

# L'analyse énergétique à l'échelle de l'exploitation agricole. Méthode, apports et limites

J.M. Ferrière<sup>1</sup>, C. Fauveau<sup>1</sup>, G. Chabanet<sup>1</sup>,  
J. Stoll<sup>2</sup>, M. Hoffmann<sup>2</sup>, B. Risoud<sup>3</sup>,  
A. Farruggia<sup>4</sup>, G. Fortin<sup>5</sup>

L'analyse énergétique d'une exploitation consiste à évaluer les flux d'énergie non renouvelable consommés ainsi que les flux d'énergie brute entrant et sortant sous forme de produits végétaux et animaux. Développée lors de la crise pétrolière des années 70, l'analyse énergétique présente un intérêt pour la réflexion actuelle sur la durabilité de l'agriculture et sur son impact sur l'environnement.

## RÉSUMÉ

*Les flux d'énergie non renouvelable sont consommés directement sur l'exploitation (fuel, électricité...) ou indirectement (fabrication des intrants : extraction, transports, élaboration...). Les principes de l'analyse et l'obtention du référentiel sont décrits ; des exemples concrets d'analyses d'exploitations sont donnés. Ce type d'analyse énergétique permet de repérer les postes les plus consommateurs en énergie non renouvelable et d'évaluer l'efficacité énergétique de l'exploitation. Les problèmes méthodologiques et les limites de la comparaison des analyses énergétiques d'exploitations sont largement discutés.*

## MOTS CLÉS

Analyse énergétique, exploitation agricole, méthode d'estimation, système d'exploitation.

## KEY-WORDS

Energy analysis, estimation method, farm, farming system.

## AUTEURS

- 1 : Centre d'Etudes Internationales Paysans et d'Actions Locales (CEIPAL).
- 2 : Fédération des Herdbooks Luxembourgeois (FHL).
- 3 : Etablissement National d'Enseignement Supérieur Agronomique de Dijon (ENESAD).
- 4 : Institut de l'Elevage.
- 5 : Association Locale pour un Développement International Solidaire (ALDIS).

## CORRESPONDANCE

J.M. FERRIÈRE et F. COLPAERT, CEIPAL, 8, quai Maréchal Joffre, F-69002 Lyon ;  
fax : 04 72 41 74 42.

**P**ar le processus de photosynthèse, l'agriculture transforme de l'énergie solaire en énergie végétale puis animale. C'est ainsi une des rares activités humaines capables de valoriser l'énergie solaire grâce aux productions végétales et de contribuer à infléchir la croissance des teneurs en CO<sub>2</sub> de l'atmosphère terrestre. Or, **depuis une cinquantaine d'années, les améliorations de productivité ont rendu l'agriculture très dépendante des énergies non renouvelables**. Ces dernières interviennent à tous les niveaux du processus de production :

- en amont, pour la synthèse et le transport des intrants : engrais, matériels, produits phytosanitaires,
- directement sur l'exploitation, pour faire fonctionner les matériels agricoles,
- en aval, pour la transformation, la distribution et la conservation des produits.

Les réflexions actuelles autour d'une agriculture durable, autour de la valorisation des ressources naturelles et locales, ainsi que la question du réchauffement global de la planète lié à l'effet de serre ont conduit, en 1994, à la création d'**un groupe de travail sur le thème de l'analyse énergétique en agriculture**. Ce groupe est formé du CEIPAL, de la Fédération des Herdbooks Luxembourgeois (Association agricole fondée en 1923), de l'Institut de l'Élevage, de l'ENESAD, de l'ALDIS et de la Fédération Départementale des Coopératives d'Utilisation du Matériel Agricole de la Mayenne. L'objectif de ce groupe est de réfléchir à la mise en oeuvre d'analyses énergétiques au niveau de l'exploitation agricole et d'élaborer un référentiel.

Le présent article vise d'une part à **présenter l'analyse énergétique en tant qu'outil de diagnostic à l'échelle de l'exploitation et d'autre part à discuter des problèmes méthodologiques rencontrés**.

## **L'analyse énergétique d'hier à aujourd'hui :**

### **1. L'analyse énergétique : définition**

"L'analyse énergétique consiste à observer, à apprécier et à mesurer les flux d'énergie qui sont en jeu dans une portion, un secteur ou une activité de vie des hommes en fonction du temps. C'est une réflexion à la fois quantitative, pour préciser les volumes d'énergie en jeu, et qualitative pour indiquer leur nature avant et après l'opération ou l'ensemble d'opérations considéré" (CARILLON, 1979).

En isolant fictivement la totalité du phénomène de transformation énergétique auquel on s'intéresse et en mesurant, pendant une période donnée, les énergies qui entrent en amont et celles qui sortent

en aval, on peut alors calculer des bilans, des rendements et avoir ainsi des éléments pour évaluer l'efficacité énergétique du phénomène, l'analyser, et éventuellement l'améliorer.

## 2. Naissance et évolution de l'analyse énergétique en agriculture...

L'analyse énergétique en agriculture a suscité l'intérêt de nombreuses personnes (chercheurs, étudiants, journalistes...), avec différents objectifs.

### ■ Face à la crise pétrolière

Bien que développée dès le début des années 70, l'analyse énergétique n'a connu de réel essor que lors de la crise pétrolière de 1973. Il s'agissait alors d'**évaluer la dépendance énergétique de l'agriculture**. Ainsi, PIMENTEL *et al.* (1973) ont montré par des calculs réalisés sur la culture du maïs aux Etats-Unis que l'accroissement de la productivité agricole s'était fait en ayant recours à des quantités croissantes d'énergie non renouvelable : le rendement énergétique de la culture du maïs (donné par le rapport de l'énergie produite sur l'énergie consommée) est passé de 3,71 à 2,82 entre 1945 et 1970 (POLY, 1978).

En Europe, où l'on cherchait à accroître la production alimentaire, l'objectif de certains était plutôt de défendre l'agriculture contre ceux qui voyaient en elle un modèle trop "énergivore". CARILLON (1979) a ainsi mis en avant la capacité de l'agriculture à rendre au moins autant d'énergie qu'elle consomme d'énergie "commerciale". L'énergie qu'elle produit est principalement alimentaire, critère primordial au moment où l'Europe cherchait à devenir autosuffisante. Quelques années plus tard, BONNY (1984, 1986) a continué ces travaux en étudiant notamment les conséquences de la crise de l'énergie sur l'agriculture et le système agro-alimentaire en général.

### ■ Face à la gestion des ressources naturelles

Au cours des années 70, des préoccupations environnementales se développent. PASSET (1979) utilise l'analyse énergétique comme un nouvel outil d'analyse permettant de juger les bases écologiques de la gestion des ressources naturelles des divers systèmes sociaux et économiques. BEL *et al.* (1978) mettent quant à eux en évidence l'**accroissement considérable de la consommation d'énergie non renouvelable en agriculture**, le problème d'impact des techniques agricoles sur l'évolution des écosystèmes agraires ainsi que la sous-utilisation des potentialités naturelles existantes : en effet, plus la consommation en intrants achetés sera élevée, plus faible sera la valorisation des potentialités locales.

## ■ Comme outil d'analyse des exploitations agricoles

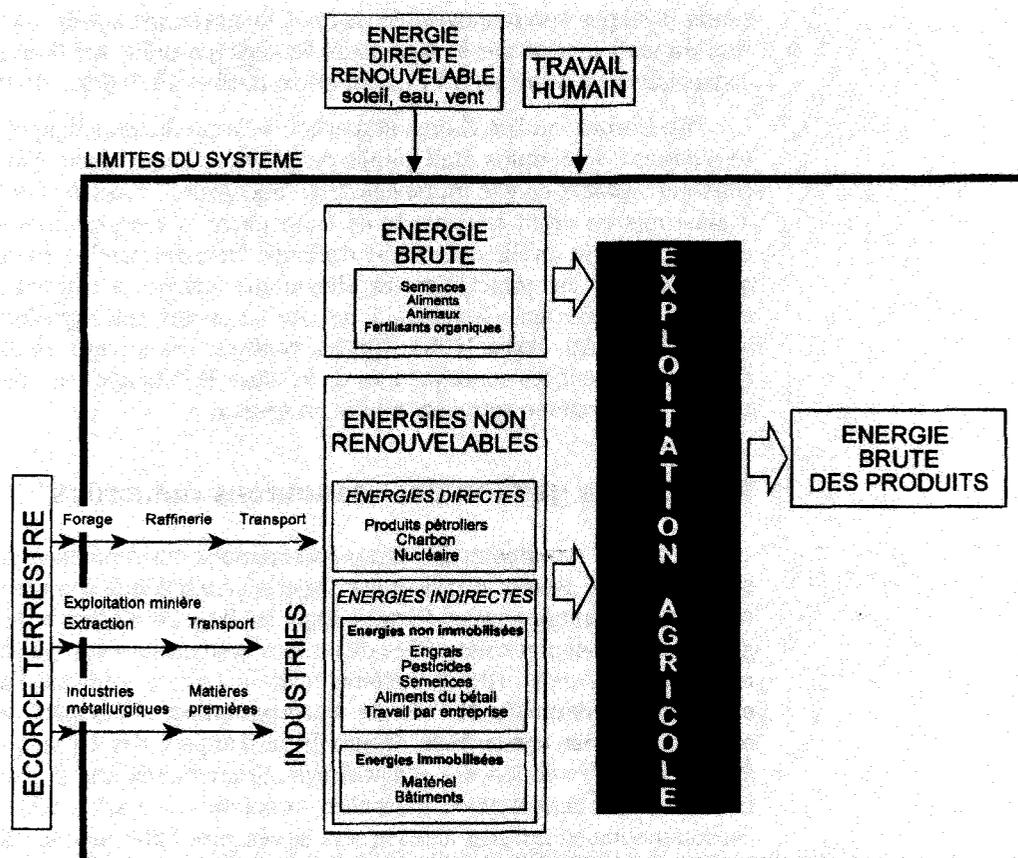
GRYNIA et MAISON-MARCHEUX (1983) utilisent l'analyse énergétique comme outil de diagnostic des exploitations agricoles, en complément des ratios technico-économiques. L'analyse énergétique ne sert alors plus uniquement à connaître et gérer les relations entre ressources non renouvelables et production agricole dans l'espoir de réaliser des économies d'énergie, mais elle s'intègre véritablement dans une analyse du fonctionnement de l'exploitation et elle **s'intéresse en particulier aux relations entre économie de l'exploitation et résultats énergétiques.**

### 3. L'analyse énergétique aujourd'hui

Les préoccupations liées à l'agriculture durable, au réchauffement planétaire ainsi que les perspectives de production agricole à des fins énergétiques (diester, éthanol...) ont ravivé l'intérêt pour l'analyse énergétique dans beaucoup de pays européens.

FIGURE 1 : Représentation schématique du système étudié et des flux d'énergie.

FIGURE 1 : Schematic diagram of the system studied and the energy flows.



En France, en 1990, une association d'éleveurs de la région Rhône-Alpes (le CEIPAL) s'est intéressée à la mise en place de critères complémentaires aux éléments technico-économiques habituellement employés pour le pilotage et l'évaluation des exploitations. Ces éleveurs souhaitaient ainsi **caractériser les systèmes autonomes, valorisant au mieux les ressources locales, durables**, qu'ils pressentaient comme porteurs de solutions face aux difficultés traversées par l'agriculture. L'énergie est un des critères qu'ils ont retenu.

Ce groupe d'agriculteurs a travaillé à l'actualisation des données existantes en se basant sur les travaux de BONNY (1986) complétés par des enquêtes multiples. En effet, l'évolution technique des vingt dernières années nécessite l'établissement d'un nouveau référentiel pour calculer l'énergie contenue dans les intrants : il faut moins d'énergie aujourd'hui pour produire un engrais azoté donné qu'il n'en fallait dans les années 70 ; en revanche, avec la mondialisation de l'économie, les intrants peuvent avoir subi un transport coûteux en énergie.

En 1994, le groupe de travail cité en introduction s'est mis en place. Il a aussi bénéficié des travaux réalisés par d'autres organismes (MÉNÉGON, 1996 ; LAMBERT, 1995) et plus spécialement par la Fédération des Herdbooks Luxembourgeois.

Nous allons maintenant présenter les résultats des travaux de ce groupe dont l'objectif était de réactualiser l'analyse énergétique en agriculture afin de tester son utilisation :

- comme indicateur pour évaluer les consommations en énergie non renouvelable de l'agriculture ;
- comme outil de caractérisation des systèmes de production quant à leur consommation en énergie non renouvelable et, indirectement, quant au degré de valorisation des ressources locales ;
- comme outil de diagnostic et de conseil sur les exploitations agricoles pour repérer les postes les plus consommateurs en énergie et aider à la décision dans le choix d'un système, d'un itinéraire technique ou d'intrants.

## **Les principes de l'analyse énergétique à l'échelle de l'exploitation agricole**

### **1. Les types d'énergie pris en compte et l'échelle d'analyse**

Nous nous intéressons uniquement aux entrées et aux sorties d'énergie de l'exploitation ; les cessions internes entre ateliers ne sont donc pas prises en compte. Les flux d'énergie pris en compte dans l'analyse sont de trois ordres (figure 1) :

- **Les flux entrants d'énergie non renouvelable consommée sur l'exploitation :**

- **directement pour faire fonctionner les différents outils de production** (fuel, lubrifiants, électricité) ;

- **indirectement pour la fabrication des intrants** : 1/ l'énergie nécessaire à l'extraction et au transport des matières premières ; 2/ l'énergie consommée dans le processus d'élaboration de l'intrant concerné. Pour le transport des marchandises, seule est actuellement prise en compte l'énergie nécessaire au transport maritime des matières premières importées pour l'alimentation du bétail.

- **Les flux entrants d'énergie brute** : il s'agit d'énergie "alimentaire" pour les produits végétaux et animaux que l'on peut mesurer par calorimétrie. Pour les intrants comme les pesticides ou les engrais, nous n'avons considéré que l'énergie non renouvelable nécessaire à leur obtention.

- **Les flux sortants d'énergie brute** contenue dans les produits issus de l'exploitation.

Comme en comptabilité, les intrants peuvent être entièrement consommés sur l'exercice (intrants non immobilisés comme les engrais, les pesticides, les semences, les aliments du bétail) ou utilisés sur plusieurs années comme pour le matériel ou les bâtiments (intrants immobilisés). Dans ce dernier cas, l'énergie nécessaire à leur fabrication s'amortit sur leur durée de vie comptable.

L'énergie du travail humain n'est pas comptabilisée ; elle est en effet difficile à évaluer et représente une énergie bien particulière qui reviendrait à considérer l'homme uniquement comme force de production. Certaines études montrent d'autre part qu'elle est d'importance quantitative négligeable (MÉNÉGON, 1996).

**L'échelle d'analyse qui nous intéresse est l'exploitation agricole** dans l'objectif d'évaluer sa dépendance énergétique et d'envisager des améliorations. En effet, les décisions sont prises au niveau de l'exploitation agricole. Il est adapté à l'action. Nous verrons plus loin sur quel type d'exploitation en particulier l'évaluation des consommations en énergie non renouvelable est possible et intéressante. Nous retenons les données sur une année "moyenne" d'une exploitation en "rythme de croisière" afin de nous affranchir des imprévus et particularités climatiques d'un exercice donné. L'idéal est de pouvoir travailler sur une moyenne de résultats obtenus sur plusieurs années consécutives.

Selon l'objectif recherché, la méthode pourrait aussi être appliquée à l'échelle d'un territoire ou d'une petite région, avec toutefois des difficultés probables pour le recueil des données.

## 2. Unité choisie

L'unité internationale de mesure de l'énergie étant le mégajoule (MJ), nous l'avons retenue pour les calculs. Mais, dans un objectif de diffusion auprès des techniciens et des agriculteurs, elle a été convertie en "équivalent litre de fuel", unité plus concrète et plus imagée : 1 l de fuel = 35,8 MJ = 8 600 kcal.

TABLEAU 1 : Principaux coefficients énergétiques unitaires utilisés.

TABLE 1 : Main unitary energy coefficients used.

Type d'intrant et (unité utilisée)	Coefficient énergétique (MJ/unité)		Source
<b>ENERGIE DIRECTE</b>			
Fuel (litre)	44,7		STOLL (1993)
Electricité (kwatt)	11		STOLL (1993)
Lubrifiants (litre)	47,9		STOLL (1993)
<b>ENERGIE INDIRECTE</b>			
<b>Engrais (kg)</b>			
N	38,9		BRAND & MELMAN (1993)
P	9,84		BRAND & MELMAN (1993)
K	3,11		BRAND & MELMAN (1993)
Ca	1,81		OHEIMB <i>et al.</i> (1987)
<b>Semences (kg matière brute)</b>			
Graminées/légumineuses	9,4		BONNY (1980)
Céréales	8		CCPCS (1991)
Maïs	16,2		CCPCS (1991)
<b>Aliments (kg matière brute)</b>			
Soja	6,58		STOLL (1993)
Composé pour :	<b>Granulé</b>	<b>Farine</b>	<b>Transport</b> CEIPAL (1994)
			mer camion (500 km)
herbivores	5,33	4,89	0,646 0,183
porcs	5,33	4,89	0,604 0,140
volailles	5,33	4,89	0,410 0,111
<b>Produits phytosanitaires</b>			
(kg matière active)	<b>Emulsion</b>	<b>Poudre soluble</b>	<b>Granulé</b> STOLL (1993), PIMENTEL (1980)
Herbicides	416	261	408
Insecticides	361	206	353
Fongicides	268	113	260
Produits non référencés	376	221	368
<b>Matériels* (kg)</b>			
Equipement* (kg)	<b>Energie acier</b>	<b>Fabrication matériel</b>	<b>Total</b> STOLL (1993)
tracteur	36,2	14,8	51,0
travail primaire du sol	36,2	8,64	44,8
matériel récolte automoteur	36,2	13,0	49,2
matériel pour semer/planter	36,2	8,64	44,8
travail secondaire du sol	36,2	8,33	44,5
matériel pour épandre/faucher	36,2	7,63	43,8
presse	36,2	6,13	42,3
Entretien matériel (F)	1,76		MENEGON (1996)
Bâtiments* (UGB logeables)	17 415		CEIPAL (1994)
Pneumatiques (F)	3,56		MENEGON (1996)

\* amortis sur durée de vie

### 3. Le référentiel

Les intrants sont de plusieurs ordres. Ils se mesurent en unités physiques (UGB, kilogramme, litre), voire parfois en unités monétaires (Franc). Pour évaluer l'énergie non renouvelable consommée, il faut donc pouvoir les convertir en mégajoules ou en équivalents litres de fuel. Pour cela, il faut connaître la dépense totale d'énergie nécessaire pour la réalisation de la quantité unitaire de l'intrant considéré. Le tableau 1 présente les coefficients utilisés pour évaluer la valeur éner-

gétique de certains intrants. En plus des références mentionnées dans le tableau 1, d'autres références ont été utilisées pour établir ces valeurs (BERTILSON, 1992 ; INRA, 1988).

Pour certains intrants, **on observe des variations importantes selon les auteurs**. Les causes de variation des coefficients énergétiques que l'on peut observer sont de plusieurs ordres :

- les méthodes d'estimation des dépenses énergétiques sur une chaîne de production sont différentes, comme par exemple pour la production des matériels agricoles ou des semences ;

- ou bien encore, ces mêmes méthodes sont peu explicitées et on ne sait pas ce qu'elles prennent en compte ;

- enfin, l'estimation de la consommation énergétique globale retenue est le résultat de nombreuses approximations et de moyennes sur l'ensemble de la chaîne (de la fabrication du produit à son transport à la ferme).

**Le cas du matériel agricole** est parlant à cet égard. Deux méthodes sont envisagées. Dans l'une, l'énergie nécessaire pour produire les matières premières est prise en compte, alors que dans l'autre, seule celle liée au procédé industriel est retenue car l'auteur considère que la matière première est généralement récupérée par le biais de la ferraille.

Les théories proposées pour l'évaluation de l'énergie nécessaire pour les réparations varient par ailleurs de façon importante et ce poste n'est pas toujours pris en compte.

Enfin, un coefficient moyen est retenu pour la production et l'assemblage des matériaux ; il est modulé selon les catégories de machines, sachant que l'énergie requise pour la production des différentes matières assemblées peut varier assez fortement (acier, fer, caoutchouc synthétique...). Une étude bibliographique comparative des différents coefficients énergétiques proposés pour l'évaluation du coût énergétique total des machines (tableau 2) montre une variation de 26,5 MJ/kg à 99,2 MJ/kg de poids de machine.

TABLEAU 2 : **Etude bibliographique comparative de quelques coefficients énergétiques pour l'évaluation du coût énergétique total des machines** (en MJ/kg, sauf indication contraire).

TABLE 2 : **Comparative bibliographical study of a few energy coefficients used for the assessment of the total energy cost of machines** (MJ/kg, unless otherwise stated).

Sources	Matières premières	Fabrication des matériels	Réparation des matériels	Transport usine → ferme	Total (MJ/kg)
CEIPAL	26,5	non pris en compte	Non pris en compte	Non pris en compte	26,5
STOLL (1993)	36	6,1 à 14,76 (7 types de matériels)	idem	idem	36
DOERING (1980), cité par MENEGON (1996)	49,4 à 62,8 (9 types matériels)	6,27 à 14,62 (9 types matériels)	entretien : 1,76 MJ/F pneus : 3,56 MJ/F	Non pris en compte	63,3 à 73,8
DOERING (1980) et MUGHAL (1994), cités par LAMBERT* (1995)	49,2 à 62,8 (5 types matériels)	7,4 à 14,6 (5 types matériels)	11,7 à 23,1 MJ/kg (5 types matériels)**	8,8 pour tous	83,5 à 99,2

\* à majorer de 40%, d'après LAMBERT et GAILLARD (1996)  
\*\* coefficient de réparation de 18,6% à 36,2%

Prenons **un deuxième exemple : celui de l'alimentation du bétail**. D'un industriel à l'autre, d'une région à l'autre, la composition de ces aliments varie et il est difficile de la connaître exactement. Une part est importée (tourteaux de soja, de tournesol, manioc...) et a donc nécessité de l'énergie non renouvelable pour son transport outre-mer, ainsi que du port à l'usine de fabrication pour les régions non côtières. La fabrication de l'aliment à partir de l'ensemble des matières premières a d'autre part nécessité plus ou moins d'énergie selon la performance de l'industrie, la quantité produite (économies d'échelle)...

Dans une première approche, nous avons donc établi des moyennes nationales par type d'aliment (granulés ou farines, pour herbivores, porcs ou volailles). Considérons par exemple qu'une exploitation achète 7,0 t d'aliments composés pour bovins, sous forme de granulés. D'après le référentiel élaboré, il faut compter 0,646 MJ/kg d'aliment herbivore pour son transport par voie maritime et 5,33 MJ/kg pour sa fabrication sous forme de granulé. L'énergie non renouvelable consommée pour ces 7 t d'aliments sera donc de  $7\ 000 \times (0,646 + 5,33) = 41\ 832$  MJ soit l'équivalent de 1 170 litres de fuel.

**Un travail important d'évaluation des choix et des incertitudes** en matière de référentiel sur les différents postes ainsi que de leurs conséquences sur les résultats globaux des exploitations **reste à faire**. Il est toutefois rendu difficile par le fait que l'on ne sait pas toujours exactement comment ont été calculés chacun des coefficients.

Il faut donc bien avoir conscience que, du fait des approximations, **les résultats obtenus pour une exploitation donnée sont à prendre avec précautions. Ils représentent des ordres de grandeur** de dépenses énergétiques. Les référentiels pouvant varier d'un auteur à l'autre, **les comparaisons entre résultats de sources différentes sont risquées**. Elles ne sont valables que si elles sont basées sur le même référentiel.

## 4. Expression des résultats et premières conclusions

Le recensement des intrants et produits, ainsi que l'utilisation du référentiel permettent d'obtenir **la liste des dépenses énergétiques**

TABLEAU 3 : Caractéristiques générales d'une exploitation laitière A ayant abandonné l'ensilage de maïs.

TABLE 3 : General characteristics of farm A, where maize silage was given up.

Exploitation A	1990	1994
Quota (l de lait)	75 900	79 400
Nombre de Vaches Laitières	17 + la suite	18 + la suite
Production (litres de lait/VL)	4 465	4 411
SAU (ha)	39	39
SFP (ha)	39	39
Chargement (UGB/ha SFP)	0,9	0,9
Prairies permanentes (ha)	25	25
Prairies temporaires (ha)	7	8,5
Ray-grass d'Italie (ha)	1,5	0
Maïs (ha)	2 (ensilage)	0,5 (donné en vert)
Céréales (ha)	3,5	5

Exploitation A	1990		1994			
	(l de fuel)	(%)	(l de fuel)	(%)		
<b>Energie non renouvelable consommée</b>						
<b>- Pour la fabrication des intrants :</b>						
matériels	871	17,5	871	24,2		
bâtiments	97	1,9	97	2,7		
frais d'élevage + produits vétérinaires	523	10,5	523	14,5		
pesticides - semences	149	3,0	137	3,8		
aliments	1 003	20,1	116	3,2		
amendements - fertilisants	1 927	38,7	1360	37,9		
total	4 983	100	49,1	3 592	100	40,7
<b>- Directement sur l'exploitation</b>	<b>5 168</b>	<b>50,9</b>	<b>5 243</b>	<b>59,3</b>		
<b>- Totale</b>	<b>10 152</b>	<b>100</b>	<b>8 835</b>	<b>100</b>		
<b>Energie brute des intrants</b>	<b>2 899</b>		<b>613</b>			
<b>Energie brute des produits</b>	<b>6 815</b>		<b>7060</b>			

TABLEAU 4 : Evolution des flux énergétiques de l'exploitation A ayant abandonné le maïs ensilage au profit de l'herbe.

TABLE 4 : Changes in energy flows on farm A, where maize silage was replaced by grass.

non renouvelables correspondant à chaque intrant, ainsi que l'énergie brute des produits.

Prenons par exemple, une exploitation A située dans la zone très escarpée des Monts du Lyonnais (département du Rhône). Avec 39 ha de SAU, 17 Vaches Laitières (Montbéliardes) et 75 900 litres de quota en 1990, elle est relativement extensive (0,9 UGB/ha) comparée à celles de sa zone. La répartition du temps de travail sur l'année, l'érosion provoquée par la culture du maïs sur des terrains pentus, la pointe de travail liée à la récolte du maïs sous forme d'ensilage ont amené l'exploitant à remplacer, entre 1990 et 1994, 1,5 ha de maïs par des céréales et 1,5 ha de ray-grass d'Italie par des prairies temporaires, tout en gardant un niveau de production identique (4 400 l/VL environ, tableau 3).

TABLEAU 5 : Autres types d'exploitations laitières, sans culture de vente, étudiés en Rhône Alpes.

TABLE 5 : Other types of dairy farms, without commercial crops, studied in the Rhône-Alps region.

Exploitation	Exploit. B	Exploit. C	Exploit. D	Exploit. E	Groupe Ecolait (moyenne)
<b>Caractéristiques de l'exploitation</b>					
SAU lait (ha)	26	25	51	52	36,5
vaches laitières	22	20	30	50	36
quota (litres)	146 000	90 000	145 000	253 000	237 000
prairies permanentes (ha)	11	14	40	37	13,5
prairies temporaires (ha)	12	6	11	8	11,5
maïs (ha)	3	3	0	4	9
céréales (ha)	/	2	0	3	2,5
<b>Energie brute produite (l fuel/100 l lait)</b>	<b>7,6</b>	<b>8,1</b>	<b>10,1</b>	<b>9,4</b>	
<b>Energie consommée pour 100 l de lait (l de fuel et (%)) :</b>					
<b>- Pour la fabrication des intrants :</b>					
paille	2,1 (25,0)	1,5 (18,9)	0,6 (6,2)	0 (0)	1,2 (13,2)
aliments	3,2 (38,1)	2,9 (36,0)	5,5 (59,6)	0,4 (19,4)	3,1 (35,8)
amendements - fertilisants	1,7 (20,2)	2,5 (31,4)	1,9 (20,6)	0,6 (26,7)	2,8 (32,1)
pesticides - semences	0,1 (1,2)	0,2 (3,1)	0,02 (0,2)	0,1 (5,2)	0,3 (3,0)
bâtiments - matériels	0,7 (8,3)	0,2 (2,8)	0,83 (9,1)	0,7 (28,9)	0,8 (9,4)
autre	0,6 (7,1)	0,6 (7,9)	0,4 (4,3)	0,5 (19,8)	0,6 (6,5)
total	8,4 (100)	8,1 (100)	9,2 (100)	2,3 (100)	8,7 (100)
<b>- Directement sur l'exploitation</b>	<b>5,1</b>	<b>6,5</b>	<b>6,6</b>	<b>6,4</b>	<b>6,4</b>
<b>- Total</b>	<b>13,5</b>	<b>14,6</b>	<b>15,7</b>	<b>8,7</b>	<b>15,1</b>
<b>Rendement énergétique</b>	<b>0,56</b>	<b>0,56</b>	<b>0,64</b>	<b>1,08</b>	<b>0,62</b>

Les données collectées permettent d'évaluer par poste les consommations énergétiques de l'exploitation (tableau 4). Ces résultats peuvent être utilisés de trois façons.

### ■ Repérer les postes les plus consommateurs en énergie non renouvelable

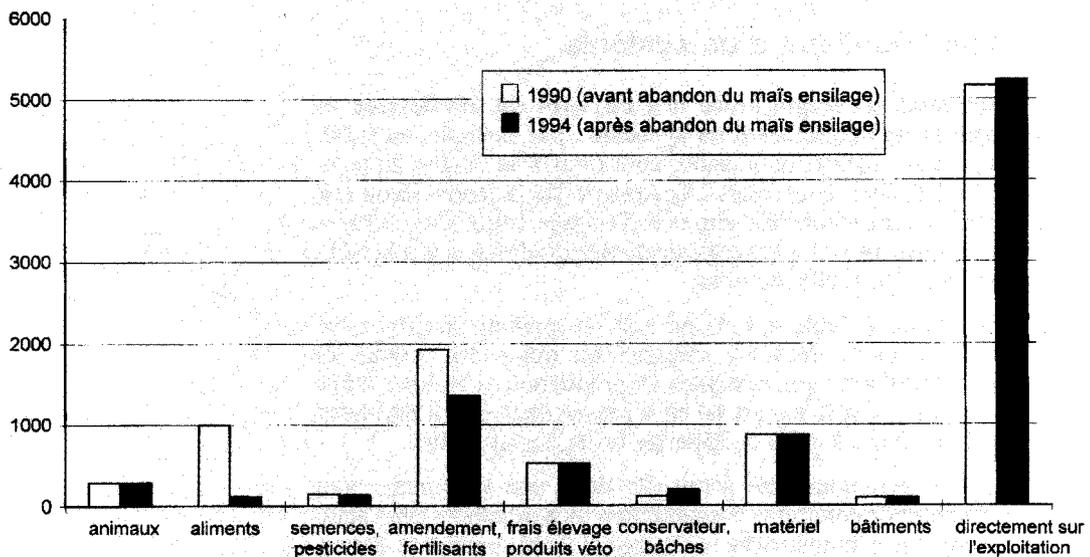
L'énergie non renouvelable consommée répond à une préoccupation environnementale. Plus sa consommation sera faible, plus les ressources naturelles de la planète seront préservées ; les émissions de gaz nocifs, polluants seront quant à elles moins importantes. Elle permet d'évaluer la "gourmandise" énergétique d'une exploitation. Ramenée à l'unité de surface, de production, au franc de revenu ou à l'unité de main d'oeuvre, elle facilite la comparaison des résultats de deux systèmes d'exploitation aux productions comparables.

FIGURE 2 : Evolution des postes de consommation d'énergie non renouvelable sur l'exploitation A (présentée tableau 3) avant et après l'abandon du maïs ensilage.

FIGURE 2 : Changes in the items consuming non-renewable energy on farm A (presented in table 1) before and after maize silage was given up.

La part de chaque poste dans la consommation en énergie non renouvelable est présentée dans le tableau 4. Comme pour l'ensemble des exploitations enquêtées (tableau 5), il est intéressant de constater que **les postes matériels et bâtiments d'une part, pesticides et semences d'autre part, ne sont jamais prédominants**. Ils varient respectivement de 2,8% à 29% et de 0,2% à 5,2% de l'énergie consommée pour la fabrication des intrants. Le poste matériel, quoique relativement lourd ici, reste **sur l'ensemble des cas étudiés inférieur aux postes amendements - fertilisants principalement et aliments**. Les différences de consommation en énergie non renouvelable entre systèmes se font sur ces deux derniers intrants essentiellement. Le poste amendements - fertilisants varie de 20% à 32% et le poste aliments de 19% à 60% de l'énergie consommée pour la fabrication des intrants.

Consommation d'énergie non renouvelable (litres de fuel)



## ■ Evaluer l'efficacité énergétique d'une exploitation

Dans ce cas, on calcule le ratio suivant, appelé **rendement énergétique** :

énergie alimentaire produite / énergie non renouvelable consommée

Ce ratio nous a paru **intéressant dans une optique de recherche d'autonomie et de comparaison des systèmes entre eux**. En effet, plus le ratio sera élevé, moins la consommation en intrants sera importante et meilleure sera la valorisation des ressources locales. En d'autres termes, plus le rendement énergétique sera élevé, plus le système sera efficace pour produire de l'énergie alimentaire.

L'étude de l'exploitation A nous permet de le vérifier dans un premier temps. Nous reviendrons ensuite sur les limites de cette approche dans la partie discussion, plus particulièrement en ce qui concerne les systèmes diversifiés. Pour l'exploitation A, dont nous n'avons pris en compte que l'atelier lait et la SFP correspondante, ce ratio est de 0,67 en 1990 et de 0,80 en 1994. Si l'énergie brute des produits est restée pratiquement constante (- 3%), l'énergie non renouvelable consommée a diminué de 12,9%. La moindre consommation d'intrants est due à une modification du système fourrager. En permettant l'augmentation de la surface cultivée en céréales et en légumineuses, la suppression du maïs ensilage et la modification du système de récolte de l'herbe (préfanage) ont contribué à diminuer les doses d'amendements et de fertilisants achetés ainsi que de soja. Ces intrants étant très consommateurs en énergie non renouvelable (tableau 4 et figure 2), le rendement énergétique s'est amélioré de 19%.

Il est ainsi intéressant de noter que la modification de 3 ha de la SAU provoque un changement d'efficacité énergétique du système, une diminution des consommations en énergie non renouvelable et, par là même, une amélioration notable du rendement énergétique.

## ■ Evaluer l'équilibre d'un système

**La quantité d'énergie brute des intrants est révélatrice de l'autonomie et de l'équilibre d'un système** : par exemple, en système d'élevage, une surface insuffisante pour nourrir la totalité du troupeau pousse à l'achat de céréales à l'extérieur. De la même façon que l'énergie non renouvelable consommée, l'énergie brute des intrants pourra être rapportée soit à l'énergie brute des produits, soit à la SAU, soit à l'Excédent Brut d'Exploitation...

Sur l'exemple A (tableau 4 et figure 2), on constate qu'entre 1990 et 1994, l'exploitant a réussi à valoriser au mieux les ressources locales et à équilibrer son système de production. L'énergie brute importée au sein du système est en effet passée de 2 899 à 613 litres de fuel, soit de 42,5% à 8,7% de l'énergie brute des produits.

L'analyse énergétique ne serait-elle donc pas pertinente pour définir et discuter de conduites d'exploitation plus adaptées, plus équilibrées et moins consommatrices en énergie ? Il est cependant impor-

tant d'avoir conscience des limites de cette méthode et de son interprétation.

## Discussion et perspectives

### 1. Types d'énergie pris en compte

La prise en compte de **l'énergie brute des intrants est sujette à discussion**. Deux questions se posent en effet :

- faut-il considérer ce type d'énergie ?
- si oui, peut-on l'additionner à l'énergie non renouvelable consommée sur l'exploitation ?

Plusieurs arguments peuvent être avancés :

- L'énergie brute et l'énergie non renouvelable ne peuvent s'additionner. Il s'agit en effet, de deux types d'énergies différents : l'une a principalement pour origine une énergie renouvelable (solaire), c'est un résultat de production, l'autre est en quantité limitée, c'est un moyen de production. Comme on n'ajoute pas les monnaies de deux pays différents sans conversion préalable, bien qu'il s'agisse d'argent dans les deux cas, il paraît difficile d'ajouter l'énergie brute et l'énergie non renouvelable.

- Prendre en compte l'énergie brute dans les calculs pourrait amener à des aberrations dans une approche environnementale. En effet, on favorise ainsi la consommation d'intrants sans énergie brute : de l'urée plutôt que du soja, des engrais chimiques plutôt que le lisier de la porcherie voisine.

- Inversement, imaginons la mise en place d'un système de soutien aux exploitations ayant un bon rendement énergétique. Si l'on ne prend pas en compte l'énergie brute des intrants, un agriculteur aurait intérêt à vendre les céréales ou la paille produite sur son exploitation tout en rachetant l'équivalent à un voisin. Ainsi, d'un côté, en entrée, on ne comptabilise pas d'énergie brute, alors que de l'autre, on considère une énergie brute en sortie. L'énergie brute des produits sera alors nettement supérieure à l'énergie non renouvelable des intrants, ce qui améliorera considérablement les résultats énergétiques de l'exploitation. Avec ce raisonnement, on favorise également les élevages hors-sol par exemple, qui achètent des quantités très importantes d'aliments dont on ne comptabilisera pas l'énergie brute.

**Energie brute et énergie non renouvelable apportent donc des éléments complémentaires pour l'analyse énergétique de l'exploitation en termes de fonctionnement et d'efficacité.** N'ayant pas d'éléments nous permettant de favoriser une approche ou l'autre, nous avons décidé de **les considérer toutes deux mais sans les ajouter** ; en effet, chacune répond à des objectifs de diagnostic d'exploitation différents, comme nous venons de le voir lors de l'étude de l'exploitation A.

## 2. Le référentiel : difficultés de mise en place

L'élaboration du référentiel est une étape fondamentale de l'analyse énergétique puisqu'elle permet la conversion des divers intrants en une unité commune : le mégajoule ou le litre de fuel. Or, **la mise en place de ces facteurs de conversion est délicate et difficile**. Elle oblige à remonter la filière de production pour chaque intrant. L'efficacité du processus de transformation varie selon les régions et les industries de fabrication, les matières premières mises en jeu. Un certain nombre d'estimations ou de moyennes ont donc été faites pour élaborer le référentiel. Celles-ci peuvent être délicates pour les postes les plus lourds comme la consommation en électricité ou en aliments composés. Dans quelques cas (transport jusqu'à l'exploitation, poudre de lait, sous-produits) nous n'avons pas encore pu évaluer la quantité totale d'énergie nécessaire à l'élaboration de l'intrant. Une réactualisation régulière des données sera nécessaire pour prendre en compte les économies d'énergie permises par l'amélioration de la technologie.

## 3. Collecte des données et variations d'inventaires

La collecte des données **s'appuie sur les dires de l'agriculteur et l'analyse comptable** si elle existe. Nous ne prenons actuellement en compte que ce qui entre et sort de l'exploitation. Cela ne pose pas de problème particulier si celle-ci a atteint son "rythme de croisière" et si nous nous situons en année "moyenne". La collecte des données sur le matériel et les pesticides est cependant très lourde à obtenir et des méthodes de simplification sont à trouver.

Dans le cas d'une exploitation en phase d'évolution, les variations d'inventaire pourront être importantes. Il faudrait alors considérer l'énergie brute produite (et non "sortie") et l'énergie non renouvelable consommée (et non "entrée"), en prenant en compte pour chaque intrant ce qui a effectivement été consommé et produit sur l'exercice. La collecte des données sera alors plus difficile, les factures n'étant plus un indicateur suffisant.

## 4. Prise en compte des sous-produits

L'agriculture permet la valorisation d'un certain nombre de sous-produits ou déchets de l'industrie comme les drèches de brasserie, les boues d'épuration, les pulpes de betteraves, ou encore les tourteaux de soja. Il arrive aussi qu'un agriculteur achète ou vende de la paille à un voisin, ou valorise des lisiers ou fumiers de la porcherie ou du poulailler voisins. Comment comptabiliser ces entrées et sorties de matière en terme d'énergie ? L'agriculteur rend un service à la société et on pourrait être tenté de ne pas comptabiliser de dépenses énergétiques correspondantes. Cependant, **l'utilisation de ce sous-produit par**

**l'agriculteur remplace dans la grande majorité des cas un intrant qu'il achèterait.** Plusieurs options sont envisageables :

- On ne considère que les sous-produits ayant une valeur marchande. Mais dans ce cas, selon les zones, un même sous-produit pourra être considéré comme un déchet ou comme un intrant intéressant.

- Pour obtenir l'énergie non renouvelable nécessaire à l'élaboration du sous-produit, on affecte à l'énergie non renouvelable nécessaire à l'élaboration du produit un coefficient égal au rapport entre les énergies brutes du produit et du sous-produit considérés. Cette solution paraît toutefois un peu arbitraire et pas forcément proche de la réalité.

- On étudie la filière de fabrication du produit et du sous-produit correspondant pour voir si ce dernier a bénéficié d'un processus spécifique (déshydratation, séchage...). On prend alors en compte l'énergie non renouvelable consommée à ce niveau ainsi que pour le transport jusqu'à la ferme. Pour les sous-produits sortant de la ferme, on prend en compte l'énergie brute correspondante.

Cette dernière solution nous paraît la plus adaptée. Elle apporte un bon compromis au fait qu'en utilisant le sous-produit l'agriculteur rend service à la société et que cela compense pour lui un apport d'intrants. Ainsi, dans le cas de sous-produits issus d'une autre exploitation, comme le lisier ou le fumier, on ne prendra en compte que l'énergie nécessaire à son transport. Dans le cas de tourteaux de soja qui auront nécessité une phase d'élaboration spécifique, l'énergie non renouvelable prise en compte intégrera ce facteur. L'énergie correspondant aux sous-produits n'est toutefois pas encore intégrée dans les calculs. Cela se fera dans une étape ultérieure.

## **5. Analyse comparée des systèmes ; écart entre productions végétales et animales**

Les systèmes diversifiés de polyculture - élevage ou d'élevage avec atelier de transformation sont fréquents dans nos régions. Certaines questions, certaines limites de l'analyse énergétique sont apparues à leur étude : L'analyse énergétique du système pris dans son ensemble a-t-elle un sens ? Sinon, peut-elle être faite à l'échelle de l'atelier ? Dans quelle mesure la comparaison de systèmes diversifiés entre eux est-elle possible ?

Nous nous sommes intéressés à la possibilité ou non de comparer des systèmes diversifiés entre eux. En effet, le rapport moyen entre l'énergie nécessaire pour produire une calorie végétale et une calorie animale est de 7.

A ce propos, VIVIEN (1994) citait un extrait de l'article de LINDEMAN paru en 1942 : "avec l'énergie solaire arrivant sur terre, un écosystème dispose d'une certaine quantité et d'une certaine qualité d'énergie. Au fur et à mesure de la transformation de cette énergie le long de sa chaîne trophique, une partie de l'énergie est dissipée par chaque

	Exploitation F	Exploitation G
<b>Caractéristiques de l'exploitation</b>		
Nombre de vaches laitières	33	30
Lait produit (l)	201 000	160 000
SAU (ha)	50	46,5
Maïs ensilage (ha)	9	3
Céréales totales (ha)	22,5	6
Céréales vendues (ha)	16	3
<b>Rendement énergétique</b>		
Global	2,12	1,8
Atelier lait	0,81	1,21
Céréales vendues	8	8,7
<b>Fuel consommé par ha</b>		
SAU (l de fuel/ha)	640	289
Atelier lait (l de fuel/100 l lait)	683	284
Céréales vendues (l de fuel/ha)	383	353

TABLEAU 6 : Analyse énergétique de diverses exploitations de polyculture - élevage.

TABLE 6 : Energy analyses of various mixed crop - livestock farms.

niveau trophique (sous forme de chaleur et de respiration surtout). Mais cette dissipation quantitative a pour contrepartie un gain qualitatif : l'énergie qui au départ était solaire, est devenue végétale, puis animale, conférant des possibilités d'action de plus en plus grandes aux derniers niveaux trophiques et, en dernier ressort, à l'écosystème dans son ensemble".

La vente des produits végétaux permet ainsi d'améliorer considérablement le rendement énergétique d'une exploitation d'élevage alors que la consommation en énergie non renouvelable n'aura pas diminué. **Le rendement énergétique des productions végétales est généralement bien supérieur à 1 tandis qu'il est inférieur à 1 pour les productions animales. De ce fait, il vaut mieux comparer des productions végétales entre elles ou des productions animales entre elles.** Si des productions animales et végétales étaient présentes simultanément sur une exploitation, le premier facteur qui ferait varier le rendement énergétique serait alors la proportion relative des productions végétales dans le produit total comme nous allons le voir par un exemple.

Soit une exploitation F de 50 ha et 33 vaches laitières (tableau 6). Elle produit 201 000 litres de lait et vend la production de 16 ha de céréales. Son rendement énergétique global (énergie brute produite/énergie non renouvelable consommée) est de 2,12 ; le rendement énergétique de l'atelier lait est de 0,81 et celui de l'atelier céréales vendues de 8 (en admettant qu'on ait réussi à isoler correctement les deux ateliers).

Soit une seconde exploitation G de 46,5 ha et 30 vaches laitières. Elle produit 160 000 litres de lait et vend la production de 3 ha de céréales. Son rendement énergétique globale est de 1,8, celui de l'atelier lait de 1,2 et celui de l'atelier céréales vendues de 8,7.

La production de céréales pour la vente (16 ha pour F et 3 ha pour G) améliore le rendement énergétique des exploitations F et G de 160% et 50% respectivement.

Le rendement énergétique de l'exploitation F étant supérieur à celui de G, l'exploitation F semble, à première vue, plus efficace que

l'exploitation G. Paradoxalement, les rendements énergétiques par atelier de l'exploitation G sont tous deux supérieurs à ceux de l'exploitation F qui consomme d'ailleurs plus de fuel à l'hectare, globalement et par atelier, que l'exploitation G. Le rendement énergétique global apparaît donc comme trompeur et il doit dans tous les cas s'accompagner de la consommation d'énergie fossile par ha.

**La comparaison de systèmes diversifiés en polyculture élevage sur la base du rendement énergétique global nous paraît donc difficile.** En revanche, dans le cas d'ateliers bien distincts pour lesquels le problème de l'affectation des ressources ne se pose pas, **l'approche par atelier sera intéressante. Il faudra néanmoins toujours compléter l'analyse des résultats par une approche globale de l'exploitation** afin de prendre en compte sa cohérence globale. Enfin, la comparaison des quantités d'énergie non renouvelable consommée pour une production donnée ramenées à l'hectare, au quintal de blé ou pour 100 litres de lait produits pourra rester pertinente. Elle permettra d'évaluer si les variations sont significatives entre exploitations ainsi que les éléments déterminants des variations entre différents systèmes.

De la même façon, l'analyse d'un système diversifié dans le temps ne sera possible que si la part respective de chaque atelier est restée constante.

## 6. Influence du contexte pédoclimatique

**Le contexte pédoclimatique peut influencer le rendement énergétique.** La pente, le type de sol, la pluviométrie conditionnent en effet le rendement de la production et la consommation en intrants. Il faut en tenir compte dans l'analyse des résultats et *a fortiori* dans la comparaison d'exploitations entre elles, qui ne peut se faire que dans un contexte agroclimatique donné.

## Conclusion

Développée au moment des crises pétrolières des années 70, l'analyse énergétique redevient d'actualité dans une réflexion sur la durabilité de l'agriculture et sur son impact sur l'environnement.

Encore récente, cette approche nécessite l'établissement de références permettant de comprendre et de situer sur une échelle "d'efficacité énergétique" les résultats d'une exploitation. **Les coefficients énergétiques unitaires devront être complétés, affinés, réactualisés** régulièrement pour prendre en compte les améliorations techniques et les économies d'énergie dans la production des intrants. Par ailleurs, **certains aspects méthodologiques devront être approfondis** tels que la prise en compte de l'énergie brute des intrants ou des sous-produits et l'analyse des systèmes diversifiés.

**Une grande prudence est nécessaire si l'on veut comparer un ensemble d'exploitations uniquement sur la base du rendement**

**énergétique.** En effet, d'une part, la vente de produits végétaux influe considérablement sur le rendement énergétique global d'une exploitation, d'autre part, un bon rendement global peut cacher des rendements énergétiques par atelier médiocres. Les exploitations diversifiées ayant rarement les mêmes ateliers dans les mêmes proportions, on comparera sur la base du rendement énergétique global uniquement les systèmes spécialisés. En revanche, on pourra comparer les consommations d'énergie non renouvelable par hectare de SAU d'un ensemble d'exploitations si l'objectif est d'évaluer l'impact environnemental des systèmes.

**L'analyse énergétique apporte des éléments complémentaires** aux analyses habituellement employées pour le diagnostic et le conseil (analyse technico-économique, bilan des minéraux, organisation du travail...). **Elle permet d'identifier les postes les plus consommateurs en énergie non renouvelable sur lesquels l'exploitant pourra intervenir. Mais, elle permet également de réfléchir et d'ouvrir les débats à des problèmes plus globaux** comme le renforcement de l'effet de serre, la valorisation des potentialités agricoles locales, l'agriculture durable ainsi qu'à la fixation de contraintes écologiques dans une économie de marché.

On espérait par l'analyse énergétique s'affranchir des biais inhérents à l'approche économique. Or, **l'analyse énergétique comporte elle-même de nombreuses limites... Elle n'est qu'un outil de diagnostic parmi d'autres.** Le diagnostic d'un système d'exploitation nécessite la mise en oeuvre complémentaire de différents outils, par exemple :

- le revenu net pour l'agriculteur pour une quantité donnée de produit ;
- la quantité d'énergie non renouvelable nécessaire pour obtenir une quantité donnée de produit (en différenciant les produits obtenus) ;
- la surface nécessaire pour obtenir une quantité donnée de produit ;
- le temps de travail nécessaire pour obtenir une quantité donnée de produit ;
- la qualité du produit obtenu (critère complexe !) ; etc.

**Enfin, il ne faut pas oublier de comparer la consommation énergétique de la production agricole à la consommation énergétique des autres activités** (soit dans la filière agro-alimentaire elle-même, soit dans l'ensemble de la société), pour s'attaquer d'abord aux postes les plus gourmands en énergie et à ceux pour lesquels les économies sont les plus faciles. Or, à l'heure actuelle, est-ce un objectif recherché par la société ? En cas de crise de l'énergie, quelles voies seraient préconisées pour y faire face ?

Accepté pour publication, le 17 juillet 1997.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEL F., LE PAPE Y., MOLLARD A. (1978) : *Analyse énergétique de la production agricole : concepts et méthodes*, Grenoble INRA-IREP, 163 p.
- BERTILSSON G. (1992) : "Environmental consequences of different farming system using good agricultural practices. Proceedings", No 332. The Fertilizer Society, London Zit. n. Van Dasselaar, A. und Pothoven, R : "Energieverbruik in de nederlandse landbow. Vergelijking van verschillende bemestingsstrategien". NMI 1994 ("Consommation d'énergie dans l'agriculture Néerlandaise. Comparaison des différentes stratégies des apports d'engrais (chimiques et de ferme)").
- BONNY S. (1980) : *Estimation des consommations énergétiques de quelques productions en systèmes de grande culture et système laitier*, 3<sup>e</sup> 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, 45 p (réédition d'un texte paru en 1981 avec remises à jour).
- 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", *Deux siècles de progrès pour l'agriculture et l'alimentation*, Tec & Doc Lavoisier, AAF, Paris, 63-69.
- 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 : Engiverbruik in de nedelandese landbow. Vergelijking van verschillende bemestingsstrategien. NMI 1994. ("Energie et normes de quantités pour l'élevage ", parties 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).
- CAPILLON A., MANICHON H. (1988) : *Guide d'étude de l'exploitation agricole à l'usage des agronomes*, Relance Agronomique / ADEPRINA / APCA.
- 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.
- DOERING O.C.(1980) : "Accounting for energy in farm machinery and buildings", *Handbook of energy utilization in agriculture*, Pimentel D. ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, 9-14.
- FAUCHEUX S., VIVIEN F.D (1992) : "Plaidoyer pour une écoénergétique", *La Recherche*, vol. 23, mai, 626-629.
- GOUTAGNY C. (1992) : *L'autonomie en intrants, étude économique en production laitière dans les Monts du Lyonnais*, Lyon, CEIPAL, 62 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.
- INRA (1988) : *Alimentation des bovins, caprins, ovins - Table de la valeur nutritive des aliments*, 192 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 fuel domestique*, MFE ESITPA, 122 p.
- LAMBERT L., GAILLARD G. (1996) : "Part II of life cycle assessments sinensis cropping and combustion for a 1MW combustion plant in comparison with shavings and fuel oils : environmental assessment" (soumis pour publication).
- LINDEMAN R. (1942) : "The trophic Dynamic Aspect of Ecology", *Ecology*, 23, 399-417.
- MÉNÉGON M. (1996) : *Analyse énergétique des systèmes céréaliers*, Chambre d'Agriculture de l'Eure - Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan, 123 p.
- MUGHAL A (1994) : *Valorisation intégrée d'agro-ressources non alimentaire : 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 Energieeinsatz 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*).
- PASSET R. (1979) : *L'économie et le vivant*, Payot, Paris, 287 p.
- PIMENTEL D., HURD L.E et al. (1973) : "Food production and energy analysis", *Science*, 182, 443-449.
- PIMENTEL D. (1980) : "Energy inputs for the production, formulation, packing and transport of various pesticides", *Handbook of energy utilization in agriculture*, CRC Press, Boca Raton (Florida), S. 45-118.
- POLY J. (1978) : *Pour une agriculture plus autonome et économe*, INRA.
- STOLL J. (1993) : *Réflexions à propos d'une nouvelle orientation de l'agriculture*, Fédération des Herdbooks Luxembourgeois, 12 p.
- VIVIEN F.D. (1994) : *Economie et écologie*, Repères, La Découverte, 121 p.

## SUMMARY

### **Energy analysis at the farm level. Methodology, advantages, limitations**

Energy analysis at the farm level consists in the accounting of the flows of non-renewable energy consumed directly on the farm (fuel oil, electricity, etc.) or indirectly for the manufacture of inputs (extraction, transport, elaboration, etc.), as well as of the flows of gross energy contained in the plant and animal products entering or leaving the farm. The principles of the analysis and the setting-up of references are described ; actual examples of energy analyses on farms are given. This type of analysis makes it possible to spot the items most responsible for the consumption of non-renewable energy and to assess the farm's energetic efficiency. Reflections on how long the systems can last and on their effect on the environment are also made possible. There is a broad discussion on the methodological problems involved and on the limits of possible comparisons between energy analyses of different farms.