



Dép. Économie et Sociologie
BP 87999 – 21079 Dijon cedex
Responsable des travaux :
Bernadette RISOUD
03 80 77 28 01

A D E M E



N° : 9975030
du 8 décembre 1999
Contrat de 2 ans
Responsable ADEME :
Olivier THEOBALD

Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole et son pouvoir de réchauffement global



Annexe au document « Analyse énergétique d'exploitations agricoles
et pouvoir de réchauffement global. Méthode et résultats sur 140 fermes françaises »

Table des matières

Annexe 1	Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole	1
Annexe 2	Références et discussion sur les émissions de gaz à effet de serre	39

Avertissement

Le groupe Planète, Pour L'ANalyse énerGETique de l'Exploitation agricole, réunit plusieurs institutions de nature et finalités variées autour du même objectif : élaborer un outil fiable pour mettre en œuvre des analyses énergétiques au niveau des exploitations agricoles, afin d'examiner et de comparer de ce point de vue leur efficacité ainsi que d'autres critères énergétiques.

Complémentaires de l'analyse économique, les bilans énergétiques contribuent à situer les exploitations agricoles, dans une perspective de durabilité.

Le groupe Planète étant ouvert, sa composition est évolutive. Il est constitué en 2000-2001 de :

- SOLAGRO Toulouse : Jean-Luc BOCHU,
- CETA Thierache : Marie Christine SAVARY,
- ENESADijon : Bernadette RISOU, Pierre WAVRESKI, Bernard CHOPINET,
- CEIPAL Lyon : Jean-Marc FERRIERE, Philippe ROYET,
- CEDAPAS Nord Pas de Calais : Audrey GREGOIRE qui remplace Stéphane LASSEUR
- FHLuxembourg : Marita HOFFMAN, Nadine SCHMITT, puis Tom DUSSELDORF et Rocco LIOY

La collecte des données de ce référentiel est le fruit du travail collectif du groupe Planète.

Toutefois, celle concernant les aliments du bétail doit beaucoup à :

- Anne FARRUGIA (Institut de l'Élevage), qui a dû s'orienter vers d'autres travaux en 1999, mais qui fut jusque là un des pivots du groupe Planète,
- Christine FAUVEAU et à Fabien COLPAERT (CEIPAL), qui ont constitué une première version effectuée en 1998/99.

La contribution de Marita HOFFMAN et Arthur MEYERS (Fédération des Herd-Books Luxembourgeois : FHL) par le partage sans réserve de leur expérience a été aussi essentielle.

Certains choix méthodologiques sont tout à fait discutables et les approximations sont importantes. Ils devront être révisés au fur et à mesure que des approfondissements seront effectués.

Référentiel pour l'analyse énergétique de l'exploitation agricole

L'unité adoptée est le Méga joule, car c'est l'unité internationale :

$$\begin{aligned} 1 \text{ MJ} &= 239 \text{ kcal} \\ 1 \text{ GJ} &= 1000 \text{ MJ} \end{aligned}$$

Nous utilisons également l'équivalent litre de fioul (noté EQF) pour concrétiser l'énergie dépensée, sachant que l'équivalent litre de fioul se convertit selon :

$$\begin{aligned} 1 \text{ EQF} &= 35,8 \text{ MJ (Bonny)} \\ \text{ou encore } 1 \text{ MJ} &= 2,79 \cdot 10^{-2} \text{ EQF} \end{aligned}$$

On peut encore trouver d'anciennes unités énergétiques dont voici les équivalences :

Unité	Abréviation	Conversion
1 kilowattheure	kWh	3,6 MJ
1 thermie	th	4,1855 MJ
1 tonne équivalent pétrole	tep	$42 \cdot 10^3$ MJ
1 calorie	cal	$4,1868 \cdot 10^{-6}$ MJ
1 British thermal unit	Btu	$1,055 \cdot 10^{-3}$ MJ

Lorsqu'un choix s'avère nécessaire entre des références énergétiques de sources variées, nous avons opté pour retenir :

- en premier lieu, les références dont les sources se rapprochent le plus possible des conditions françaises,
- en deuxième lieu si besoin, les références les plus récentes.

On notera pour énergie non renouvelable : ENR, et pour énergie brute : EB.

LES ÉNERGIES NON RENOUVELABLES QUI RENTRENT SUR L'EXPLOITATION

SOUS-PRODUITS et CO-PRODUITS

Dans un processus de production agricole, on obtient fréquemment un produit principal, ayant une valeur marchande (exemple : grains de blé), objectif de l'activité, et un ou plusieurs sous-produits. Ceux-ci peuvent éventuellement avoir une valeur marchande, et sont en général utilisés, mais ils ne correspondent pas à l'objectif du processus de production (exemple : paille de blé).

Par convention :

En sortie, en plus des produits principaux, l'énergie brute des sous-produits sera comptabilisée seulement s'ils sortent de l'exploitation en ayant une valeur marchande (ou une valeur d'échange).

En entrée, lorsque des sous-produits sont importés sur l'exploitation, on ne comptabilise que l'énergie non renouvelable nécessaire à leur élaboration spécifique au cours du processus de production (par exemple pour le bottelage de la paille), et à leur transport. En effet, l'ensemble des énergies dépensées pour une culture est imputé à son produit principal (grain).

Les **fertilisants organiques** tels que le fumier, le lisier, le compost, sont considérés comme des sous-produits du processus de production animale.

Certains **aliments du bétail** sont aussi des sous-produits (voir plus loin) : pulpes, paille.

Mais d'autres sont considérés comme des co-produits.

Ainsi, les tourteaux obtenus après extraction de l'huile des graines oléagineuses (colza, soja, tournesol) n'ont pas été considérés comme un sous-produit, mais comme des co-produits, compte tenu de leurs valeurs nutritive et économique.

Par convention :

l'imputation de l'énergie de production entre plusieurs co-produits est effectuée au prorata de l'énergie brute qu'ils contiennent.

ÉNERGIE DIRECTE

Données de sources variées qui incluent l'extraction, le raffinage, le transport, la distribution et l'entretien des réseaux.

	MJ/ unité	Unité	Sources
fioul domestique	40,7	litre	Combes 98
gazole routier	40,7	litre	Combes 98
essence	41,5	litre	FHL
propane / butane	50,8	kg	ITCF
gaz naturel	33,8	m3	Combes 98
électricité	9,6	kWh	Combes 98
lubrifiants	45,2	litre	IFP
charbon	27,8	kg	Reinhardt 93
eau réseau	0,014	litre	FHL

NB : Si l'exploitant fait appel à une CUMA pour les travaux agricoles, ne pas oublier de prendre en compte le fuel consommé.

Électricité

La consommation en électricité pèse fortement sur les calculs. Il est donc important de différencier la consommation familiale de celle de l'exploitation. S'il n'y a pas de compteur séparé sur l'exploitation, on faudra évaluer avec l'exploitant la consommation relative au fonctionnement de la ferme (transformation non comprise), ou par défaut considérer une consommation domestique de 5000 kWh/an et par famille.

Eau

On retient une donnée allemande fournie par la FHL pour l'eau d'abreuvement qu'on appliquera à la consommation totale d'eau de l'exploitation (hors consommation familiale) : **0,014MJ/litre**

ENGRAIS MINÉRAUX

On reprend les données de l'ITCF (1999), issues de Gaillard 1997 et ADEME 1997, qui de plus intègrent le transport jusqu'à la ferme, à partir de AGPB, SNIE, AFME (1990) pour les distances parcourues et de Secrétariat d'Etat à l'Industrie, pour le coût énergétique du transport des marchandises.

Eléments fertilisants	Catégories d'engrais	Coeff MJ/unité	unités	sources
Azote	urée	64,65	kg N	Gaillard 97, ITCF 99
	autres engrais azotés	52,62	kg N	ITCF 99*
Phosphore	scories Thomas	9,3	kg P2O5	Gaillard 97, ITCF 99
	autres P2O5	15,55	kg P2O5	ITCF 99**
Potasse	K2O	12,1	kg K2O	Gaillard 97, ITCF 99
Chaux	CaO	2,8	kg CaO	Gaillard 97, ITCF 99
Soufre	SO3	18,4	kg SO3	ADEME 97, ITCF 99

* moyenne des 4 données engrais azotés ITCF 1999, différents de l'urée

*** moyenne des 2 données engrais phosphatés ITCF 1999, différents des scories Thomas

ENGRAIS ORGANIQUES

Pour les engrais organiques importés (lisiers, fumiers, compost), sous-produits de productions animales, on ne prend en compte que l'énergie non renouvelable nécessaire à leur élaboration spécifique (stockage, aération,...) ainsi que celle nécessaire à leur transport (voir matériel et transport).

Le transport s'élève à 3,2 MJ/km.t s'il est fait en tracteur ou à 0,85 MJ/km.t en camion. Il s'avère nécessaire de connaître la provenance et le mode de transport de l'engrais organique importé.

Il manque des références pour les divers engrais organiques utilisés par les agriculteurs biologiques.

Fumier

Pour le fumier, sont donc considérées les ENR dépensées pour son stockage et son transport.

Pour le stockage du fumier, est comptée une dalle de béton de 15 cm d'épaisseur. On suppose que l'on peut stocker en moyenne 1 tonne de fumier sur 1 m² d'aire bétonnée et que son amortissement est de 30 ans.

On dépense 1780 MJ/m³ de béton (FHL), d'où :

$(15 \cdot 10^{-2}) \text{ m} \cdot 1 \text{ m}^2 \cdot 1780 \text{ MJ/m}^3 / 30 \text{ ans} = \mathbf{8,9 \text{ MJ/tonne de fumier stocké.an}}$

Compost

Dans le cas du compost, il faut ajouter la fabrication : les données correspondent à un chargement avec un tracteur et une fourche puis un passage dans un épandeur (de capacité 8 tonnes).

Tracteur + fourche : 160 MJ

Tracteur + épandeur : 181 MJ

Total : 341 MJ par épandeur

Pour fabriquer du compost, on dépense 341 MJ / 8 t = 42.6 MJ/t.

Pour le stocker, comme pour le fumier, on dépense 8,9 MJ /t.an

Au total, l'obtention de compost suppose la dépense de **51,5 MJ/tonne de compost.**

Lisier

Dans le cas du lisier, les références prises pour le stockage sont issues de la FHL. On considère une fosse à lisier de 150 m³ qui permet deux fois six mois de stockage par an.

On a donc 4191 MJ/an / 150 m³ / 2 = 13,97 = 14 MJ/ m³.

Le stockage du lisier occasionne une dépense de 14 MJ / m³ de lisier.

Quant à l'énergie de fabrication (mixage), d'après Lambert 95, on dépense 4,3 MJ/ m³ pour l'amortissement du matériel de mixage et son fonctionnement.

Au total, on obtient **18,3 MJ/ m³ de lisier.**

Boues

Pour les boues, sous-produits de l'épuration des eaux usées, par hypothèse, le même coefficient que le lisier a été retenu : **18,3 MJ/ m³ de boue.**

Une étude approfondie de la question serait nécessaire, le traitement des boues nécessitant de l'énergie, mais pouvant aussi produire du méthane.

LE TRANSPORT

Convention :

Lorsque le transport d'un intrant n'est pas connu, nous avons pris une valeur forfaitaire de 0,11 MJ/kg. Celle ci correspond à 130 km en camion ou 17 km (x2 : pour aller-retour) en tracteur et remorque.

Transport par tracteur

Pour le transport par tracteur, on prend la référence de Combes 98, calculée pour un tracteur tournant à plein régime pendant une heure, c'est à dire 540 MJ /h.

On a supposé que ce tracteur parcourait 17 km/h avec un épandeur ou une remorque de 10 tonnes.

On obtient donc 3,2 MJ par km et par tonne de produit : 3,2 MJ/km.t

Autres transports

Énergie nécessaire pour chaque type de transport :

Voiture	2,8	MJ/km.t	Brand et Melman 93
Cargo	0,25	MJ/km.t	Brand et Melman 93, OFEFP 91
Pétrolier	0,025	MJ/km.t	TCEF 90
Camion	0,85	MJ/km.t	OFEFP 91
Chemin de fer	0,33	MJ/km.t	TCEF 92
Pipeline	0,15	MJ/km.t	TCEF 89

PRODUITS PHYTOSANITAIRES

On utilise les données de la FHL qui sont très complètes, établies à partir des données de Pimentel et actualisées. Elles sont exprimées par kilo de matière active (ma) : l'énergie dépensée pour la production, l'énergie pour la formulation et l'énergie pour l'emballage sont ajoutées. Pour obtenir la teneur en matière active des pesticides, on utilisera le guide ACTA.

Dépenses d'énergie pour la production en MJ/kg ma

herbicides :	240 MJ/kg matière active
insecticides :	185 MJ/kg matière active
fongicides :	92 MJ/kg matière active

Données Pimentel, USA, 1980 recalculées

Dépenses d'énergie pour la formulation MJ/kg ma

Émulsion :	139,3 MJ/kg matière active
Poudre soluble :	10,4 MJ/kg matière active
Granulé :	15,1 MJ/kg matière active

Dépenses d'énergie pour l'emballage en MJ/kg ma

Émulsion :	35,6 MJ/kg matière active
Poudre soluble :	10,8 MJ/kg matière active
Granulé :	83,9 MJ/kg matière active

Produit/Formulation	émulsion	poudre soluble	granulé ou poudre sèche	autres
herbicide	414	260	338	340
insecticide	359	205	283	250
fongicide	267	113	191	190
produits non référencés (anti-limaces, anti-rongeurs)	237	213	288	250
Sulfate de cuivre	37	13		

Tableau synthétique de l'énergie nécessaire à la mise à disposition des pesticides, selon leur formulation (en MJ/kg de matière active)

Pour les autres produits, s'il en est, on prend la valeur forfaitaire de 300 MJ/ kg de ma.

SEMENCES

Énergie nécessaire à produire et traiter les semences

type	Coef MJ/unité	unité	source
Semences céréales	8	kg graines	CCPCS 91
sem prairies	9,4	kg graines	Bonny 86
sem maïs (dose 50 000)	16,2	dose	CCPCS 91
sem betteraves (dose 100 000)	172	dose	CCPCS 91
sem pois, fèverolles	7	kg graines	Ménégon 96
sem oléagineux colza, lin	5,7	kg graines	CCPCS 1991
sem tournesol	7	kg graines	SOLAGRO, Combes 98
plant pomme de terre	2	kg plant	FHL

Poids des doses de semences :

1 dose de 50 000 gr de maïs = 17 kg

1 dose de 100 000 graines de betterave = x kg

1 dose de 150 000 gr de tournesol = 10,5 kg

1 dose de 800 000 gr de sorgho = 20 kg.

ALIMENTS ET FOURRAGES

Les concentrés

Pour le transport, on rajoute forfaitairement 0,11 MJ/kg, correspondant à un trajet de 130 km aller en camion (on considère que le retour se fait avec une autre marchandise) ou correspondant à 17 km aller-retour (soit 34 km) avec un tracteur et sa remorque (cf page 6).

PRODUCTION DE GRAIN ET DE PAILLE

Pour le cas des céréales à graines, nous nous baserons sur les références concernant le blé, qui est la céréale la plus répandue sur le marché (73 % dans les aliments composés, Agreste 95)

Ménégon (1996) a déterminé une moyenne de l'énergie non renouvelable pour la culture de blé dans l'Eure : 17575 MJ/ha (pour un rendement moyen de 76 Qx de grain et 5,1 t de paille).

Grain: $17575 \text{ (MJ/ha)} / 7600 \text{ (kg/ha)} = 2,3125 = 2,3 \text{ MJ/kg}$ de grain blé

Paille: $(586^a + 29^b + 305^c) \text{ (MJ/ha)} / 5100 \text{ (kg/ha)} = 0,18 \text{ MJ/kg}$ de paille

a: amortissement presse/ha; b: amortissement tracteur 58MJ/h, en supposant que l'on presse 2 hectares par heure ; c : fioul 15 l/h, soit 7,5 l/ha = 305 MJ /ha

MAÏS GRAIN

Les consommations énergétiques pour la production du maïs grain sont tirées de Ménégon,96.

Elles s'élèvent en moyenne à 32940 MJ/ha pour un rendement moyen de 89 Qx/ha.

Par conséquent, un kilo de maïs a nécessité la dépense de 3,7 MJ.

POIS PROTEAGINEUX

Les consommations énergétiques pour la production du pois protéagineux sont tirées de Ménégon, 96.

Elles s'élèvent en moyenne à 10625 MJ/ha pour un rendement moyen de 53 Qx/ha.

Par conséquent, un kilo de pois a nécessité la dépense de 2,0 MJ.

ÉNERGIE NON RENOUVELABLE

ENR paille = $0,18 + 0,11 = 0,3 \text{ MJ/kg}$

ENR graine céréale = $2,3 + 0,11 = 2,4 \text{ MJ/kg}$

ENR maïs grain = $3,7 + 0,11 = 3,8 \text{ MJ/kg}$

ENR pois protéagineux = $2,0 + 0,11 = 2,1 \text{ MJ/kg}$

Tourteaux et graines d'oleagineux

COLZA

Les consommations énergétiques pour la production du colza sont tirées de Ménégon,96.

Ainsi, un hectare de colza consomme en moyenne 15865 MJ, pour un rendement moyen de 31 Qx/ha.

L'énergie non renouvelable pour obtenir des graines de colza s'élève à :

$15865/3100 = 5,117 = 5,1 \text{ MJ/kg}$.

La répartition entre huile et tourteau se fait au prorata de leur contenu énergétique.

La proportion d'énergie contenue dans les tourteaux est de 41 % (Soltner), pour une proportion massique de 60 %.

L'énergie non renouvelable de production du tourteau de colza est donc de :

$15865 * 0,41 / 3100 * 0,60 = 3,497 = 3,5 \text{ MJ/kg}$.

Le transport consomme 0,11 MJ/kg.

La trituration et le conditionnement consomment 0,067 MJ/kg (donnée FHL).

SOJA

Les références énergétiques sur la culture du soja au Brésil nous manquent. Pour la France, on assimile les consommations énergétiques du soja à celles du pois protéagineux (de même famille botanique), soit 10625 MJ, pour un rendement moyen de 30qx/ha.

On considère que le coût énergétique par kg du soja brésilien est équivalent à celui de France (hypothèse : les rendements sont inférieurs en proportion aux ENR en entrées), soit environ 3,54 MJ /kg de graine de soja.

La répartition huile/tourteau (Soltner) est de 20/80 en masse et de 32/68 en énergie.

La trituration et le conditionnement consomment 0.067 MJ/kg (donnée FHL).

D'où pour le tourteau de soja l'imputation énergétique suivante :

$(10625 * 0,68) / (3000 * 0,8) + 0,067 = (7225 / 2400) + 0,067 = 3,08 \text{ MJ / kg de tourteau}$

Le transport depuis le Brésil est estimé à 9600 km en cargo et à 300 km en camion. Il consomme donc $(9600 * 0,25) + (300 * 0,85) = 2655 \text{ MJ/ t} = 2,7 \text{ MJ/kg}$.

ENERGIE NON RENOUVELABLE

ENR Graine de colza = $5,1 + 0,11 = 5,2 \text{ MJ/kg}$

ENR Tourteaux de colza = $3,5 + 0,11 + 0,067 = 3,7 \text{ MJ/kg}$

ENR Graine de soja = $3,5 + 2,7 = 6,2 \text{ MJ/kg}$

ENR Tourteaux de soja = $3,08 + 2,7 = 5,8 \text{ MJ/kg}$

Fourrages grossiers

On retient deux cas de figures principaux :

1. **L'exploitant achète des fourrages sur pied** (en général dans un périmètre géographique limité) et réalise ou fait réaliser par une entreprise les travaux de récolte. On ne retient alors que le coût énergétique de production, les coûts de récolte et de transport étant par ailleurs intégrés à l'activité de l'exploitation.

1.1 : achat d'herbe qui peut être régulier, auprès d'un propriétaire ne souhaitant pas louer son terrain. Il s'agit quasi exclusivement de prairies naturelles ne recevant pas de fertilisation. Le coût énergétique de production est considéré comme nul.

Sinon, pour l'achat d'herbe, plus exceptionnel, auprès d'un autre exploitant, nous avons retenu un itinéraire technique moyen de production de prairie temporaire de 4 ans, avec un rendement de 7 t de MS/ha.

Le détail des calculs de cet itinéraire et des suivants est donné en annexe C

PT graminées 4 ans	Rdt : 7 T MS/ha		1 apport de lisier 2 passages azote de 50 kg/ha
Labour	0,25	1820	455
Travail du sol	0,25	650	162,5
Semis	0,25	370	92,5
Roulage	0,25	290	72,5
Semences	0,25	235	58,75
Epannage lisier	1	930	930
Epannage engrais	2	160	320
Azote	100	52,6	5260
Chaulage	1	900	900
Total			8251
soit			1,18 MJ / kg MS

La fertilisation est à 50 % animale et à 50 % minérale. Le coût énergétique de production est **de 8251 MJ / ha** soit 1,2 MJ / kg de MS.

1.2 : achat de maïs sur pied.

Le coût énergétique de production du maïs s'élève à **13442 MJ / ha** (cf itinéraire technique moyen ci-dessous) pour un rendement de 12 T de MS / ha, soit 1,12 MJ / kg de MS.

Maïs		Rdt : 12 T MS/ha		
Labour	1	1820	1820	1 binaire (400 kg de 15.30)
Travail du sol	1	650	650	2 passages azote 60 kg
Semis	1	390	390	1 herbicide
Roulage	1	290	290	1 insecticide
Semences	1	32,4	32,4	
Epannage engrais	3	160	480	
Azote	120	52,6	6312	
Phosphore	60	15,55	933	
Potasse	80	12,1	968	
Traitement phytos	2	140	280	
Insecticide	0,5	359	179,5	
Herbicide	0,5	414	207	
Chaulage	1	900	900	
Total			13442	
soit			1,12	MJ / kg MS

2. **L'exploitant achète des fourrages déjà récoltés et stockés.** Dans certains cas, il achète rendu, donc on rajoutera aux coûts de production, les coûts de récolte et de transport.

- **L'achat d'ensilage d'herbe.** Réalisé localement, cet achat se fait généralement pour pallier un déficit exceptionnel de fourrages. L'acheteur transporte lui-même l'ensilage acquis et on n'ajoute donc pas de forfait transport.

Aux coûts de production de 8251 MJ / ha (prairie temporaire sur 4 ans) s'ajoutent le coût de récolte et le coût de stockage: 4 100 MJ / ha / coupe

Pour une production de 3 T de MS/ha (lère coupe), on obtient :

$$[(8251 \cdot 3/7) + 4100] / 3000 = 2,55 \text{ MJ / kg de MS}$$

Soit pour un ensilage à 22 % de MS => $2,55 \cdot 0,22 = \mathbf{0,56 \text{ MJ / kg brut}}$.

2.2 **L'achat d'ensilage de maïs.** Toujours réalisé localement, cet achat se fait aussi pour combler un déficit exceptionnel de fourrages. L'acheteur transporte lui-même l'ensilage acquis.

Coût de production: 13442 MJ / ha

Coût de récolte et de stockage: 4 960 MJ / ha

Total = 18402 MJ / ha

Pour une production de 12 T de MS/ha => $18402 / 12\ 000 = 1,53 \text{ MJ / kg de MS}$.

Pour un ensilage à 33 % de MS => $1,53 \cdot 0,33 = \mathbf{0,51 \text{ MJ / kg brut}}$

2.3 **L'achat de foin** sans précision de qualité. Soit l'agriculteur réalise lui-même son transport si l'achat est local et l'énergie est intégrée dans ses propres consommations, soit il fait appel à un transporteur si la distance ou les quantités sont importantes. En conséquence, on rajoutera un forfait transport. On considère du foin produit sur une prairie temporaire de 4 ans (voir ci-dessus).

Coût de production: 8251 MJ /ha

Coût de récolte: 3 050 MJ / ha / coupe

Pour une production de 3 t de MS /ha (première coupe), on compte :

$((8251 \cdot 3/7) + 3050) / 3000 = 2,20 \text{ MJ / kg de MS}$
 soit pour un foin à 85 % de MS : $2,20 \cdot 0,85 = 1,87 \text{ MJ / kg brut}$

2.4 L'achat de foin de luzerne.

Pour la culture de luzerne, nous avons retenu l'itinéraire technique suivant :

Luzerne (foin)		Rdt : 10 T MS/ha	
			1 binaire : 300 kg de 20.30
			1 Kcl : 200 kg de 60%
			1 anti-limace
Labour	0,25	1820	455
Travail du sol	0,25	650	162,5
Semis	0,25	370	92,5
Roulage	0,25	290	72,5
Semences	0,25	282	70,5
Epannage engrais	2	160	320
Azote	0	52,6	0
Phosphore	60	15,55	933
Potasse	210	12,1	2541
Chaulage	1	900	900
Traitement phyto	1	140	140
Phytos	5	288	1440
Total			7127
soit			0,71 MJ / kg MS

Le coût de production s'élève donc à : 7127 MJ /ha

Coût de récolte : 3 050 MJ /ha/coupe

Total : 10177 MJ / ha.

Un forfait transport sera ajouté.

Rendement de 2,5 t de MS/ha/coupe => $(7127 / 4 + 3050) / 2500 = 1,93 \text{ MJ / kg de MS}$

Pour un foin à 85 % de MS, on a $1,93 \cdot 0,85 = 1,64 \text{ MJ / kg brut}$

LUZERNE DESHYDRATEE

La production est assimilée à la production de foin, la récolte à celle de l'ensilage d'herbe (hors bêche, hors tassage) mais avec un transport de 17 km aller retour à l'usine soit 5 500 MJ / ha pour 50 t brute / ha.

Coût de production: 7127 MJ /ha

Coût de récolte: 4 100 MJ / ha / coupe

- Bêche et tassage: - 635 MJ / ha / coupe

Transport: 5 500 MJ /ha

Total avec 4 coupes / an: $(4100-635) \cdot 4 + 7127 + 5\,500 = 26487 \text{ MJ / ha}$

Pour produire 10 t de MS / ha, on a donc consommé **2,65 MJ / kg de MS**

Dans le cas d'une luzerne à 20 % de MS, on dépense donc $2,65 \cdot 0,2 = 0,53 \text{ MJ / kg brut}$

La **déshydratation** consomme environ 9,5 MJ / kg de produit fini à 10 % d'humidité (ENESAD et article Perspectives Agricoles), soit **10,55 MJ / kg de MS**

Sans compter le transport, la production de luzerne et sa déshydratation consomme :

13,2 MJ / kg de MS, soit pour un taux résiduel d'humidité de 10 % dans les granulés, une consommation de **11,9 MJ /kg de granulé**

<p style="text-align: center;">ÉNERGIE NON RENOUVELABLE</p> <p style="text-align: center;">ENR Foin = 1,87 + 0,11 = 1,98 MJ / kg brut</p> <p style="text-align: center;">ENR Herbe sur pied = 8251 MJ / Ha</p> <p style="text-align: center;">ENR Ensilage Herbe = 0,56 MJ/kg brut</p> <p style="text-align: center;">ENR Maïs sur pied = 13442 MJ / Ha</p> <p style="text-align: center;">ENR Ensilage Maïs = 0,51 MJ / kg brut</p> <p style="text-align: center;">ENR Foin de luzerne = 1,64 + 0,11 = 1,75 MJ / kg brut</p> <p style="text-align: center;">ENR Luzerne déshydratée = 11,9 + 0,11 = 12,01 MJ/kg de granulé</p>
--

Betteraves et sous produits

BETTERAVE FOURRAGERE

Dans le cas des betteraves, on considère un itinéraire technique de betterave sucrière. Les résultats sont donc ceux de Lambert 96, annexe p.28, c'est à dire 24824 MJ/ha pour un rendement de 13,3 t de sucre, c'est à dire de 100 tonnes de betterave. Ce rendement est assez haut. On prendra comme valeur de rendement 70 t de racine, (résultats Agreste 1996 : 67,7 tonnes/ha et en 1997 : 70,7 tonnes/ha) pour un rendement en sucre de 10,5 t. On a donc $24824 / 70000 = 0,355$ MJ/kg de racine.

PULPE DE BETTERAVE SURPRESSEE

La betterave surpressée est un sous produit de l'industrie du sucre. On compte uniquement la dépense énergétique du surpressage, équivalente à la valeur de granulation sans séchage soit 0,144 MJ/kg (FHL). La production de betterave n'est pas prise en compte car il s'agit d'un sous produit.

PULPE DE BETTERAVE DESHYDRATEE

De même, la pulpe de betterave est aussi un sous produit. La production de betterave n'est donc pas prise en compte.

Il faut compter 2 types de transport. Le premier est le transport du produit humide et le second du produit sec après déshydratation. Ainsi, pour obtenir 1 kg de pulpe sèche, il faut amener à l'usine de déshydratation 4 kg de pulpes surpressées à 23 % de matière sèche.

La déshydratation consomme 9,5 MJ / kg de produit fini (voir plus haut).

<p style="text-align: center;">ENERGIE NON RENOUVELABLE</p> <p style="text-align: center;">ENR betterave = 0,355 + 0,11 = 0,5 MJ/kg</p> <p style="text-align: center;">ENR Pulpe surpressée = 0,144 + 0,11 = 0,3 MJ/kg</p> <p style="text-align: center;">ENR Pulpe sèche = (0,144 + 0,11) * (0,85 / 0,23) + 9,5 + 0,11 = 10,55 MJ/kg</p>
--

Les aliments composés

Dans le cas des aliments composés, les résultats ont été obtenus à partir des données Agreste 1994. L'annexe A donne la feuille de calcul correspondant.

Les valeurs moyennes ont permis de définir la composition d'un aliment composé moyen. Les pourcentages de chaque matière première ont été multipliés par la référence énergétique de fabrication (déshydratation), avec calcul de l'énergie dépensée lors de leur transport par voie maritime et de l'énergie des transports en France.

Ces références prennent donc en compte la provenance dominante des aliments importés (Brésil, Argentine, ...) et la composition des aliments par type d'animaux (herbivores, porcs et volailles). Notons que chaque année la composition des aliments fluctue avec le prix des matières premières et qu'il serait nécessaire de ce fait, de réactualiser ce travail périodiquement.

Type d'aliment composé	Transport maritime (MJ/kg)
Herbivores	0,46
Porcs	0,63
Volailles	0,48

Énergie non renouvelable moyenne dépensée pour le transport maritime des aliments composés par type d'aliment, en MJ/kg

Pour l'énergie dépensée dans l'usine pour la fabrication de l'aliment : d'après l'ADEME, en moyenne, il faut compter 0,629 MJ/kg de granulé.

Pour la fabrication de farine, sachant que les valeurs de la FHL sont 0,075 MJ/kg pour les farines et 0,524 MJ/kg pour les granulés, on extrapole à partir de la valeur ADEME pour les granulés en utilisant la relation de proportionnalité entre l'énergie de fabrication des farines et des granulés de la FHL, et on obtient la valeur de 0,090 MJ/kg de farines.

Les valeurs de productions des différentes matières premières sont celles définies dans la partie aliment simple et fourrages. Pour les sous produits et les constituants minoritaire, on a affecté forfaitairement la valeur de 0,144 MJ/kg afin de prendre en compte un éventuel traitement spécifique voire conditionnement. Cette valeur est la référence énergétique définie par la FHL comme étant la valeur de granulation sans séchage.

Type d'aliment	Granulés (MJ/kg brut)	Farine (MJ/kg brut)
Herbivores	$3,2 + 0,46 + 0,63 = 4,3$	$3,2 + 0,46 + 0,09 = 3,8$
Porcs	$2,4 + 0,63 + 0,63 = 3,7$	$2,4 + 0,63 + 0,09 = 3,1$
Volailles	$2,7 + 0,48 + 0,63 = 3,8$	$2,7 + 0,48 + 0,09 = 3,3$

Énergie non renouvelable moyenne dépensée (fabrication, transport maritime, conditionnement) par type d'aliment en MJ/kg brut

Les dépenses énergétiques liées au transport par camion du port à l'usine (0.85 MJ/t.km) ont été appréciées en découpant la France en 5 grandes régions en fonction de leur distance à un port d'approvisionnement pour les produits d'outre mer et de leur lieu de production pour les produits nationaux.

en MJ/kg	Rhône Alpes	Centre /Sud Est	Est	Grand Centre	"Côtes"
Herbivores	0,44	0,35	0,26	0,33	0,23
Porcs	0,42	0,33	0,27	0,17	0,30
Volailles	0,38	0,29	0,25	0,12	0,26

Énergie non renouvelable moyenne dépensée pour le transport port - usine - ferme par camion par type d'aliment en MJ/kg brut

Poudre de lait

On retient pour l'instant la valeur utilisée par CLM qui inclue le séchage, le conditionnement et le transport : **43,3 MJ/kg** (Brand & Melman)

LES ANIMAUX

Par convention, les entrées en ENR liées à l'achat d'animaux sont les mêmes que les données EB considérées pour les sorties : on a en effet supposé une efficacité énergétique égale à 1 pour la production de ces animaux. Cette hypothèse pourra être validée ou modifiée lorsqu'on aura de plus nombreux résultats en production animale. On a effectivement trouvé jusqu'à présent des efficacités énergétiques proches de 1 (bilan EB-ENR nul) dans les systèmes d'élevage-viande, ou même inférieures à 1 pour les élevages hors-sol... Cette hypothèse considère donc des élevages relativement efficaces.

animaux	MJ / kg vif	sources
vache type viande	15,2	Staufembiehl 93
bovin type viande	13,4	Staufembiehl 93
veau type viande	6,33	Staufembiehl 93
vache type lait	9,08	INRA Theix
bovin type lait	9,08	INRA Theix
veau type lait	6,11	INRA Theix
taureau	9,19	Staufembiehl 93
brebis, agneaux	13,6	hyp : idem porcs
chèvres, chevreaux	6,11	hyp : idem veau
porc, truies	13,6	Jahreif, Schöne, 94
porcelet	14,2	Jahreif, Schöne, 94
poulet, volailles	6,49	Wirthf, 91
lapin	6,49	hyp : idem poulet

BÂTIMENTS

Comme pour le matériel, on considère que les vieux bâtiments sont amortis. On ne prend en compte que les bâtiments récents.

On calcule la dépense énergétique à partir du type de bâtiments, du nombre de m² couverts au sol et de la durée d'amortissement comptable.

Pour cette dernière, on prend 30 ans pour les bâtiments pour bovins ou porcins et 24 ans pour les bâtiments des volailles.

Les références ont été établies par la FHL (A. Meyers) à partir de cas réels de bâtiments. Le stockage est compris dans les calculs.

Types de bâtiment	fonction	MJ/m2
Bâtiment de stockage, terre battue	Matériel, paille	790
Bâtiment de stockage, isolé, structure acier	Pomme de terre	1980
Bât. Elevage, litière accumulée avec couloir d'alimentation; bois, parpaings; non isolé	Vaches allaitantes	1250
Bât. Elevage, litière accumulée avec couloir d'alimentation; fer, parpaings; non isolé	Vaches allaitantes	1900
Stabulation, litière accumulée, couloir d'alim., bois, parpaings	Stab. Libre vaches laitières	2970
Etable entravée; fer, parpaings; isolé	Vaches laitières	2847
Bât. Elevage, logettes caillebotis; fer, parpaings; isolé	Vaches laitières	4721
Bât. Elevage, logettes caillebotis; bois, parpaings; non isolé	Vaches laitières	3370
Fumière avec fosse		4191

Dépenses énergétiques de différents systèmes de stabulation et bâtiments de stockage (FHL)

Divers et MATERIAUX

	Coefficient et unité	Sources
Produits vétérinaires annuels	1,14 MJ/ F	Bonny 86
Frais d'élevage annuels	0,76 MJ/F	CEIPAL
Bâche, plastique agricole	92 MJ / kg	CPA
Sels et minéraux	0,017 MJ/F	Fluck
Conservateurs ensilage	1,78 MJ/F	Bonny 86
aire bétonnée	356 MJ / m2	FHL Meyers
ciment	4 MJ / kg	ITCF
béton	1780 MJ /m3	FHL
acier	15 MJ/ kg	ITCF
plastiques, PVC	81 MJ / kg	ITCF
aluminium	65 MJ / kg	ITCF
alliages	18 MJ / kg	ITCF
inox	26,26 MJ / kg	Ecobilan pour Eurofer, 2000

MATÉRIELS

Nous avons retenu le travail réalisé par Lambert, 1996, qui, à partir de données fournies par les industriels (Renault, John Deere, Claas France) et des données de la bibliographie (Doering 1980 ; Mughal, 1994), évaluent les dépenses énergétiques selon cinq catégories principales de matériel. Les calculs prennent en compte l'ensemble des postes de dépenses, y compris celui des réparations à la ferme.

Catégorie de machines	Equivalent énergétique dû à la production des matériaux (MJ/kg)	Equivalent énergétique dû à la fabrication (MJ/kg)	Equivalent énergétique dû aux réparations (MJ/kg)	Equivalent énergétique dû au transport (MJ/kg)	Somme (MJ/kg)
type Ia: tracteurs à quatre roues motrices	49,2	14,6	19,3	8,8	91,9
type Ib: tracteurs à deux roues motrices	49,2	14,6	23,1	8,8	95,7
type Ic: machines automotrices	50,1	12,9	11,7	8,8	83,5
type 2: machines de travail du sol	62,8	8,6	19,0	8,8	99,2
type 3: autres machines	62,8	7,4	16,4	8,8	95,4

Coefficients énergétiques pour le matériel agricole (Lambert, 1996)

Pour le **matériel de traite**, en inox, on se base sur l'énergie nécessaire à la fabrication de l'inox : soit 26,26 MJ/kg (communication pers., Ecobilan, pour Eurofer, 2000).

Modalités d'amortissement :

L'énergie non renouvelable nécessaire à la mise à disposition d'une machine est répartie annuellement sur l'exploitation, en fonction de son utilisation réelle (en heures ou en hectares). Si selon l'amortissement comptable (7 ans pour le matériel de traction, de travail du sol et récolte et 10 ans pour les autres types de matériel, cf. annexe E), la machine est amortie, on ne devrait prendre en compte que son entretien (1,76 MJ/F, Ménégon, 96) : pour simplifier, celui-ci est négligé dans le tableur : ceci favorise un peu les agriculteurs faisant durer leur matériel.

Pour le poids des matériels, on a retenu des données issues de la FDCUMA de Mayenne (cf. annexe E).

On a ainsi, si la machine n'est pas amortie :

$E = \text{nombre d'heures (ou ha) d'utilisation annuelle} * \text{poids (kg)} * \text{coef. én. (MJ/kg)} / \text{nombre d'heures (ou ha) d'amortissement total}$

Pour des travaux réalisés par entreprise, on comptabilise les consommations de gazoil liées à chacun des travaux effectués avec du matériel extérieur à l'exploitation, si ces consommations ne sont pas intégrées aux consommations de l'exploitation.

Elles sont évaluées avec l'agriculteur. Voici quelques ordres de grandeurs :

Travaux	Litres de gazoil / ha
labour	15 à 20
labour en sol argileux	35 à 40
Semis seul	5
Semis en combiné	15
Ensilage	50
Moisson	25
Fertilisation, traitements	3 à 5

Litres de gazoil dépensés par type de travaux et par ha

LES ÉNERGIES BRUTES QUI SORTENT DE L'EXPLOITATION

ANIMAUX

L'énergie brute des différentes espèces d'animaux et la source des données est présentée ci-dessous.

animaux	MJ / kg vif	sources
Produit vache type viande	15,2	Staufembiehl 93
Produit bovin type viande	13,4	Staufembiehl 93
Produit veau type viande	6,33	Staufembiehl 93
Produit vache type lait	9,08	INRA Theix
Produit bovin type lait	9,08	INRA Theix
Produit veau type lait	6,11	INRA Theix
Produit taureau	9,19	Staufembiehl 93
Produit brebis, agneaux	13,6	hyp : idem porcs
Produit chèvres, chevreaux	6,11	hyp : idem veau
Produit porc, truies	13,6	Jahreif, Schöne, 94
Produit porcelet	14,2	Jahreif, Schöne, 94
Produit poulet, volailles	6,49	Wirthf, 91
Produit lapin	6,49	hyp : idem poulet

**Energie Brute (en MJ/kg poids vif)
contenue dans la viande des animaux d'élevage**

LAIT

L'énergie brute du lait est de 3,145 MJ/kg de lait
Soit : 3,06 MJ/litre.
(Densité du lait : 1,033 kg/litre à 13% de MS (10 % MSU)
Calculé à partir de l'énergie brute : 20 MJ/kg MS (référence FHL)

OEUFS

L'énergie brute des œufs est exprimée par kilogramme : 6,19 MJ / kg (source : FHL).

EFFLUENTS d'ELEVAGE

Il arrive que des exploitations d'élevage vendent ou échangent des effluents d'élevage auprès de fermes sans élevage. Le tableau ci-dessous donne leurs contenus en énergie brute.

Effluents organiques produits	Energie brute MJ / tonne	source
lisier porc bovin	12,37	PLANETE
lisier volaille 15%MS	20,25	PLANETE
fumier bovin	64,00	PLANETE
compost	32,00	PLANETE

PRODUITS VEGETAUX

Pour l'énergie brute des végétaux qui sortent de l'exploitation, on utilise les tables INRA d'alimentation du bétail dont les principaux éléments sont donnés ci-dessous, ainsi que les références de Feinberg et al.

Produits de grandes cultures	Energie brute MJ/unité	unité	sources
blé	15,82	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
blé dur	15,89	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
orge	15,93	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
triticale	16,22	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
avoine	17,45	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
riz	15,56	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
maïs grain	16,21	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
sorgho grain	16,43	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
soja	20,18	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
pois	15,73	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
colza	25,22	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
tournesol	26,13	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
féverolles	15,99	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
lentilles	16,96	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
haricot grain	16,55	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
lupin blanc	18,01	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
lin oléagineux	23,47	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
autres SCOP	15,48	kg brut	SOLAGRO, estimation
betterave sucrière	3,89	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
pomme de terre	3,45	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
betterave fourragère	17,20	kg MS	INRA; %MS * MJ/kgMS
paille	15,93	kg brut	INRA; %MS * MJ/kgMS
herbe	18,40	kg MS	INRA; %MS * MJ/kgMS
maïs ensilage	18,70	kg MS	INRA; %MS * MJ/kgMS
sorgho fourrager	17,80	kg MS	INRA; %MS * MJ/kgMS

Energie brute de différents produits de grandes cultures (tables INRA)

Produits de l'arboriculture et de l'horticulture	Energie brute MJ/unité	unité	sources
Abricot	1,87	kg brut	Feinberg et al, 91
Avocat	9,11	kg brut	Feinberg et al, 91
Cassis	1,75	kg brut	Feinberg et al, 91
Cerise	3,27	kg brut	Feinberg et al, 91
Coing	1,19	kg brut	Feinberg et al, 91
Fraise	1,53	kg brut	Feinberg et al, 91
Framboise	1,73	kg brut	Feinberg et al, 91
Groseille	1,22	kg brut	Feinberg et al, 91
Groseille à maquereau	1,68	kg brut	Feinberg et al, 91
Kiwi	2,42	kg brut	Feinberg et al, 91
Melon	1,14	kg brut	Feinberg et al, 91
Mirabelle	2,78	kg brut	Feinberg et al, 91
Myrtille	2,83	kg brut	Feinberg et al, 91
Mûre	2,43	kg brut	Feinberg et al, 91
Nectarine	2,26	kg brut	Feinberg et al, 91
Olive verte	4,84	kg brut	Feinberg et al, 91
Olive noire	12,12	kg brut	Feinberg et al, 91
Pastèque	1,28	kg brut	Feinberg et al, 91
Poire	2,35	kg brut	Feinberg et al, 91
Pomme	2,18	kg brut	Feinberg et al, 91
Prune	2,23	kg brut	Feinberg et al, 91
Pêche	2,16	kg brut	Feinberg et al, 91
Raisin blanc	3,09	kg brut	Feinberg et al, 91
Raisin noir	2,99	kg brut	Feinberg et al, 91
Rhubarbe	0,76	kg brut	Feinberg et al, 91
Amande	23,79	kg brut	Feinberg et al, 91
Chataigne	7,56	kg brut	Feinberg et al, 91
Noisette	15,76	kg brut	Feinberg et al, 91
Noix	21,7	kg brut	Feinberg et al, 91
Concombre	0,59	kg brut	Feinberg et al, 91
Céleri	0,61	kg brut	Feinberg et al, 91
Courgette	0,63	kg brut	Feinberg et al, 91
Laitue	0,63	kg brut	Feinberg et al, 91
Endive	0,68	kg brut	Feinberg et al, 91
Radis	0,72	kg brut	Feinberg et al, 91
Tomate	0,77	kg brut	Feinberg et al, 91
Bette	1,04	kg brut	Feinberg et al, 91
Chou fleur	1,06	kg brut	Feinberg et al, 91
Asperge	1,08	kg brut	Feinberg et al, 91
Chou rouge	1,09	kg brut	Feinberg et al, 91
Oignon	1,45	kg brut	Feinberg et al, 91
Carotte	1,5	kg brut	Feinberg et al, 91
Poireau	1,69	kg brut	Feinberg et al, 91
Haricot blanc	11,7	kg brut	Feinberg et al, 91
Lentille	13,46	kg brut	Feinberg et al, 91
Pommes de terre	3,58	kg brut	Feinberg et al, 91

Produits de l'arboriculture et de l'horticulture	Energie brute MJ/unité	unité	sources
vin	0,54	kg brut	estimation JLB
ail	1,45	kg brut	hyp =oignons
légumes frais	1,0	kg brut	hyp = moy arrondie des lég frais
fruits frais	2,0	kg brut	hyp = moy arrondie des fruits frais
fruits secs	20,0	kg brut	hyp = moy arrondie des fruits secs
légumes secs	13,0	kg brut	hyp = moy arrondie des lég secs

**Energie brute de différents produits d'arboriculture et horticulture
(Feinberg et al, 91)**

Bibliographie – Références énergétiques

- ADEME, 1997. *Bases de données : Ademe Matériaux d'emballage*. Mars 1997, pp. 56-100.
- AGPB, SNIE, AFME, 1990. *Note de travail « Contenu énergétique des engrais »* 3 p.
- AUDSLEY et al., 1997 – *Harmonization of environmental Life Cycle Analysis for agriculture*. Rapport final, 140 p.
- BEL F., LE PAPE Y., MOLLARD A., 1978. *Analyse énergétique de la production agricole : concepts et méthodes*, Grenoble INRA-IREP, 163 p.
- BONNY S., 1980. *Estimation des consommations énergétiques de quelques productions en systèmes de grande culture et système laitier*. 3^e tirage, INRA-ESR Grignon, 30 p.
- BONNY S., 1984. *Estimation des consommations énergétiques de quelques productions en systèmes de grande culture et système laitier*, INRA-ESR Grignon, (réédition d'un texte paru en 1981 avec remises à jour) 45 p.
- BONNY S. (1986) : "L'énergie et sa crise de 1974 à 1984 dans l'agriculture française", *Tomes 1 et 2*. INRA Grignon, 497 p.
- BONNY S. (1990) : "L'énergie et l'évolution du modèle de production agricole. In : AAF, Deux siècles de progrès pour l'agriculture et l'alimentation", *Tec & Doc Lavoisier, Paris*, 63-69.
- BONNY S. (1993) : "Agriculture : la consommation d'énergie", *Encyclopaedia Universalis, Corpus, vol. 1, 3^e édition*, 601-602.
- BOUVET J. (Ed), (1991) : "Rapport des travaux du groupe de travail n°1", *Rapport final, Commission consultative pour la Production des Carburants de Substitution*.
- BRAND, RA MELMAN A.G. (1993) "Energie in houdmonen voor de veehouderij", deel 1 en 2. TNO-rapporten. Zit. n; Van Dasselaar, A. und Pothoven, R : Energiverbruik in de nedelandese landbow. Vergelijking van verschillende bemestingsstrategien. NMI 1994.
- ("Energie et normes de quantités pour l'élevage " - partie 1 et 2, rapport TNO par Van Dasselaar et Pothoven R : *Consommation d'énergie dans l'agriculture Néerlandaise. Comparaison des différentes stratégies des apports d'engrais (chimiques et de ferme)* NMI 1994).
- BOUVET J. (Ed.), 1991, "Rapport des travaux du groupe de travail n°1", Commission Consultative pour la Production des Carburants de Substitution, Rapport final.
- CARILLON R. (1979) : "L'analyse énergétique de l'acte agricole", *Etudes du CNEEMA*, 458, 48 p.
- CCPCS, 1991. Biocarburants - Bilan énergétique. *Rapport des travaux du groupe de travail n°1*. Paris.
- CEIPAL (1994) : "Etude comparative des consommations d'énergie non renouvelable, d'azote acheté et d'aide financières des systèmes laitiers", *Lyon*, 78 p.
- COMBES A., 1998 - Elaboration d'un référentiel pour le calcul des bilans énergétiques en agriculture. Mémoire de DESS-ERE, Univ. Bourgogne/ENESAD, 50 p. + annexes
- DOERING O.C., 1980, *Accounting for energy in farm machinery and buildings*, in: Pimentel D. (Ed.), "Handbook of energy utilization in agriculture", Boca Raton (Florida), CRC Press Inc., pp. 9-14
- Fédération des Herd-books luxembourgeois FHL (1993), Cf. STOLL J.
- GAILLARD G. (1994) : "Bilan énergétique - considération des machines et des véhicules : fabrication, transport et entretien", Note interne 1 (version provisoire et incomplète), *FAT, Station Fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rura, Tånikon*.
- GAILLARD G., CRETZAZ P. et HAUSHEER J., 1997. *Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale, Base de données pour l'établissement de bilans énergétiques et écologiques en agriculture*. Compte rendu de la FAT, station fédérale de recherches en économie et technologie agricole. , CH-8356 Tånikon TG, 49 p.
- GRYNIA B., MAISON - MARCHEUX C. (1983) : "Etude comparée technique, économique, énergétique d'exploitations agricoles par la méthode de l'approche système. Exemple de systèmes laitiers et porcins de Midi-Pyrénées", *MFE ENSA Toulouse*, 83 p.
- FEDARENE, 1996 - Evaluation guide for renewable energy projects en Europe, UE - Directorate General for energy (DGXVII), ,
- FEINBERG M., FAVIER J.C., IRELAND-RIPERT J., 1991 – *Répertoire général des aliments : tables de composition*. INRA, FFN, CIQUAL, TEC et DOC.
- FLUCK R.C., 1980 – *Fundamentals of energy analysis for agriculture*. Journal Series of Florida Agricultural Experiment Station, Paper nb 2594.
- INRA (1988) : "Alimentation des bovins, caprins, ovins - Table de la valeur nutritive des aliments", 192 p.
- ITCF, 1999. *Référentiel énergétique pour les cultures*. Document provisoire. 53 p.
- LAMBERT L. (1995) : "Bilan énergétique et écologiques de la culture de la combustion de *Miscanthus Sinensis "Giganteus"* en comparaison avec le bois et le fioul domestique", *MFE ESITPA*, 122 p.
- LAMBERT L. ,1996 - *Application de l'analyse de cycle de vie en agriculture, cas des grandes cultures*. Mémoire

de DEA STE, station bioclimatologie INRA Centre de Grignon-Massy-Paris

LAMBERT L., 2000 – *Analyse de la consommation énergétique dans les exploitations agricoles et identification des choix critiques*. Rapport d'étude pour l'ADEME, AILE, 102 p. + annexes

MENEGON M., 1996 - *Analyse énergétique des systèmes céréaliers*, Chambre d'Agriculture de l'Eure - Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan, 123 p.

MERCIER JR (1978) : *Energie et agriculture, le choix écologique* " Ed Débard, Paris 187 p.

MUGHAL A (1994) : "Valorisation intégrée d'agro-ressources non alimentaires : contribution au développement d'une méthode d'analyse énergétique et environnementale basée sur le génie des procédés", *Thèse INPT, Génie des procédés*.

Von OHEIMB R., PONATH J., MANN G., SERGEOIS Chr., WERSCHNITZKY U., WILLER H. (1987) "*Energie und Agrarwirtschaft, Direkter und indirekter Energieeinfluss im agrarischen Erzeugerbereich in der Bundesrepublik Deutschland*", *KTBL-Schrift 320. (Energie et besoins potentiels d'énergie importée en main d'oeuvre directe et indirecte dans l'agriculture en république d'Allemagne)*.

OFEFP (1991), HBERSATTER K. : "Bilan écologique des matériaux d'emballage - Etat en 1990", *Cahier de l'environnement n°132, Déchets; Berne*.

PATYK, 1996. *Balance of energy consumption and emissions of fertilizer production and supply* . In CEUTEURICK, International conference on application of life cycle assessment in agriculture, food and non-food agro-industry and forestry : achievements and prospects. Preprints, 4-5 avril 1996, Bruxelles, pp. 47-67.

Perspectives agricoles, n°266, mars 2001, pp32-36

PIMENTEL D. (1973), HURD L.E et al : " Food production and energy analysis " *Science*, 182, pp 443-449, 1973

PIMENTEL D. (1980) : "Energy inputs for the production, formulation, packing and transport of various pesticides", In : *Handbook of energy utilization in agriculture*", CRC Press, Boca Raton (Florida), S. 45-118.

RISOUD B., 1999 - *Développement durable et analyse énergétique d'exploitations agricoles*. *Economie Rurale*, n° 252, juillet-août 99, pp 16-26.

RISOUD B., CHOPINET B., 1999. Efficacité énergétique et diversité des systèmes de production agricole. Application à des exploitations agricoles bourguignonnes. *Ingénieries - EAT- n° 20*, déc. 1999. pp. 17 à 25

ROSSIER D., 1999 – *L'écobilan, outil de gestion écologique de l'exploitation agricole ?* *Revue Suisse d'Agriculture*. 31 (4) : pp 179-185

ROSSIER D., 2000 – *Evaluation simplifiée de l'impact environnemental potentiel de l'agriculture suisse*. – Office fédéral de l'agriculture, SRVA, 36 p + annexes.

Secrétariat d'état à l'industrie, 1998. *Consommations unitaires d'énergie des transports de marchandises* . In *Tableaux des consommations d'énergie en France*. Ed. 1997-98, page 118.

STOLL J. (1993) : "Réflexions à propos d'une nouvelle orientation de l'agriculture", *Fédération des Herd-books Luxembourgeois*, 12 p.

VERJUX N., COMBES A., 1999. *Référentiel énergétique pour les cultures*. Document provisoire. ITCF. 53 p.

ZEIJTS H VAN, OOSREVELD EB, TIMMERMAN (1994) " Can agriculture provide clean energy? (En hollandais). *Center for agriculture and Environment (=CLM) report 156, Utrecht*.

ANNEXES au référentiel énergétique

- Annexe A Estimation des dépenses énergétiques des aliments composés.
- Annexe B Illustration du calcul de l'énergie dépensée pour les fourrages grossiers et autres aliments importés.
- Annexe C Détails des chiffres retenus pour l'évaluation des consommations énergétiques des itinéraires techniques de production de prairies temporaires, maïs ensilage et luzerne.
- Annexe D Référentiel de la fédération des Herd-Books Luxembourgeois pour les aliments et fourrages grossiers.
- Annexe E Données de base pour le calcul de l'énergie d'amortissement du matériel

Annexe A. Énergie non renouvelable nécessaire au transport de l'alimentation animale

Nous nous sommes basés sur les données de " Agreste, Les matières premières de l'alimentation animale, 1995 ".

La méthode d'estimation de l'énergie non renouvelable nécessaire au transport est la suivante:

- recherche de l'origine des principaux produits importés
- estimation de la composition moyenne des trois types d'alimentation : herbivores, porcs et volailles et déduction des coût de transport par cargo
- découpage de la France en 5 grandes régions par rapport aux ports d'approvisionnement et estimation d'un kilométrage moyen de transport par camion jusqu'à l'usine.

**Composition moyenne en matières premières importées et non importées (%)
des différents types d'alimentation**

Matières premières	Type d'alimentation		
	HERBIVORES	PORCS	VOLAILLES
Tourteau de soja importé	18,75	12,22	11,80
Manioc importé	0,38	6,08	1,52
Corn Gluten Feed importé	2,90	1,86	0,76
Melasse importée	2,10	1,35	0,55
Tourteau de tournesol importé	1,66	1,08	1,04
Farine de poisson importée	0,13	0,25	0,73
Pulpes d'agrumes importées	2,27	0,45	0,39
Céréales non importées	23,10	33,60	47,40
Divers non importés	33,79	33,38	26,42
<i>% importés</i>	43	33	26
<i>% non importés</i>	57	67	74
Energie fossile consommée pour le transport par cargo	0,646 MJ/kg brut	0,604 MJ/kg brut	0,410 MJ/kg brut

Par exemple, dans un aliment herbivore, il y a en moyenne 43% des matières premières qui sont importées et 57% qui viennent de France. Dans ces 43%, le tourteau de soja du Brésil représente 18,75% soit un coût de transport de 2,325 MJ/kg etc.

Annexe B. Énergie non renouvelable nécessaire à la culture, à la récolte et au conditionnement des fourrages grossiers

Nous avons utilisé les travaux de Ménégon, de Bouvet et de la FHL, sachant que :

- pour le blé, nous avons réparti le coût total énergétique entre la paille et le grain en affectant au prorata des valeurs énergétiques brutes contenues dans le grain et dans la paille (60% et 40%),

- pour les cultures pour lesquelles nous ne possédions pas de références énergétiques récentes, nous avons utilisé les données de la FHL. Dans ce référentiel, il n'y a qu'une seule valeur pour la production quelque soit la culture : 4,8 MJ/kg de MS auquel, on ajoute un coût fixe de déshydratation, un coût de conditionnement ou un coût de trituration.

Par exemple, pour la luzerne déshydratée, la FHL donne 4,8 MJ/kg pour 90% de MS et 0,075MJ/kg pour le coût de conditionnement en farine avec séchage partiel, soit :

$$(4,8 + 0,075) \times 0,90 = 4,39$$

Annexe C. Évaluation des consommations énergétiques des itinéraires techniques de production de prairies temporaires, maïs ensilage et luzerne

CEIPAL, 2001

Mise en place				Retenus
				1820 MJ/ha
Labour				
Tracteur 80 Cv 4	2 h	45	90	
RM				
Charrue 3 socs	1 ha	98	98	1816
Fuel : 20 l/h	40 l	40,7	1628	
Travail du sol				650 MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4	0,5 h	45	22,5	
RM				
Herse rotative 4 m	1 ha	217	217	646,5
Fuel : 20 l/h	10 l	40,7	407	
Semis céréales				370 MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4	0,5 h	45	22,5	
RM				
Semoir céréales 4 m	1 ha	38	38	365,75
Fuel : 15 l/h	7,5 l	40,7	305,25	
Semis maïs				390 MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4	0,5 h	45	22,5	
RM				
Semoir 6 rangs	1 ha	62	62	389,75
Fuel : 15 l/h	7,5 l	40,7	305,25	
Roulage				290 MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4	0,5 h	45	22,5	
RM				
Rouleau 4 m	1 ha	60	60	286
Fuel : 10 l/h	5 l	40,7	203,5	
Semences				
PN	0 h	9,4	0 MJ/ha	
PT graminées	25 kg	9,4	235 MJ/ha	
PT mélange	30 kg	9,4	282 MJ/ha	
Céréales	120 kg	8	960 MJ/ha	
Céréales	150 kg	8	1200 MJ/ha	
Soja	kg	7	MJ/ha	
Maïs	2 dos	16,2	32,4 MJ/ha	
	es			

Culture

				Retenus
Epandage engrais				160 MJ/ha
Tracteur 60 Cv 2 RM	0,25 h	40	10	
Epandeur 18 m	1 ha	48	48	159,75
Fuel : 10 l/h	2,5 l	40,7	101,75	
Epandage lisier				930 MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4 RM	1,33 h	45	59,85	
Tonne à lisier 6000 L	1 ha	343	343	931,95
Fuel : 10 l/h	13 l	40,7	529,1	
Epandage fumier				1310 MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4 RM	1,33 h	45	59,85	
Epandeur 7 T	1 ha	398	398	
Fuel : 10 l/h	13,3 l	40,7	541,31	
Tracteur 60 Cv 2 RM	0,67 h	40	26,8	
Chargeur	1 h	7	7	1305,65
Fuel : 10 l/h	6,7 l	40,7	272,69	
Epandage compost				MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4 RM	0,67 h	45	30,15	
Epandeur 7 T	1 ha	398	398	
Fuel : 10 l/h	6,7 l	40,7	272,69	
Tracteur 60 Cv 2 RM	0,33 h	40	13,2	
Chargeur	1 h	7	7	855,35
Fuel : 10 l/h	3,3 l	40,7	134,31	
Tracteur 120 Cv 4 RM				
Composteuse				
Fuel Déplacement				
Fuel Compostage				
Traitement phytosanitaires				140 MJ/ha
Tracteur 60 Cv 2 RM	0,25 h	40	10	
Pulvérisateur 1000 L	1 ha	25	24	135,75
Fuel : 10 l/h	2,5 l	40,7	101,75	
Apport CaO : 1200 kg/ 3 ans				900 MJ/ha
Tracteur 100 Cv 4 RM	0,07 h	58	4,06	
Epandeur	0,3 ha	38	11,4	904,16
Fuel : 15 l/h	1 l	40,7	40,7	
CaO	400 kg	2,12	848	

Récolte					
	Fauche			Retenu	
					850 MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4 RM	0,75 h	45	33,75		
Barre de coupe conditionneuse 3m	1 ha	203	203	847,25	
Fuel : 20 l/h	15 l	40,7	610,5		
	Fanage				280 MJ/ha
Tracteur 60 Cv 2 RM	0,5 h	40	20		
Pirouette 4 m	2 ha	27	54	277,5	
Fuel fanage : 10 l/h	5 l	40,7	203,5		
	Andainage				380 MJ/ha
Tracteur 60 Cv 2 RM	0,5 h	40	20		
Giroandaineur	2 ha	80	160	383,5	
Fuel : 10 l/h	5 l	40,7	203,5		
	Bottelage				950 MJ/ha
Tracteur 80 Cv 4 RM	0,75 h	45	33,75		
Presse BR 1,2 m	1 ha	458	458	949,625	
Fuel : 15 l/h	11,25 l	40,7	457,875		
	Chargement - Déchargement				590 MJ/ha
Tracteur 60 Cv 2 RM	1 h	40	40		
Chargeur	1 ha	7	7	587	
Remorque 6 T	1 ha	133	133		
Fuel : 10 l/h	10 l	40,7	407		
Total fenaison par coupe					3050 MJ/ha
	Ensilage herbe				3810 MJ/ha
Ensileuse herbe 300 Cv	0,75 h	372	279		
Fuel : 50 l/h	37,5 l	40,7	1526,25		
Tracteur 80 Cv 4 RM	2,25 h	45	101,25		
Benne 8 T	3 ha	210	630		
Fuel : 10 l/ha	22,5 l	40,7	915,75	3811,6	
Tracteur 80 Cv 4 RM	0,75 h	45	33,75		
Fourche ensilage	PM				
Fuel : 10 l/h	8 l	40,7	325,6		
	Ensilage maïs				4860 MJ/ha
Ensileuse maïs 300 Cv 4 rangs	1 h	391	391		
Fuel : 50 l/h	50 l	40,7	2035		
Tracteur 80 Cv 4 RM	3 h	45	135		
Benne 8 T	3 ha	210	630		
Fuel : 10 l/h	30 l	40,7	1221	4864	
Tracteur 80 Cv 4 RM	1 h	45	45		
Fourche ensilage	PM				
Fuel : 10 l/h	10 l	40,7	407		
	Moisson				1700 MJ/ha
Moissonneuse 170-200 ch	1 h	353	353		
Fuel : 25 l/h	25 l	40,7	1017,5		
Tracteur 80 Cv 4 RM	0,25 h	45	11,25	1693,5	
Benne 8 T	1 ha	210	210		
Fuel : 10 l/h	2,5 l	40,7	101,75		

Itinéraires par culture**PT graminées 4 ans**

Rdt : 7 T MS/ha

1 apport de lisier

2 passages azote de 50 kg/ha

Labour	0,25	1820	455
Travail du sol	0,25	650	162,5
Semis	0,25	370	92,5
Roulage	0,25	290	72,5
Semences	0,25	235	58,75
Epannage lisier	1	930	930
Epannage engrais	2	160	320
Azote	100	52,6	5260
Chaulage	1	900	900
Total			8251,25
soit			1,18 MJ / kg MS

Maïs

Rdt : 12 T MS/ha

1 binaire (400 kg de 15.30)

2 passages azote 60 kg

1 herbicide

1 insecticide

Labour	1	1820	1820
Travail du sol	1	650	650
Semis	1	390	390
Roulage	1	290	290
Semences	1	32,4	32,4
Epannage engrais	3	160	480
Azote	120	52,6	6312
Phosphore	60	15,55	933
Potasse	80	12,1	968
Traitement phytos	2	140	280
Insecticide	0,5	359	179,5
Herbicide	0,5	414	207
Chaulage	1	900	900
Total			13441,9
soit			1,12 MJ / kg MS

Luzerne (foin)

Rdt : 10 T MS/ha

1 binaire : 300 kg de 20.30

1 Kcl : 200 kg de 60%

1 anti-limace

Labour	0,25	1820	455
Travail du sol	0,25	650	162,5
Semis	0,25	370	92,5
Roulage	0,25	290	72,5
Semences	0,25	282	70,5
Epannage engrais	2	160	320
Azote	0	52,6	0
Phosphore	60	15,55	933
Potasse	210	12,1	2541
Chaulage	1	900	900
Traitement phyto	1	140	140
Phytos	5	288	1440
Total			7127
soit			0,71 MJ / kg MS

Annexe D. Référentiel de la Fédération des Herd-Books Luxembourgeois pour l'alimentation

La FHL a considéré une valeur unique pour la production, quelle que soit la culture : 4,8 MJ/kg de MS, à laquelle on ajoute un coût fixe de déshydratation, un coût de conditionnement ou un coût de trituration par exemple.

Pour chaque culture, il faut donc calculer le coût énergétique de production et de fabrication en le ramenant au poids frais.

Les énergies fixes de fabrication retenues sont les suivantes :

type de fabrication	MJ/kg sec
farine sans séchage	0,056
farine avec séchage partiel	0,075
granulés sans séchage	0,144
granulés avec séchage partiel	0,524
séchage de quantités importantes	0,13
passage de la farine aux granulés	0,09

Nature	Minéraux kg/Qx			Energie brute MJ/kg de MS	% MS	Energie pour production, et fabrication MJ/kg MS
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Fèves	4,2	1,2	1,4	16,8	88	4,8+0,13
Malt de bière	1,0	0,39	-	5,4	26	0
Tourteau de coton issu de la semence décortiquée	7,1	2,0	0,18	18	90	4,8+0,075
Orge de brasserie	1,8	0,8	0,6	15,8 11 % teneur en protéine	88	4,8
Pois	3,6	1,1	1,4	16,5	88	0,48+0,011+0,013
Sous produit du blé = semoule blé dur	1,9	2,0	1,0	16	88	4,8+0,075
Orge (hiver)	1,7	0,8	0,6	16	88	4,8
Orge (été)	1,9	0,8	0,6	15,8	88	4,8
Orge (brasserie)	1,8	0,8	0,6	15,8	88	4,8
Farine de poisson	11,2	4,6	2,7	19,2	90	4,8+0,075
Avoine	1,7	0,8	0,6	16,5	88	4,8
Foin 1ère coupe fauchée au stade optimal	2,0	0,8	2,8	15,6	86	4,8
Foin de luzerne 1ère coupe début	2,2	0,65	3,0	15,8	86	4,8

Source : Université Hohenheim - Allemagne

Nature	Minéraux kg/Qx			Energie brute MJ/kg de MS	%MS	Energie pour production, et fabrication MJ/kg de MS
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Foin de mélange Luzerne et graminée (début épiaison 1ère coupe)	2,2	0,7	3,0	15,8	86	4,8
Foin de mélange graminée- trèfle (1ère coupe floraison)	1,8	0,65	2,9	15,7	86	4,8
Pomme de terre en moyenne	0,34	0,15	0,50	} 3,7 ()	22	4,8
précoce	0,4	0,16	0,6			
normale	0,32	0,15	0,5			
tardive	0,3	0,14	0,44			
Carotte tardive	0,16	0,07	0,43	1,8	11	4,8
Farine de luzerne déshydratée	2,9	0,64	2,5	16,1	90	4,8+0,075
Poireau	0,3	0,08	0,37	?		4,8
Farine de lin	5,5	2,2	0,18	17,4	89	4,8+0,075
Tourteau de lin	5,4	1,9	1,4	18,2	90	4,8+0,075
Maïs grain	1,5	0,8	0,5	16,3	88	4,8
Maïs ensilage avec % MS						
25 % MS						
27 % MS	0,33	0,14	0,41	4,6	25	4,8
32 % MS	0,39	0,15	0,43	4,6	27	4,8
35 % MS	0,41	0,17	0,46	5,9	32	4,8
	0,48	0,18	0,48	6,4	35	4,8
Flocon de maïs	1,4	1,1	0,3	16	88	4,8+0,524
Farine de maïs	1,7	1,1	0,23	17	89	4,8+0,075
Gluten feed						
23 % protéine	3,2	1,8	0,16	16,8	90	4,8+0,075
23-30 % protéine	3,7	1,8	0,16	16,9	89	4,8+0,075
Maïs grain						
avec l'épi et spath	1,2	0,62	0,72	15,8	88	4,8+0,075
sans spath	1,4	0,46	0,72	16,2	88	4,8+0,075

Source : Université Hohenheim - Allemagne

Nature	Minéraux kg/Qx			Energie brute MJ/kg de MS	%MS	Energie pour production, et fabrication MJ/kg de MS
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Melasse de betterave	1,6	0,19	5,5	12,2	77	4,8
Melasse de canne à sucre	0,58	0,19 0,23	5,5	11,0	74	4,8
Poudre de lait	5,6	2,5	1,6	17,3	96	0,13
Germe de malt	4,4	1,6	2,3	17,1	92	4,8+0,09
Aliment concentré >50 % venant d'outre atlant. (cf tab)	2	1,2- 1,6	0,3	15,5	90	4,8+0,524
Huile de lin	3,5	1,2	1,0	22,3	88	4,8+0,09
Colza	3,2	1,8	1,0	23,7	88	4,8+0,13
Tourteau de colza	5,8	2,3	1,6	17,4	89	4,8+0,075
Seigle	1,6	0,8	0,6	15,8	88	4,8
Betterave						
demi-sucrière	0,2	0,09	0,5	2,4	15	4,8
fourragère	0,18	0,09	0,5	1,9	12	4,8
rouge	0,23	0,11	0,49	?		4,8
Drêche de betterave fraîche humide	0,009	0,02	0,14	2,9	16	4,8
Betterave sucrière	1,8	0,1	0,8	15,3	90	4,8+0,13
pulpe de betterave déshydratée	1,4	0,1	0,8	16,0	90	4,8+0,13
Huile de soja	-	-	-	36,2	90	4,8+0,09
Tournesol						
semence	2,7	1,6	2,4	22,7	88	4,8+0,13
tourteau	6,7			17,9	91	4,8+0,075

Source : Université Hohenheim - Allemagne

Nature	Minéraux kg/Qx			Energie brute MJ/kg de MS	%MS	Energie pour production, et fabrication MJ/kg de MS
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O			
Celeri	0,29	0,15	0,64	?		4,8
Paille blé, triticales traité à l'ammoniac	0,50 1,2 0,52	0,18 0,18 0,18	1,2 1,2 1,2	15,4 15,8 15,1	86 86 86	4,8 4,8 4,8
Paille d'avoine	0,49	0,3	2,3	15,6	86	4,8
Paille d'orge	0,52	0,16	1,8	15,7	86	4,8
Farine de soja	7,9	1,8	2,62	17,9	89	4,8+0,075
Poudre de Lait améliorée (procédé de séchage)	3,2	2,0	1,2	17,3	96	0,13
Graisse animale (suif)	-	-	-	36,2	99	0
Son de blé	2,5	2,0	1,4	16,0	88	4,8+0,524
Blé	1,9	0,8 0,7	0,6 0,5	16,0	88	4,8
Oignons séchés	0,19	0,06	0,17	?		
Triticale	2	0,8	0,6	16,0	88	4,8
Oeuf	1,8	0,5	0,1	6,2	0,62	-
Viande Taureau Vache Genisse Veau Porc Porcelet Poulet	2,6 2,6 2,6 2,6 2,5 2,6 3,2	1,6 1,6 1,6 1,6 1,2 1,1 1,2	0,2 0,2 0,2 0,2 0,2 0,2 0,18	92 151 134 63 133 143 65		
Lait	?	2,2	1,8	2,9		-

Source : Université Hohenheim - Allemagne

**Annexe E. Données de base pour le calcul de l'énergie d'amortissement du matériel
(MJ / unité de travail) source : FDCUMA de Mayenne**

Type de matériel	caractéristiques					classe de matériel	énergie		
	unité de travail	Poids standard	Durée de vie	Utilis ⁿ normale / an	Util. Totale		MJ totaux	MJ / an	MJ / unité travail
Tracteurs		1	2	3	4		5 = 1 x MJ/kg	6 = 5 / 2	selon /an ou /h ou /ha
tract 2 RM 50 ch	h	2 800 kg	12 ans	600 h	7 200 h	1b	267 960	22 330	37
tract 2 RM 60 ch	h	2 900 kg	12 ans	600 h	7 200 h	1b	277 530	23 128	39
tract 2 RM 70 ch	h	3 200 kg	12 ans	600 h	7 200 h	1b	306 240	25 520	43
tract 2 RM 80 ch	h	3 500 kg	12 ans	600 h	7 200 h	1b	334 950	27 913	47
tract 4 RM 60 ch	h	3 200 kg	12 ans	600 h	7 200 h	1a	294 080	24 507	41
tract 4 RM 70 ch	h	3 500 kg	12 ans	600 h	7 200 h	1a	321 650	26 804	45
tract 4 RM 80 ch	h	3 800 kg	12 ans	650 h	7 800 h	1a	349 220	29 102	45
tract 4 RM 90 ch	h	4 400 kg	12 ans	650 h	7 800 h	1a	404 360	33 697	52
tract 4 RM 100 ch	h	4 900 kg	12 ans	650 h	7 800 h	1a	450 310	37 526	58
tract 4 RM 110 ch	h	5 100 kg	12 ans	675 h	8 100 h	1a	468 690	39 058	58
tract 4 RM 120 ch	h	5 300 kg	12 ans	700 h	8 400 h	1a	487 070	40 589	58
tract 4 RM 130 ch	h	5 500 kg	10 ans	700 h	7 000 h	1a	505 450	50 545	72
tract 4 RM 140 ch	h	5 700 kg	10 ans	750 h	7 500 h	1a	523 830	52 383	70
tract 4 RM 150 ch	h	6 000 kg	10 ans	750 h	7 500 h	1a	551 400	55 140	74
tract 4 RM 160 ch	h	6 250 kg	10 ans	760 h	7 600 h	1a	574 375	57 438	76
tract 4 RM 170 ch	h	6 500 kg	10 ans	775 h	7 750 h	1a	597 350	59 735	77
tract 4 RM 180 ch	h	6 750 kg	10 ans	800 h	8 000 h	1a	620 325	62 033	78
tract 4 RM 200 ch	h	7 000 kg	10 ans	825 h	8 250 h	1a	643 300	64 330	78

Outil de travail du sol	unité de travail	Poids standard	Durée de vie	Utilis ⁿ normale / an	Util. Totale	classe / énergie	MJ totaux	MJ / an	MJ / unité travail
charrue 2 corps	ha	600 kg	15 ans	20 ha	300 ha	2	59 520	3 968	198
charrue 3 corps	ha	890 kg	15 ans	60 ha	900 ha	2	88 288	5 886	98
charrue 4 corps	ha	1 140 kg	15 ans	75 ha	1 125 ha	2	113 088	7 539	101
charrue 5 corps	ha	1 350 kg	12 ans	120 ha	1 440 ha	2	133 920	11 160	93
charrue 6 corps	ha	3 000 kg	12 ans	150 ha	1 800 ha	2	297 600	24 800	165
charrue 7 corps et +	ha	3 500 kg	12 ans	180 ha	2 160 ha	2	347 200	28 933	161
cover crop 20 disques	ha	1 500 kg	15 ans	30 ha	450 ha	2	148 800	9 920	331
cover crop 24 disques	ha	2 200 kg	15 ans	60 ha	900 ha	2	218 240	14 549	242
cover crop 32 disques	ha	3 200 kg	15 ans	100 ha	1 500 ha	2	317 440	21 163	212
cover crop 36 disques	ha	3 600 kg	15 ans	130 ha	1 950 ha	2	357 120	23 808	183
cultivateur 2 m	ha	390 kg	15 ans	15 ha	225 ha	2	38 688	2 579	172
cultivateur 2,5 m	ha	420 kg	15 ans	25 ha	375 ha	2	41 664	2 778	111
cultivateur 3 m	ha	455 kg	15 ans	50 ha	750 ha	2	45 136	3 009	60
cultivateur 4,5 m	ha	550 kg	15 ans	75 ha	1 125 ha	2	54 560	3 637	48
décompacteur 3 dents	ha	900 kg	15 ans	30 ha	450 ha	2	89 280	5 952	198
décompacteur 5 dents	ha	1 150 kg	15 ans	50 ha	750 ha	2	114 080	7 605	152
décompacteur 7 dents	ha	1 500 kg	15 ans	70 ha	1 050 ha	2	148 800	9 920	142
herse alternative 2,5 m	ha	900 kg	10 ans	40 ha	300 ha	2	89 280	2 513	298
herse alternative 3 m	ha	1 100 kg	8 ans	60 ha	480 ha	2	109 120	13 640	227
herse alternative 4 m	ha	1 400 kg	8 ans	80 ha	640 ha	2	138 880	17 360	217
herse alternative 4,5 m	ha	1 550 kg	8 ans	130 ha	1 040 ha	2	153 760	19 220	148
herse plate 4 - 5 m	ha	500 kg	15 ans	40 ha	600 ha	2	49 600	3 307	83
herse plate 6 m et +	ha	900 kg	15 ans	80 ha	1 200 ha	2	89 280	5 952	74
herse rotative 2,5 m	ha	1 100 kg	8 ans	50 ha	400 ha	2	109 120	13 640	273
herse rotative 3 m	ha	1 300 kg	8 ans	80 ha	640 ha	2	128 960	16 120	202
herse rotative 4 m	ha	1 750 kg	8 ans	100 ha	800 ha	2	173 600	21 700	217
herse rotative 4,5 m	ha	1 900 kg	8 ans	120 ha	960 ha	2	188 480	23 560	196
rouleau 3 m	ha	400 kg	20 ans	20 ha	400 ha	2	39 680	1 984	99
rouleau 4 m	ha	600 kg	20 ans	50 ha	1 000 ha	2	59 520	2 976	60
vibroculteur 2,5 m	ha	380 kg	15 ans	20 ha	300 ha	2	37 696	2 513	126
vibroculteur 3 m	ha	425 kg	15 ans	40 ha	600 ha	2	42 160	2 811	70
vibroculteur 4 m	ha	770 kg	15 ans	70 ha	1 050 ha	2	76 384	5 092	73
vibroculteur 4,5 m	ha	900 kg	15 ans	100 ha	1 500 ha	2	89 280	5 952	60

Semoirs	unité de travail	Poids standard	Durée de vie	Utilis ⁿ normale / an	Util. Totale	classe / énergie	MJ totaux	MJ / an	MJ / unité travail
semoir céréales 2,5 m	ha	400 kg	15 ans	40 ha	600 ha	3	38 160	2 544	64
semoir céréales 3 m	ha	450 kg	15 ans	60 ha	900 ha	3	42 930	2 862	48
semoir céréales 4 m	ha	600 kg	15 ans	100 ha	1 500 ha	3	57 240	3 816	38
semoir céréales 4,5 m	ha	700 kg	15 ans	120 ha	1 800 ha	3	66 780	4 452	37
semoir monograine 12 rangs	ha	1 490 kg	12 ans	120 ha	1 440 ha	3	142 146	11 846	99
semoir monograine 4 rangs	ha	470 kg	12 ans	60 ha	720 ha	3	44 838	3 737	62
semoir monograine 6 rangs	ha	620 kg	12 ans	80 ha	960 ha	3	59 148	4 929	62
semoir monograine 9 rangs	ha	1 200 kg	12 ans	100 ha	1 200 ha	3	114 480	9 540	95

Epandeurs et pulvérisateurs	unité de travail	Poids standard	Durée de vie	Utilis ⁿ normale / an	Util. Totale	classe / énergie	MJ totaux	MJ / an	MJ / unité travail
ép engrais 12 m	ha	450 kg	10 ans	50 ha	500 ha	3	42 930	4 293	86
ép engrais 18 m	ha	500 kg	10 ans	100 ha	1 000 ha	3	47 700	4 770	48
ép engrais 24 m	ha	600 kg	10 ans	150 ha	1 500 ha	3	57 240	5 724	38
ép engrais pneumatiq 12 m	ha	650 kg	10 ans	70 ha	700 ha	3	62 010	6 201	89
ép engrais pneumatiq 18 m	ha	850 kg	10 ans	100 ha	1 000 ha	3	81 090	8 109	81
ép fumier 10 tonnes	ha	3 800 kg	12 ans	80 ha	960 ha	3	362 520	30 210	378
ép fumier 4 - 5 tonnes	ha	1 500 kg	12 ans	30 ha	360 ha	3	143 100	11 925	398
ép fumier 7 tonnes pulvé 1000 lit	ha	2 500 kg	12 ans	50 ha	600 ha	3	238 500	19 875	398
pulvé 1200 lit	ha	250 kg	10 ans	100 ha	1 000 ha	3	23 850	2 385	24
pulvé 1200 lit	ha	500 kg	10 ans	100 ha	1 000 ha	3	47 700	4 770	48
pulvé 2500 lit trainé	ha	800 kg	10 ans	100 ha	1 000 ha	3	76 320	7 632	76
pulvé 600 litres	ha	100 kg	10 ans	100 ha	1 000 ha	3	9 540	954	10
pulvé 800 lit	ha	150 kg	10 ans	100 ha	1 000 ha	3	14 310	1 431	14
pulvé automoteur >3000 l	ha	4 500 kg	8 ans	200 ha	1 600 ha	3	375 750	46 969	235
tonne lisier 10 000 litres	ha	4 000 kg	10 ans	130 ha	1 300 ha	3	381 600	38 160	294
tonne lisier 6 000 litres	ha	1 800 kg	10 ans	50 ha	500 ha	3	171 720	17 172	343
tonne lisier 8 000 litres	ha	2 600 kg	10 ans	80 ha	800 ha	3	248 040	24 804	310

Outils de récolte foin et paille	unité de travail	Poids standard	Durée de vie	Utilis ⁿ normale / an	Util. Totale	classe / énergie	MJ totaux	MJ / an	MJ / unité travail
broyeur végétaux 2,5 m	ha	960 kg	10 ans	100 ha	1 000 ha	3	91 584	9 158	92
broyeur végétaux 3 m	ha	1 200 kg	10 ans	130 ha	1 300 ha	3	114 480	11 448	88
enrubanneuse en ligne	ha	5 000 kg	7 ans	150 ha	1 050 ha	3	477 000	68 143	454
enrubanneuse portée	ha	800 kg	10 ans	50 ha	500 ha	3	76 320	7 632	153
enrubanneuse semi-portée	ha	1 300 kg	10 ans	70 ha	700 ha	3	124 020	12 402	177
ensilseuse trainée 1 à 1,5 m	ha	560 kg	10 ans	50 ha	500 ha	3	53 424	5 342	107
faneuse 2,5 m	ha	250 kg	10 ans	80 ha	800 ha	3	23 850	2 385	30
faneuse 3 m	ha	300 kg	10 ans	120 ha	1 200 ha	3	28 620	2 862	24
faneuse 3,5 m	ha	400 kg	10 ans	150 ha	1 500 ha	3	38 160	3 816	25
faneuse 4 m	ha	500 kg	10 ans	180 ha	1 800 ha	3	47 700	4 770	27
fauch - cond 2,5 m	ha	1 300 kg	10 ans	40 ha	400 ha	3	124 020	12 402	310
fauch - cond 2,8 m	ha	1 500 kg	10 ans	60 ha	600 ha	3	143 100	14 310	239
fauch - cond 3 m	ha	1 700 kg	10 ans	80 ha	800 ha	3	162 180	16 218	203
presse big ball 120 x 120	ha	8 600 kg	7 ans	200 ha	1 400 ha	3	820 440	117 206	586
presse big ball 80 x 80	ha	6 200 kg	7 ans	150 ha	1 050 ha	3	591 480	84 497	563
presse BR 1,2 x 1,2 m	ha	2 400 kg	10 ans	50 ha	500 ha	3	228 960	22 896	458
presse BR 1,2 x 1,6 m	ha	2 600 kg	10 ans	80 ha	800 ha	3	248 040	24 804	310
remorq autochargeuse 25 m3	ha	2 000 kg	8 ans	50 ha	400 ha	3	190 800	23 850	477
remorq autochargeuse 28 m3	ha	2 300 kg	8 ans	70 ha	560 ha	3	219 420	27 428	392
remorq autochargeuse 35 m3	ha	3 200 kg	8 ans	100 ha	800 ha	3	305 280	38 160	382
remorq autochargeuse 40 m3	ha	3 800 kg	8 ans	130 ha	1 040 ha	3	362 520	45 315	349
arracheuse betteraves	ha	2 500 kg	12 ans	75 ha	900 ha	3	238 500	19 875	265
effeuilleuse betteraves	ha	1 500 kg	12 ans	75 ha	900 ha	3	143 100	11 925	159
chargeuse betteraves	ha	2 000 kg	12 ans	75 ha	900 ha	3	190 800	15 900	212
faneuse 5,20 m	ha	700 kg	10 ans	200 ha	2 000 ha	3	66 780	6 678	33

Automoteurs / récolte	unité de travail	Poids standard	Durée de vie	Utilis ⁿ normale / an	Util. Totale	classe / énergie	MJ totaux	MJ / an	MJ / unité travail
ensileuse herbe 220 ch	ha	6 800 kg	7 ans	200 ha	1 400 ha	1c	567 800	81 114	406
ensileuse herbe 300 ch	ha	7 800 kg	7 ans	250 ha	1 750 ha	1c	651 300	93 043	372
ensileuse herbe 360 ch	ha	8 500 kg	7 ans	280 ha	1 960 ha	1c	709 750	101 393	362
ensileuse herbe 400 ch	ha	9 000 kg	7 ans	320 ha	2 240 ha	1c	751 500	107 357	335
ensileuse maïs 220 ch	ha	7 200 kg	7 ans	200 ha	1 400 ha	1c	601 200	85 886	429
ensileuse maïs 300 ch	ha	8 200 kg	7 ans	250 ha	1 750 ha	1c	684 700	97 814	391
ensileuse maïs 360 ch	ha	9 000 kg	7 ans	300 ha	2 100 ha	1c	751 500	107 357	358
ensileuse maïs 450 ch	ha	12 000 kg	7 ans	400 ha	2 800 ha	1c	1 002 000	143 143	358
moiss-batt 120 - 150 ch	ha	8 500 kg	15 ans	100 ha	1 500 ha	1c	709 750	47 317	473
moiss-batt 170 - 200 ch	ha	9 500 kg	15 ans	150 ha	2 250 ha	1c	793 250	52 883	353
moiss-batt 230 ch	ha	11 000 kg	15 ans	200 ha	3 000 ha	1c	918 500	61 233	306
Matériel d'élevage et divers	unité de travail	Poids standard	Durée de vie	Utilis ⁿ normale / an	Util. Totale	classe / énergie	MJ totaux	MJ / an	MJ / unité travail
applatisseur	an	200 kg	15 ans			3	19 080	1 272	1 272
cellule stockage grain	an	1 500 kg	15 ans			3	143 100	9 540	9 540
dessileuse mélangeuse 12 m3	an	5 200 kg	6 ans			3	496 080	82 680	82 680
dessileuse mélangeuse 8 m3	an	4 200 kg	6 ans			3	400 680	66 780	66 780
dessileuse pailleuse 3 m3	an	1 400 kg	8 ans			3	133 560	16 695	16 695
dessileuse pailleuse 5 m3	an	1 800 kg	8 ans			3	171 720	21 465	21 465
dessileuse portée 1,5 m3	an	590 kg	8 ans			3	56 286	7 036	7 036
dessileuse portée 1,8 m3	an	650 kg	8 ans			3	62 010	7 751	7 751
dessileuse semi-portée 3,5 m3	an	1 200 kg	8 ans			3	114 480	14 310	14 310
dessileuse semi-portée 5 m3	an	1 400 kg	8 ans			3	133 560	16 695	16 695
machine à traire	an	500 kg	8 ans			3	47 700	5 963	5 963
tank à lait 3000 litres	an	1 000 kg	8 ans			3	95 400	11 925	11 925
ventilateur refroidissement	an	25 kg	12 ans			3	2 385	199	199
ventilateur séchage	an	250 kg	12 ans			3	23 850	1 988	1 988
Transports	unité de travail	Poids standard	Durée de vie	Utilis ⁿ normale / an	Util. Totale	classe / énergie	MJ totaux	MJ / an	MJ / unité travail
voiture utilitaire léger	an	800 kg	12 ans			1c	66 800	5 567	5 567
camion 3-5 tonnes	an	2 000 kg	12 ans			1c	167 000	13 917	13 917
camion 10 tonnes	an	4 000 kg	12 ans			1c	334 000	27 833	27 833
camion 20 tonnes	an	6 000 kg	12 ans			1c	501 000	41 750	41 750
chargeur télescopique	an	4 000 kg	12 ans			1c	334 000	27 833	27 833
remorque 6 T	an	1 400 kg	15 ans			3	133 560	8 904	8 904
remorque 8 T	an	2 200 kg	15 ans			3	209 880	13 992	13 992
remorque 10 T	an	2 800 kg	15 ans			3	267 120	17 808	17 808
remorque 12 T	an	3 500 kg	15 ans			3	333 900	22 260	22 260
remorque 18 T	an	4 000 kg	15 ans			3	381 600	25 440	25 440

Références et discussion sur les émissions de gaz à effet de serre

Dans le cadre de la convention cadre des Nations Unies sur le changement climatique, le protocole de Kyoto adopté le 10 décembre 1997 prévoit pour l'ensemble des pays industrialisés une réduction ou stabilisation des émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'horizon 2008/2012 par rapport à leur niveau de l'année 1990. Cette réduction a été fixée globalement à 8 % pour l'Union Européenne. La France pour sa part, qui est parmi les pays développés qui émettent le moins de GES par habitant, du fait de l'origine essentiellement nucléaire et hydraulique de son électricité, s'est engagée simplement à une stabilisation de ses émissions.

Comme les émissions liées aux transports sont en constante augmentation (et représentent 26 % des émissions en 1998, d'après CITEPA), il est nécessaire de les ralentir, et les autres secteurs de l'économie se doivent aussi d'être plus efficaces, notamment en contribuant le moins possible à l'augmentation des transports.

L'agriculture française émet 16 % des GES : c'est le 4^{ème} rang des secteurs d'émission de GES, après les transports, l'industrie et le résidentiel-tertiaire (CITEPA, 1998).

Les substances relatives à l'accroissement de l'effet de serre prises en compte dans le protocole de Kyoto sont six gaz :

- Le gaz carbonique CO₂
- Le méthane CH₄
- Le protoxyde d'azote N₂O
- Les HFC
- Les PFC
- Le SF₆

Ces gaz retiennent plus ou moins efficacement la chaleur et n'ont pas la même durée de vie : ils n'ont donc pas le même Pouvoir de Réchauffement Global (PRG). Le PRG de chaque gaz est exprimé en équivalent- CO₂. Le pouvoir de réchauffement global est un indicateur regroupant sous une seule valeur l'effet additionné des différents gaz à effet de serre.

L'agriculture française n'est émettrice que des trois premiers gaz.

Avec la sylviculture, elle contribue, d'après le CITEPA :

- à 11 % des émissions brutes nationales de CO₂, (quantités en augmentation)
- à 62 % des émissions brutes nationales de CH₄, (quantités en légère baisse)
- à 64 % des émissions brutes nationales de N₂O, (quantités en légère baisse).

Le Pouvoir de Réchauffement Global est évalué.

Le PRG de ces trois gaz est évalué à l'échéance de 100 années en les convertissant en équivalent tonne de CO₂ en fonction de leur effet sur le rayonnement infra-rouge. Tels que définis par le GIECC, les équivalents CO₂ sont :

- CO₂ = 1
- CH₄ = 21
- N₂O = 310

Les émissions agricoles de ces trois gaz à effet de serre ont deux sources distinctes :

Les émissions indirectes, dues à la fabrication et à la mise à disposition des intrants agricoles et des biens durables (matériel, bâtiments) de l'agriculteur : nous avons choisi de prendre les coefficients des écobilans effectués par le FAT et SRVA suisses (cf tableaux) ;

énergies directes	kg gaz émis / 1000 unités	
	unités	CO ₂
fioul domestique (chauffage, séchage)	kWh	259,8
Moteurs diesel	kWh	259,8
Propane, butane (chauffage, séchage)	kWh	223,7
Gaz naturel (chauffage, séchage)	kWh	191,3
électricité (France) - 1 TEP élec = 4 500 kWh	kWh élec	93,2

Source : ELVIRE, 1996, FEDARENE d'après GIECC (IPCC) 1992

Autres intrants de l'agriculture	unité	kg CO ₂ /unité	g N ₂ O /unité
bâtiments	m ² pour 80 ans	1780,00	46,400
machines A1 petits tracteurs	kg pour vie	8,83	0,295
machines A2 grands tracteurs	kg pour vie	7,64	0,252
machines A3 autres automoteurs	kg pour vie	7,14	0,233
machines B travail du sol	kg pour vie	6,73	0,214
machines C autres machines	kg pour vie	6,28	0,197
urée	kg N	2,25	9,481
autres engrais azotés	kg N	1,03	9,451
scories Thomas	kg P ₂ O ₅	1,13	0,023
autres acide phosphorique	kg P ₂ O ₅	2,69	0,060
potasse	kg K ₂ O	0,64	0,009
chaux	kg CaO	0,15	0,004
fumier	tonne	2,94	0,065
lisier	m ³	2,92	0,099
plastiques	kg	2,58	0,040
herbicides	kg MA	8,33	0,225
fongicides	kg MA	5,54	0,151
insecticides	kg MA	23,70	0,627
autres pesticides	kg MA	8,00	0,220
semences	kg	0,86	0,019

sources : GAILLARD, CRETZAZ, HAUSHEER, 1997;

Facteurs d'émissions pour les intrants agricoles, FAT, Suisse, 1997

En l'absence de données sur les émissions de GES dues à la fabrication des aliments du bétail, nous avons négligé celles-ci.

Les émissions directes, qui proviennent des sols de l'exploitation et de leur fertilisation azotée (N_2O), ainsi que des ruminants présents (CH_4) et de la gestion des effluents d'élevage (CH_4 et N_2O) : les modes de calcul du GIECC ont été choisis.

CH₄	kg/animal*an			
	Type d'animaux	fermentation animale	déjections (stockage, travail, apport)	CH ₄ / type
	vache - taureau	106,44	13,83	120,27
	autre bovin	42,49	3,48	45,97
	mouton + chèvre (moyenne)	6,59	0,13	6,72
	chèvre	9,48	0,16	9,64
	cheval	20,39	5,59	25,98
	porc	1,03	3,47	4,5
	volaille	0,01	0,01	0,02

Source : données SRVA, d'après GAILLARD, CRETZAZ, HAUSHEER, 1997

Le changement d'usage des terres peut modifier le stockage de carbone des sols concernés (Balesdent, Arrouays, 1999) et influencer les émissions de gaz carbonique. Pour les analyses effectuées ici, ceci ne sera pas pris en considération, car elles ne procurent qu'une image statique de l'exploitation agricole.

Il faut aussi souligner que pour les calculs, les approximations sont extrêmement fortes. Quand on consulte les chercheurs spécialistes de ces questions ou leurs publications, on s'aperçoit que par exemple les émissions de N_2O par les sols peuvent varier de 80 % par rapport à la valeur moyenne, selon le sol, le climat, la culture. Bouwman a déterminé les facteurs d'émission utilisés aujourd'hui dans le guide GIECC pour la réalisation des inventaires. Il indique qu'on ne peut tirer d'informations plus précises, tenant mieux compte des spécificités locales, de l'analyse des données existantes, les jeux de données étant trop disparates et souvent incomplets. Il conclut que ces facteurs ne peuvent être utilisés que pour des analyses globales et risquent de ne pas être adéquats pour estimer des émissions dans des conditions locales et des cultures spécifiques (cité par Cellier, Laville).

Pour notre étude, qui consiste en une évaluation des émissions de GES à l'échelle de l'exploitation agricole dans différentes régions françaises, nous prendrons néanmoins ces données globales. Il nous est en effet impossible d'avoir des références d'émissions pour les cas locaux étudiés, très dispersés, alors que les recherches en ce domaine ne font que commencer. Il est donc préférable d'appliquer à chaque exploitation, quelque que soit sa situation pédo-climatique, des facteurs d'émission identiques, variables seulement selon les grandes lignes définies par le GIECC (nutrition azotée des sols, types d'animaux et d'effluents). Il convient toutefois de souligner que les résultats seront donc approximatifs, négligeant les variations liées au climat, aux types de sols, aux modes d'alimentation des animaux, à l'époque et aux types de fertilisation, ...

Émission de protoxyde d'azote N₂O		
Origines	unités	%
Sols agricoles		
engrais minéraux	N ₂ O / N	2% de N total engrais minx
engrais organiques	N ₂ O / N	2% de N orga maitrisable et acheté
fixation symbiotique *	N ₂ O / N	2%
Sols organiques = prairies labourées	N ₂ O / ha	8
Productions animales		
Stockage purin**	N ₂ O / N	0,16%
stockage fumier***	N ₂ O / N	3,10%
Pâturage (émission sol)	N ₂ O / N	3,10%

données SRVA, d'après GAILLARD, CRETZAZ, HAUSHEER, 1997, d'après GIECC 1996

* On notera que pour la fixation symbiotique d'azote par les Légumineuses, l'importance de celles-ci a été évaluée à :

- 20 % de la matière sèche des prairies naturelles et parcours
- 50 % des mélanges Graminées-Légumineuses
- 100 % des cultures de Légumineuses

On a considéré comme dans les bilans minéraux, qu'il y a 30 kg de N / TMS de Légumineuses prairiales. Pour les cultures pures (soja, pois,...), on considère une moyenne de production de 160 kg de N / ha.

** 2,9 kg de N / tonne de purin

*** N fumier lisier = N maîtrisable – N purin

Les puits de CO₂ conformément à la méthode du GIECC, n'ont pas été considéré ici : pourtant la photosynthèse des plantes fixe une grande quantité de CO₂, mais on considère qu'il n'est pas stocké comme le bois : ces plantes étant consommées rapidement, la plus grande partie du CO₂ est réémise par la respiration des consommateurs. Par ailleurs, le stockage de carbone dans le sol est un puits de CO₂, comme lorsque les pailles ou d'autres résidus de culture sont réincorporés au sol : Cependant, ceci n'a pas été chiffré ici.

D'autre part, soulignons que la vapeur d'eau (H₂O) est un puissant gaz à effet de serre. Elle n'est pas considérée par le GIECC. Pourtant, l'agriculture a par l'irrigation une influence sur le cycle de l'eau. C'est une pratique émettrice de vapeur d'eau, et son impact sur l'effet de serre, même s'il n'est pas envisagé par les organismes internationaux, doit être important.

Bibliographie – Références émissions de gaz à effet de serre

- ADEME, MIES, 2000 – *Changement climatique : un défi majeur*. 23 p.
- C.R. Acad. Agric. Fr., 1999, 85, n°6. *Bilan et gestion des gaz à effet de serre dans l'espace rural*. 392 p.
- AUDSLEY et al., 1997 – *Harmonization of environmental Life Cycle Analysis for agriculture*. Rapport final, 140 p.
- BALESDENT J., ARROUAYS D., 1999 – Usage des terres et stockage de carbone dans les sols du territoire français. Une estimation des flux nets annuels pour la période 1990-1999. in C.R. Acad. Agric. Fr., 1999, 85, n°6. pp 265-277.
- CELLIER P., LAVILLE P., 1999 – *Les émissions de N₂O par les sols agricoles en France : quelle évaluation possible ?* in C.R. Acad. Agric. Fr., 1999, 85, n°6. pp 177-192.
- DESJARDIN R. 1999 – in www.agr.ca/research/Healthy-Air/tocf.html
- BONDY J.P., 2000 – *Kyoto-La Haye : la dernière ligne droite*. Environnement Magazine – Enjeux n°1592, nov. 2000. pp 34-37
- BOUWMAN A.F. 1996 – *Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils*. Nutrient cycling in Agrosystems. n°46. pp 53-70.
- FEDARENE, 1996, - *ELVIRE: Evaluation guide for renewable energy projects en Europe, UE* - Directorate General for energy (DGXVII),
- GAILLARD G., CRETZAZ P., HAUSHEER J., 1997 - *Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale. Base de données pour l'établissement de bilans énergétiques et écologiques en agriculture*. FATTänikon, Suisse, 49 p.
- GERMON J.-C. et al, 1999 – *Mécanismes de production, régulation et possibilités de limitation des émissions de N₂O à l'échelle agronomique*, in C.R. Acad. Agric. Fr., 1999, 85, n°6. pp 148-162
- HAAS G., GEIER U., SCHULZ D., KOPKE U., 1995 - *CO₂ balance : can the CO₂ efficiency of organic farming be used as a guide for developing agricultural production systems in the third world ?* Plant research and development (Germany), vol 41/42, pp15-25
- HAAS G., GEIER U., SCHULZ D., KOPKE U., *Klimavelevante Koblendioxid emission durch den verbrauch fossiler energie*.
- IFEN, 1995 -*Réduction du CO₂ dans les années 80 : l'efficacité énergétique à la clé*. Les données de l'environnement n°15, 4 p.
- MARTINEZ J. et al, 1999 – *Emissions de méthane et de protoxyde d'azote au cours du stockage, du traitement et de l'épandage de déjections animales*. in C.R. Acad. Agric. Fr., 1999, 85, n°6. pp 87- 101
- OREB, 2001 – *Effet de serre*. Périodique Repères, n°21, mars 2001, 16 p ;
- RIEDACKER A., 1999 – *la convention cadre sur le climat et le protocole de Kyoto ; conséquences pour l'agriculture, les forêts et les changements d'utilisation des terres*, in C.R. Acad. Agric. Fr., 1999, 85, n°6. pp 13-35
- RIEDACKER A., 1999 – *Les stocks et les flux de gaz à effet de serre dans le domaine de l'agriculture, des forêts et des produits dérivés, en France et dans quelques pays industrialisés.*, in C.R. Acad. Agric. Fr., 1999, 85, n°6. pp 36-60
- ROSSIER D., 1999 – *L'écobilan, outil de gestion écologique de l'exploitation agricole ?* Revue Suisse d'Agriculture. 31 (4) : pp 179-185
- SAUVANT D. et al., 1999 – *Production de CH₄ par les ruminants : analyse des processus, quantification et modélisation, spatialisation et bilans, possibilités de réduction des émissions*. in C.R. Acad. Agric. Fr., 1999, 85, n°6. pp 70-86.
- VIRTANEN Y et al., 1995. *Energy issues in Life Cycle Assessment*. COMETT II UETP-EEE, Helsinki, 210 p.