des PCI. p12/52 PCI maïs = 17,3 MJ/kg MS.
http://edoc.bib.ucl.ac.be:81/ETD-db/collection/available/BelnUcetd-12172003-125756/unrestricted/Chapitre3_pdf7.pdf
- (6) Donne les PCS des combustibles en kJ/kg sans préciser si c'est en MS. En fait ce sont les valeurs en PCI ! http://www.lescultureles.com/images/Dossier_biomasse.pdf
- (7) <http://www.giteairdutemps.com/chaudiere.htm#essai%20combustibles>
- (8) <http://www.areneidf.com/energies/pdf/Lescherolles-cereale-chauffage.pdf>
- (9) Samson
- (10) Pimentel
- (11) valeurs retenues usuelles sur produit brut**

Les données de ce tableau ont été harmonisées en MJ/kg de produit brut en utilisant le pourcentage d'humidité de la seconde colonne et en appliquant la proportionnalité simple.

Pour les conversions énergétiques, les coefficients utilisés sont ceux de l'annexe 2.

Les valeurs retenues usuelles sur produit brut sont, approximativement, les moyennes de la ligne concernée. Ce tableau préfigure le nécessaire document « officiel » des contenus énergétiques dès lors qu'un commerce de ces biocombustibles prendra de l'ampleur. Ces transactions commerciales devront être liées à des appareils de mesure de l'humidité de ces biocombustibles. (voir en annexe 5).

Annexe 5 - Calculs des PCI : 4 sources, 4 approches.

1 - <http://www.industrie.gouv.fr/energie/statisti/tbb/note-methodologique.htm>2 - http://edoc.bib.ucl.ac.be:81/ETD-db/collection/available/BelnUcetd-12172003-125756/unrestricted/Chapitre3_pdf7.pdf3 - http://www.fao.org/documents/show_cdr.asp?url_file=/docrep/007/j4504e/j4504e08.htm4 - <http://www.fao.org/Wairdocs/x5164F/X5164f06.htm#3.2.%20principe%20du%20séchage>

$$\text{Approche 1 : } \quad \text{PCI (E\%)} = (\text{PCI (0\%)} \times (100 - E) / 100) - 2,16 \times E \quad (1b)$$

$$\text{PCI (t\%)} = \text{PCI (0\%)} \times (100-t)/100 - 3 \times t/100 \quad (2)$$

$$\text{Approche 3: } \quad H_{u(w)} = [H_{u(w)} (100 - w) - 2,44 w] / 100$$

$$\text{Approche 4} \quad \text{PCI}_{MH} = \text{PCI}_{MS} \left(1 - \frac{H\%}{100} \right) - 2,5 \times \frac{H\%}{100}$$

Ces 4 expressions sont très proches après homogénéisation des unités. Seul diffère le coefficient qui mesure l'impact de la vapeur d'eau émise dans les fumées. L'équation (2) donne le plus fort impact ; elle a été calculée en tenant compte de mesures réelles de combustion de la biomasse.

Conclusion : le contrôle de l'humidité des combustibles générés par la biomasse est indispensable. Voir les appareils de mesures de l'humidité de la biomasse combustible et des graines sur : <http://collectifnr47.free.fr/MT/Testeur%20humidite.htm>

Les PCI sur sec sont différents selon les approches (MJ/kg à 0% d'humidité) :

Approche	PCI du bois sec
1	18
2	18,6
3	18,5

Avec les produits pétroliers ces données sont standardisées et réglementées. Le nombre de combustibles fossiles est aussi très réduit : gazole – gaz (propane et butane). Pour les biocombustibles c'est totalement différent sauf pour les pellets de bois qui résultent d'un processus industriel de concentration des sciures mélangées en grande quantité et dont le PCI est moins fluctuant : le taux d'humidité est standardisé à 5 %.

Une obligation de mention du PCI des biocombustibles est nécessaire lors des transactions commerciales. De plus l'adéquation entre les réglages des appareils et les biocombustibles garantit les rendements de combustion et donc la réduction des pollutions par les fumées.

C'est l'équation 2 qui semble la plus proche de la réalité pour le calcul des PCI lors des comparaisons de prix. Cependant dans la pratique une simple règle de trois permet de passer d'un % à un autre. C'est cette méthode qui a prévalu dans le tableau de l'annexe 5.

Planète l'utilise à partir des données de l'INRA en MJ/kgMS x % MS.

*Annexe 6 - Analyse des sols : deux approches à finalité différente :
la méthode conventionnelle des bilans et la méthode Hérody*

La méthode conventionnelle des bilans repose sur des analyses de sols générant des commandes d'intrants chimiques en fonction des exportations des cultures programmées et des carences des sols. Elles sont basées sur la notion de Complexe Argilo Humique (CAH) qui ne concerne en réalité que 15 % des sols.

Elles sont décrites dans <http://scienceenvironnement.free.fr/sol/sol-cours1.htm>

La méthode Hérody dit qu'il y a peu de carences dans les sols donc peu d'apports indispensables et que ce sont les microorganismes (champignons, bactéries, ...) qui peuvent rendre disponible les éléments nutritifs du sol aux plantes. Il faut donc les nourrir et les oxygéner. Certains sols sont bien pourvus en matière organique (MO) et en oxygène ; les autres demandant un certain travail du sol et de la MO « fraîche » pour activer le monde vivant du sol. De plus la grande « idée » d'HERODY est de proposer une carte pédologique des sols cultivés présentant toutes les hétérogénéités de chaque parcelle et donc générant des apports et des conduites différentes.

Cette hétérogénéité des sols n'a pas échappée à l'INRA qui propose depuis 1999 le dossier suivant : « L'enjeu français de l'agriculture de précision : Hétérogénéité parcellaire et gestion des intrants » <http://www.inra.fr/actualites/DOSSIERS/DOC/agrip/textinpa.htm>

La gestion de l'hétérogénéité passe par la télédétection sous différentes longueurs d'ondes et le GPS

Cette vision pédologique des exploitations accessible via la méthode Hérody vient compléter l'approche énergétique de *Planète*. Il s'agit d'une cartographie de l'exploitation valable pour plusieurs générations travaillant sur les parcelles cartographiées. Des études sur le terrain et des analyses de prélèvements en surface (- 5cm) et 2 en profondeur (- 25 cm et - 50 cm) accompagnent les cartes géologiques au 1/50 000. Elles permettent de cartographier le parcellaire cadastral évaluant la disponibilité des éléments dans le sol et donc leurs carences. Celles ci doivent être éliminées par des apports extérieurs annuels en fonction des rotations de cultures. Pour tous les éléments disponibles, ce sont les pratiques culturales qui assureront leur mise à disposition aux plantes via les microorganismes du sol qui devront être nourris et oxygénés en conséquence. Par cette approche, les intrants sont limités aux manques et pas aux exportations des cultures. De plus ils sont répartis localement en tenant compte de l'hétérogénéité des parcelles.

Chaque type de sol est caractérisé par un Coefficient de Fixation (CF) sur une échelle de 0,1 à 7. A 7 le sol est très fixant donc ne libère pas facilement les éléments et donc ne lessive pas.

Le CF plafonne les apports en intrants : il est inutile d'en mettre d'avantage, le surplus sera lessivé. Ainsi en Bretagne (1) et dans les Landes le CF étant souvent de 0,5, il faut limiter les apports en lisier à 15 m³ par an et par ha alors que les Bretons en épandent 400 d'où les marées vertes et le classement en Zone d'Excédent Structurel (ZES).

La table du chaulage, dépendant du CF et d'autres paramètres (AT Alcalino Terreux), peut conduire à un apport annuel d'une tonne de carbonate de calcium sur sol calcaire car l'ion Ca⁺⁺ bien que présent peut ne pas être suffisamment disponible pour participer à la construction du Complexe Ogano Minéral (COM)

La méthode est basée également sur une analyse très poussée de la Matière Organique (MO) du sol. En effet il faut distinguer :

MTO Matière Totalement Oxydable

MOF Matière Organique Fugitive ou facilement oxydable : c'est la nourriture des microorganismes des sols

Si MOF = 20 % de MTO les microorganismes sont bien nourris, sinon il faut apporter du lisier ou du compost jeune. MOF étant soluble, elle descend dans le sol si elle n'est pas utilisée (d'où les analyses sur 3 profondeurs), il est donc inutile de mettre de la MO dans ce sol.

3 F la troisième Fraction organique, c'est l'humus construit et déconstruit par les microorganismes et non lié à l'argile, c'est un pseudo humus biologique lié à l'humus vrai.

NiNi Ni minéralisée Ni humifiée : c'est l'indice de polymérisation de la MO

HS Humus Stable = MTO - MOF

(1) <http://scienceenvironnement.free.fr/Bretagne/BRETAGNE-PORC.htm>

Bibliographie :

Ce mémoire, le diaporama de soutenance et rapport complet sont sur :
<http://scienceenvironnement.free.fr/IA/IA.htm>

Agriculture.gouv, 2006. Réflexions sur la valorisation non alimentaire de la biomasse, en Vendée.
http://www.agriculture.gouv.fr/spip/IMG/pdf/environnement_biomasse_etude.pdf

Crovetto Lamarca, C. 1999. Les fondements d'une agriculture durable, Panam.
Extraits et scans sur : <http://scienceenvironnement.free.fr/biblio/agri-durable/agri-durable.htm>

Cultivar, mensuel des grandes cultures,
Janvier 2006 Xavier roule et se chauffe au colza
Avril 2006 TCS et agriculture biologique

Demirbas, M.F., Mustafa, B., Trabzon, Turkey, 2005.
Recent advances on the production and utilization trends of bio-fuels: A global perspective.

DOUAUD, A., GRUSON, J.F., 2006.
Recommandations pour un développement durable des Biocarburants en France.
<http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/BioCIVEPEOKAD20janvier.pdf>
<http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/rap-douaud-civepe.pdf>

EBAMM 2005. Comparaison de 6 études sur l'éthanol de maïs.
<http://rael.berkeley.edu/EBAMM/>
http://rael.berkeley.edu/EBAMM/EBAMM_1_0.xls
http://rael.berkeley.edu/EBAMM/EBAMM_1_1.xls
http://rael.berkeley.edu/EBAMM/EBAMM_SOM_1_0.pdf
http://rael.berkeley.edu/EBAMM/EBAMM_SOM_1_1.pdf

Ecobilan 2002 : Bilans énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production des biocarburants en France.
http://www.ademe.fr/partenaires/agrice/publications/documents_francais/synthese_bilans_energetiques_fr.pdf
<http://www.industrie.gouv.fr/energie/renou/biomasse/ecobilan.pdf>

Ecobilan 2005 : Note de synthèse sur l'évaluation des externalités et effets induits économiques, sociaux et environnementaux de la filière bioéthanol de maïs en France : cas d'une unité de transformation implantée à Lacq.

FABLQ, 2005. Fédération d'Agriculture Biologique du Québec.
La fertilisation organique des cultures, ISBN 2-9809006
<http://www.agrireseau.qc.ca/agriculturebiologique/documents/Brochure%20fertilisation15nov.pdf>

Farrell, A.E., Plevin, R J., Turner, B T., Jones, A D., O'Hare, M., Kammen, D.M., 2006.
Ethanol Can Contribute To Energy and Environmental.

Herody, Y., Massenot, D., 2000. Les bases de la méthode HERODY, éd. BRDA 39 250 Charency
<http://www.prometerre.com/pages/herody.php>
<http://www.itvfrance.com/regions/documents/1/Biblio%20Chenin%202002.pdf>

Histoire & Patrimoine n°5 janvier 2006 – Les derniers PAYSANS ?
http://www.milanpresse.com/numero_5_histoire%20et%20patrimoine.html

IDD, Institut pour un Développement Durable, 2005.
Impacts environnementaux des biocarburants en Belgique
<http://users.skynet.be/idd/documents/divers/biofuelsenv.pdf>

IRAB, Institut de Recherche de l'agriculture Biologique, 2001.

FiBl, dossier n°1. Résultats de 21 ans d'essai DOC. Le bio améliore la fertilité du sol et la biodiversité. <http://www.bio-dynamie.org/livres-agriculture-jardinage-alimentation-rythmes/publications/agriculture-livres.htm>

MathPro Inc, 2005. The net energy value (NEV) of corn ethanol : is it positive or negative ?

MathPro Inc. P.O. Box 34404 West Bethesda, Maryland 20827

http://www.mathproinc.com/pdf/2.1.6_Ethanol_NEV_Comparison.pdf

Mercier, J.R., 1978. Energie et agriculture : le choix écologique. Debard.

Pérez-Vitoria, S., 2005. Les paysans sont de retour. Actes Sud.

Pimentel, D., Patzek, T.W., 2005. Ethanol Production Using Corn, Switchgrass, and Wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. Volume 14, Number 1 March 2005 65 - 76

<http://www.springerlink.com/content/r1552355771656v0/fulltext.pdf>

Pimentel, D., Hepperly, P., Hanson, J., Doubs, D., Seidel, R., 2005. Environmental, Energetic, and Economic Comparisons of Organic and Conventional Farming Systems. Vol. 55 n°7 BioScience 573.

Planète : méthode pour 'analyse énergétique de l'exploitation agricole : 150 intrants répertoriés !

http://www.solagro.org/site/im_user/014planeteooc02.pdf

Pontailier, S., 1971. Engrais et fumure Que sais je ? n° 703.

Réseau Action Climat-France, mai 2006. Note sur les biocarburants.

http://www.rac-f.org/DocuFixes/fiches_thema/note_RACF_biocarburants.pdf

Risoud, B., 1999. Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et son pouvoir de réchauffement global. ADEME n° 9975030 - ENESAD BP 87999 – 21079 Dijon.

Risoud, B., 2000. Energy efficiency of various French farming systems: questions to sustainability UMR INRA-ENESAD http://www.dijon.inra.fr/esr/documents/WP2000_9.pdf

Samson, R., 2006. Sources d'énergie de biomasse pour le chauffage en serriculture.

http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-serre/documents/HullCQVBBioenergie_samson.pdf

Sénat, 6 avril 2006. Colloque biomasse : http://www.agriculture.gouv.fr/spip/actualites_a5927.html

Sourie, J.C, Tréguer, D., Rozakis, S., décembre 2005.

L'ambivalence des filières biocarburants. INRA Sciences Sociales n°2, ISSN 0988-3266.

<http://www.inra.fr/Internet/Departements/ESR/publications/iss/pdf/iss05-2.pdf>

Soltner, D., 17^{ème} édition 1990. Les grandes productions végétales,

Soltner, D., 18^{ème} édition 1990. Les bases de la production végétale, Tome 1 : le sol

Soltner, D., 20^{ème} édition 2005. Les grandes productions végétales,

Soltner, D., 24^{ème} édition 2005. Les bases de la production végétale, Tome 1 : le sol

Collection sciences et techniques agricoles <http://www.soltner.fr/>

Vaitilingom, G., 1992. Huiles végétales – biocombustible diesel : influence de la nature des huiles et en particulier de leur composition en acides gras sur la qualité carburant. Thèse université d'Orléans.

Vision pour 2030 des biocarburants en Europe, 2006.

http://europa.eu.int/comm/research/energy/pdf/draft_vision_report_en.pdf