

Efficacité énergétique et diversité des systèmes de production agricole

Application à des exploitations bourguignonnes

Bernardette Risoud et Bernard Chopinet

La recherche d'un développement durable apparaît comme une priorité des politiques actuelles. L'agriculture se voit instamment assigner des fonctions environnementales et de préservation des ressources naturelles, en surcroît de sa fonction première de production alimentaire. Dans ce contexte, l'image de l'agriculture globalement productrice d'énergie alimentaire grâce à la capacité de photosynthèse des plantes est-elle valide aujourd'hui, quels que soient les systèmes de production ? Les résultats d'analyses énergétiques appliqués à diverses exploitations agricoles bourguignonnes permettent de discuter ici cette question : les quantités d'énergie non renouvelable requises par les processus de production agricoles sont déterminées ainsi que les efficacités avec lesquelles elles sont utilisées.

L'analyse énergétique appliquée à l'agriculture

En réduisant tous les éléments biologiques et physiques d'un écosystème à des formes et à des échanges énergétiques, Raymond Lindeman, en 1942, a été le précurseur de l'éco-énergétique. Avec l'énergie solaire (encadré 1) 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 la chaîne alimentaire, une partie de l'énergie est dissipée¹

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 (Vivien, 1994).

Considérant un écosystème comme un système auto-organisateur qui capte de l'énergie à son profit, on peut mesurer les résultats d'un tel processus par des calculs de bilans, de productivités, d'efficacités énergétiques. Cette méthode est applicable par extension à tout système organisé, en particulier à l'agriculture. L'appréciation de l'ensemble des flux d'énergie en jeu au niveau d'un système constitue ce qu'on appelle une analyse éco-énergétique. Lorsque seules les énergies non-renouvelables sont comptabilisées en entrée du système, on parle simplement d'analyse énergétique. Le caractère universel de l'énergie (tout est énergie, et peut être converti en unité énergétique) en fait un outil aisé, à caractéristiques comptables (Vivien, 1994).

Après les chocs pétroliers de 1973 et 1979, les pays développés constatent leur dépendance énergétique vis-à-vis des pays exportateurs de pétrole. Cette prise de conscience touche l'agriculture, et des études montrent que, au fur et à mesure de sa modernisation, l'agriculture des pays développés est devenue de plus en plus consommatrice d'énergie fossile (Pimentel, Hurd *et al.*, 1973 ; Bonny, 1980), en utilisant

1. Conformément au principe de croissance de l'entropie.

Bernadette Risoud
Département d'économie et sociologie
et Bernard Chopinet
Département des Sciences pour l'ingénieur
ENESAD
BP 87999
21079 Dijon Cedex

Encadré 1

L'énergie

L'**énergie** est un mot qui vient du grec signifiant : *force en action*. L'énergie se définit comme la faculté que possède un système de corps de fournir du travail (Petit Larousse, 1959) ou encore comme la grandeur caractérisant un système et exprimant sa capacité à modifier l'état d'autres systèmes avec lesquels il entre en interaction (Petit Larousse, 1996). Les différentes formes d'énergie sont l'énergie rayonnante, chimique, électrique, thermique, nucléaire, mécanique et hydraulique, qui peuvent dans certains cas se convertir d'une forme à l'autre. Ainsi, de l'énergie rayonnante solaire est-elle convertie en énergie chimique par la photosynthèse des végétaux chlorophylliens.

On distingue habituellement deux types différents d'énergie, cette fois-ci selon leur source :

– les **énergies non renouvelables**, c'est-à-dire qui ne se reconstituent que très lentement à l'échelle humaine ; ce sont les énergies fossiles (pétrole, charbon) et nucléaires, présentes dans l'écorce terrestre. Elles sont assimilables à des stocks ;

– les **énergies renouvelables** qui, d'une part, se reconstituent rapidement : bois, autres formes organiques, ou, d'autre part, proviennent de sources inépuisables comme le soleil, le vent, l'eau, qui sont assimilées à des flux.

L'agriculture met en jeu ces deux types différents d'énergie, dont l'utilisation a des conséquences distinctes sur l'environnement : la consommation d'énergie fossile produit des gaz indésirables (pollutions des villes, pluies acides, effet de serre) et diminue les réserves. Avec l'utilisation d'énergies renouvelables, ces inconvénients sont minimisés.

2. L'énergie est également un des critères des Analyses de Cycle de Vie (ou Écobilans).

3. Pour le transport des aliments du bétail, la région Bourgogne étant située à égale distance des différents ports français et hollandais, la distance port-exploitation a été évaluée à 500 km dans tous les cas.

4. ou énergie digestible, donnée par les tables d'alimentation des animaux INRA.

des quantités importantes d'intrants, tels que les engrais minéraux, et par un recours accru à la mécanisation. Puis cet intérêt pour la composante énergie laisse place à un net désengagement en raison de la chute des prix du pétrole à partir de 1986. Au cours de cette décennie cependant, on assiste pour les grandes cultures à une amélioration des efficacités énergétiques, grâce à l'augmentation des rendements physiques des cultures et à la diminution du contenu énergétique unitaire des intrants liée au progrès technologique dans les industries d'amont (Ménégon, 1996).

Au cours des années 1990, les possibilités de production d'énergie à partir de biomasse, (notamment des biocarburants) et le concept d'**agriculture durable** viennent réanimer l'intérêt

5. Le groupe Planète est constitué de la Fédération des Herd-Books Luxembourgeois, du Centre d'études internationales paysannes et d'actions locales (ONG lyonnaise), de l'Institut de l'élevage (centre de Nancy), de l'ENESAD, du CEDAPAS (Pas-de-Calais), du CETA de Thiérache, de l'ALDIS (ONG Mayenne) et de SOLAGRO. Le référentiel complet est disponible sur demande auprès de chacun de ces partenaires.

de disposer de données sur la composante énergie. De nouvelles études (CCPCS, 1991 ; Lambert, 1995 ; Menegon, 1996 ; Ferrière *et al.*, 1997 ; etc.), actualisent alors à la fois les méthodes de calcul et les équivalents énergétiques nécessaires à l'analyse énergétique d'une culture, d'une exploitation agricole ou globalement d'une filière². L'enjeu est environnemental, pour la maîtrise de l'effet de serre et de l'utilisation de ressources non renouvelables, mais aussi économique et social, l'énergie fossile pouvant dans certains cas être remplacée par des ressources humaines et matérielles locales.

Méthode adoptée et échantillon étudié

L'étude présentée ici met en œuvre des analyses énergétiques appliquées à l'échelle de l'exploitation agricole.

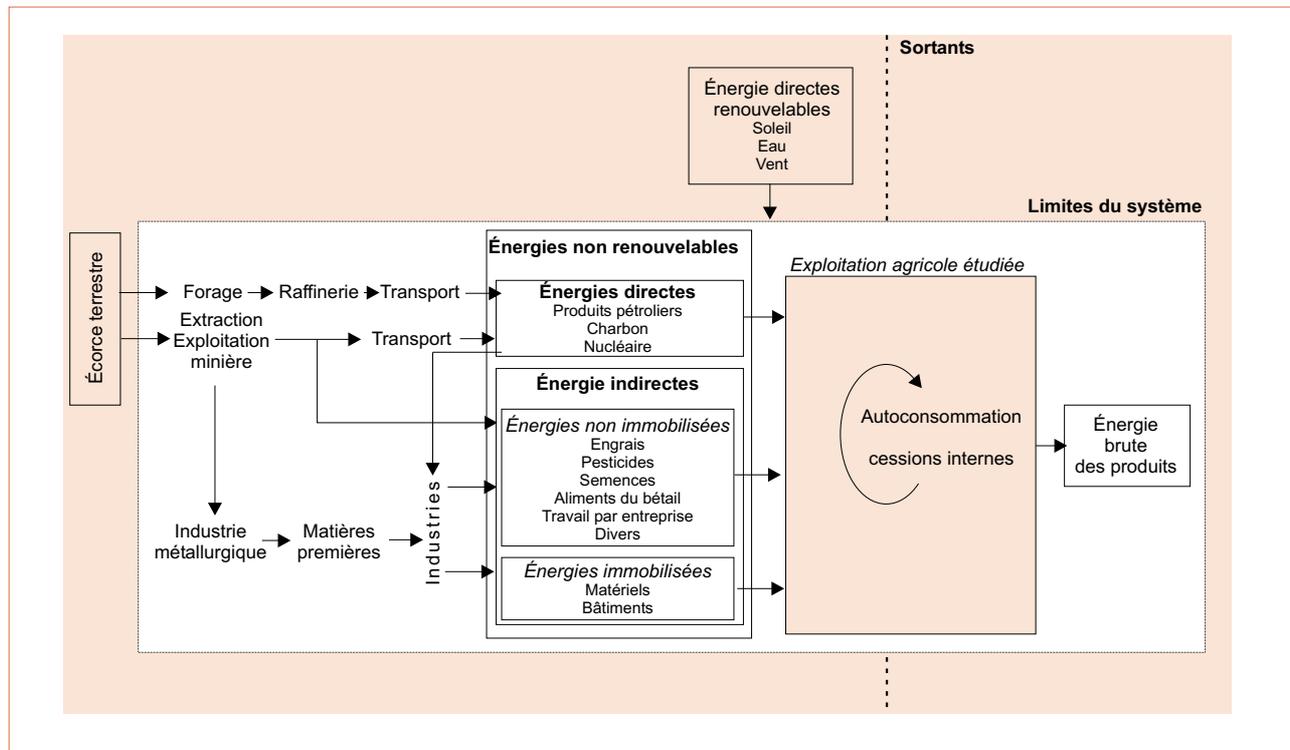
■ Le système analysé et le référentiel choisi

Il est constitué de l'ensemble des flux d'énergie non renouvelable ayant participé à l'élaboration et au transport³ des intrants de l'exploitation agricole, ainsi que du matériel (depuis l'extraction de leurs matières premières jusqu'au produit fini) et de l'ensemble des produits de l'exploitation agricole exprimés par leur énergie brute⁴ (figure 1).

Le référentiel de conversion en énergie des différents intrants, utilisé lors de l'étude, est celui du groupe Planète⁵. Quelques valeurs sont données à titre indicatif dans l'encadré 2.

Le travail humain est considéré comme une énergie renouvelable et n'est pas comptabilisé. Pour cette étude, un certain nombre de simplifications ont été adoptées : les bâtiments de stockage n'ont pas été pris en compte, ni l'eau utilisée. Les sous-produits de l'activité agricole n'ont pas été comptabilisés et, de ce fait, la valeur énergétique des déjections qui sortent des exploitations hors-sol n'a pas été considérée.

Connaissant la totalité des dépenses d'énergie non renouvelable ainsi que la quantité d'énergie brute produite, il est possible de déterminer la relation qui s'établit entre les sorties utiles du système de production agricole et les



entrées coûteuses en énergie nécessaires à leur production, pour un état donné des techniques (Bel *et al.*, 1978). Ceci, nous conduit au ratio suivant :

$$\text{efficacité énergétique} = \frac{\text{énergie brute produite}}{\text{énergie non renouvelable dépensée}}$$

Ce ratio donne l'efficacité productive de l'énergie non renouvelable utilisée par l'agriculture. Cela ne signifie pas que les intrants énergétiques gratuits fournis par la nature n'aient aucune efficacité productive. Au contraire, si le recours aux ressources naturelles renouvelables et gratuites est plus important, l'efficacité productive d'un système de production agricole sera plus élevée, à production constante (Bel *et al.*, 1978).

■ Présentation de l'échantillon

L'étude, réalisée en 1997, et portant sur 11 exploitations agricoles bourguignonnes, s'appuie sur des données recueillies auprès des agriculteurs et des documents comptables⁶.

Les différentes exploitations ont été choisies parmi les divers systèmes de production pré-

sents en Bourgogne. Compte tenu du faible nombre d'exploitations étudiées, on ne peut parler de représentativité au sens statistique, mais elles tentent d'illustrer, quoique de façon incomplète, une certaine diversité des systèmes de production agricole dans cette région⁷. L'échantillon étudié présente donc volontairement de grandes disparités.

On distingue trois grands types d'exploitations, soient :

- celles spécialisées en production végétale (exploitations n° 1 et 2) ;
- les exploitations mixtes (exploitations n° 3, 4 et 5) ;

▲ Figure 1. – Organigramme des flux d'énergie avec représentation des limites du système (d'après Lambert, 1995).

6. Ce travail a été réalisé par quatre élèves-ingénieurs ITA (L. Argaud, S. Blaise, B. Dufresnoy, F. Jacquemet) de l'ENESAD, sur la base d'un questionnaire précis, portant sur l'année 1995. Suivant le degré de préparation des agriculteurs (documents préparés, chiffres connus...), l'entretien durait de deux à trois heures et demie.

7. La viticulture a été laissée volontairement de côté, du fait de sa spécificité. Elle nécessiterait à elle seule une étude détaillée, en fonction des types d'appellations.

– celles spécialisées en production animale (exploitations n° 6, 7, 8, 9, 10 et 11).

Encadré 2. – Exemples de valeurs de contenus énergétiques primaires, extraits du référentiel Planète 1999.

INTRANTS			
Type d'intrants	Unité	Energie primaire (MJ/unité)	Source
Énergie directe fioul-gazoil	litre	40,7	Combes, HBL
Énergie indirecte Engrais minéraux			
N	kg	47,1	Patyk, Audsley
P ₂ O ₅	kg	15,8	Patyk, Audsley
K ₂ O	kg	9,3	Patyk, Audsley
CaO	kg	2,1	Patyk, Audsley
Aliments du bétail			
Granulé herbivores	kg	4,3	CEIPAL, HBL, Agreste
Farine herbivores	kg	3,8	
Semences céréales	kg	8	CCPCS
Matériel (à amortir) tracteur	kg	23,4	Combes, Lambert
Transport			
Par camion	tonne*km	0,85	OFEPF
Par voiture	tonne*km	2,8	
Par tracteur	tonne*km	3,2	
Par cargo	tonne*km	0,25	
Par chemin de fer	tonne*km	0,33	
PRODUITS			
Type de produit	Unité	Energie brute (MJ/unité)	Source
Blé	kg MS	15,77	INRA
Orge	kg MS	15,87	INRA
Maïs grain	kg MS	16,16	INRA
Colza	kg MS	25,14	INRA
Lait de vache	litre	3,06	HBL, CEIPAL
Viande vache allaitante	kg vif	15,2	HBL, CEIPAL

Leur dimension économique varie de façon significative, avec un excédent brut d'exploitation s'échelonnant de 120 000 (n° 10) à 890 000 francs (n° 5), la majorité d'entre elles se situant entre 350 000 et 600 000 francs.

Les pratiques adoptées sont différentes : certains ateliers de production animale sont de nature artisanale (et s'appuient sur cette image de marque), alors que d'autres présentent un caractère industriel avancé. Une conséquence de cette disparité dans les pratiques est un recours plus ou moins important aux apports extérieurs : énergie directe, engrais, aliments, ...⁸.

Du point de vue énergétique, tous calculs effectués sur la base du « référentiel Planète », le total des intrants s'échelonne de 500 GJ⁹ (n° 9 et 11) à environ 5 000 GJ (n° 5 et 8). 7 exploitations sur 11 totalisent des intrants énergétiques compris entre 1 300 et 3 200 GJ (tableau 1 : exploitations notées en rouge).

L'ensemble de ces éléments incite, bien évidemment, à se garder de toute généralisation pouvant être faite à partir des résultats obtenus, mais devrait permettre d'ouvrir une réflexion sur les conséquences des choix faits par les exploitants quant à leur mode de production et sur les différences entre les productions.

Comment expliquer la diversité des efficacités énergétiques d'une exploitation à l'autre ?

■ Synthèse des résultats

Une analyse des résultats sur la base des productions économiques dominantes permet de retrouver la tendance qui veut que l'efficacité énergétique diminue quand la part de produc-

8. Les échanges internes, tels que les amendements organiques à partir des effluents produits par l'élevage, ou l'autoconsommation de produits végétaux par les animaux, ne sont pas pris en compte ; de ce fait soulignons qu'un recours significatif à des apports internes à l'exploitation diminue les intrants, mais peut aussi réduire les produits.

9. 1 GJ (= 10⁹J) = 1 milliard de Joules ; le Joule (symbole : J), unité légale d'énergie, étant l'énergie nécessaire pour déplacer une charge de 1 Newton (1 N) sur une distance de 1 mètre.

tion animale augmente (tableau 1). De plus, on peut remarquer que, dès qu'il y a vente de produits végétaux, l'exploitation voit une augmentation de son efficacité. D'autre part, si les efficacités énergétiques les plus faibles (inférieures à 1) sont obtenues pour les exploitations intégralement consacrées à la production animale, parmi celles-ci, les exploitations hors-sol (n° 8, 9, 10 et 11) présentent toutes une efficacité inférieure à 0,5 : cette faible valeur s'explique essentiellement par leur dépendance vis-à-vis de l'extérieur pour l'alimentation des animaux (encadré 3).

Le premier poste consommateur d'énergie, hormis les élevages hors-sol (et un producteur de céréales « gourmand » en engrais - exploitation n° 2), est constitué par l'énergie directe achetée (carburant, électricité, ...) et varie en-

tre 25 et 50 %. L'importance de ces dépenses par rapport à la totalité des intrants devrait permettre d'envisager une économie possible dans ce domaine facilement contrôlable par l'agriculteur. Vient ensuite, chez les exploitants en production végétale, l'utilisation des engrais minéraux, sachant que le recours aux engrais organiques (surtout s'ils sont produits à partir des effluents provenant de l'exploitation) dans le cadre d'une fertilisation raisonnée peut permettre de diminuer les intrants énergétiques.

D'une façon générale pour les productions animales, le troisième poste consommateur d'énergie (premier dans les élevages hors-sol) est l'alimentation. Pour ce qui concerne l'autoconsommation, on peut faire la même remarque que pour l'utilisation d'amendements organiques produits sur l'exploitation : une telle pratique

Encadré 3

Les exploitations enquêtées

Les 11 exploitations étudiées sont réparties sur l'ensemble de la Bourgogne et présentent des caractéristiques fort différentes tant du point de vue de la nature que du mode de production. La dimension, la localisation, la nature du sol, ainsi que la plus ou moins grande dépendance vis-à-vis de l'extérieur sont autant de facteurs de diversité. On distingue :

– deux exploitations en production végétale de surface voisine (resp. 150 et 180 ha), sur des terrains de nature identique et des assolements similaires (environ 40 % de blé, 30 % de colza, 15 % d'orge et 12 % de jachère en 1995). La différence essentielle entre ces deux exploitations correspond à une consommation significativement plus importante en engrais minéraux par l'exploitation n° 2 (+65 % par rapport à l'exploitation n° 1) ;

– deux exploitations laitières de référence de 370 000 et de 420 000 litres (troupeaux respectifs de 60 Holsteins et 80 Montbéliardes) pour des SAU voisines de 100 ha. La seconde (n° 7) autoconsomme 40 % de la production de sa SAU (sols pauvres) et produit également des taurillons, alors que la première (n° 3) n'autoconsomme que 25 % ;

– deux exploitations de vaches allaitantes (resp. 190 et 105 UGB) sur des surfaces voisines de 170 ha, avec des chargements identiques (1,3 UGB/ha de surface fourragère). L'une des exploitations (n° 6), spécialisée exclusivement dans la vente d'animaux, doit se fournir en paille à l'extérieur, alors que l'autre (n° 4) consacre

la moitié de sa SAU aux cultures de vente et s'auto-fournit en litière ;

– une exploitation porcine (n° 5) – naisseur-engraisseur hors-sol – de 120 truies pour 2 100 porcs engraisés, avec une SAU de 200 ha (50 % de céréales autoconsommées, 50 % de cultures de vente). L'essentiel de l'aliment est produit sur l'exploitation et n'apparaît pas en intrant dans le bilan énergétique ;

– deux exploitations de poules pondeuses en hors-sol. Bien que la première, (n° 8) qui compte 20 000 poules, soit de type industriel (alimentation et ramassage des œufs automatiques, régulation de l'ambiance, ...) et la seconde (n° 9) (2 000 poules) de type artisanal (ramassage manuel, élevage en semi-plein air, ...), la répartition énergétique des intrants (en pourcentage) montre de fortes similitudes entre les deux exploitations. L'économie d'échelle qu'on pouvait pressentir est masquée par le poids du poste alimentation ;

– une exploitation cunicole (n° 10) – 400 mères et 50 mâles reproducteurs – qui montre une répartition énergétique des intrants proche de celle des poules pondeuses. De l'ensemble de l'échantillon étudié, cette exploitation présente la plus petite taille économique (EBE = 120 000 francs) ;

– une exploitation caprine (n° 11) : 45 chèvres élevées pratiquement en hors-sol (3,5 ha) pour la production de fromage en vente directe. En l'absence de référence énergétique sur les fromages de chèvre, on comptabilisera comme produit le lait non transformé.

Exploitation n° (production)	efficacité énergétique	SAU (en ha)	EBE (en kF) dominante	Type de production	Part de la surface en cultures de vente	Total intrants (en GJ)	Part d'énergie dépensée			
							Énergie directe	Engrais	Aliments	
1 cultures	8,8	150	430	végétale	100%	1 300	47%	35 %	0 %	
2 cultures	5,9	180	610		100%	2 800	28 %	57%	0 %	
3 (lait+cultures)	4,7	120	nd	mixte	50%	2 200	38 %	17 %	13 %	
4 (viande+cultures)	4,2	180	360		50%	2 800	33 %	33 %	12 %	
5 (porcs+cultures)	1,6	200	890		50%	4 700	45 %	27 %	1 %	
6 (viande)	0,8	160	600	animale	5%	1 300	32 %	12 %	23 %	
7 (lait)	0,6	100	540		0%	3 200	26 %	22 %	21 %	
8 (œufs)	0,5	0	nd		hors-sol		5 300	7 %	0 %	86 %
9 (œufs)	0,4	0	nd				500	3 %	0 %	88 %
10 (lapins)	0,3	0	120				1 300	5 %	0 %	89 %
11 (lait-chèvre)	0,1	3,5	nd			500	36 %	0 %	61 %	

▲ Tableau 1. – Synthèse des résultats de l'étude.

s'accompagne d'une diminution des intrants. Ce constat est particulièrement accentué dans le cas de l'exploitation porcine (n° 5) pour laquelle 50 % des cultures sont auto-consommées et constituent l'essentiel de la ration alimentaire¹⁰.

Viennent ensuite, le poste matériel (hormis pour les élevages hors-sol), de l'ordre de 10 % en moyenne, et le poste pesticides lorsqu'il y a production végétale (entre 5 et 10 %).

La répartition des intrants entre les différents ateliers d'une exploitation mixte n'a pas été estimée ici, ce qui rend impossible une analyse sectorielle. Deux ateliers identiques dans des

exploitations mixtes différentes ne peuvent être comparés que si les informations sont recueillies en ce sens, comme l'avaient fait Ferrière *et al.*, (1997) afin de séparer les flux énergétiques allant vers différents ateliers. Notons qu'il est aussi pertinent (Risoud, 1999) d'effectuer des analyses énergétiques à l'échelle de la parcelle, ce qui permet de comparer les différents itinéraires techniques d'une culture donnée.

■ Variabilité des efficacités énergétiques entre productions animales et productions végétales

En raison des pertes énergétiques (métabolisme) à chaque maillon des chaînes alimentaires, l'efficacité énergétique d'un système d'élevage sera inférieure à celle d'un système céréalier. En effet, il y a perte lors de la transformation de l'énergie des fourrages en viande (métabolisme), de l'énergie étant notamment utilisée au simple

10. Mais, dans la mesure où les produits auto-consommés sur l'exploitation ne sont pas exportés, cette diminution des intrants (qui va dans le sens d'une amélioration de l'efficacité énergétique) s'accompagne d'une diminution des produits de l'exploitation (qui a un effet contraire sur l'efficacité).

maintien des animaux (respiration, homéothermie). On estime que, selon les espèces, il faut 6 à 9 calories végétales pour élaborer 1 calorie animale.

Mais Bonny, dès 1980, signale que l'efficacité énergétique a l'inconvénient de comparer des mégajoules alimentaires à des mégajoules fossiles. En fait, même si on dépense plus d'énergie fossile qu'on ne produit d'énergie alimentaire (efficacité < 1), cet auteur précise que « *cela n'est pas gênant en soi, puisque une forme d'énergie est utilisable pour l'alimentation [...], l'autre non* ». Cette constatation fait référence à l'aspect qualitatif de l'énergie.

■ **Les limites de l'étude**

La période d'analyse : limiter l'étude à une seule année, ne nous permet pas d'effacer l'effet année. En effet, le climat a une incidence sur l'itinéraire technique d'une culture, sur l'alimentation des animaux (pâture plus ou moins abondante, qualité des fourrages...) et d'une année sur l'autre, les assolements sont variables, ce qui peut amener, sur les productions végétales, à des écarts d'efficacité importants (Ménégon, 1996).

Le contexte de l'étude a conduit à de nombreuses simplifications (voir la partie « le système analysé et le référentiel choisi ») et les chiffres restent indicatifs.

La diversité des productions conditionne la diversité des résultats, mais aussi les divers modes de production. Ainsi, l'élevage de chèvres apparaît ici très peu efficace parce qu'il est conduit pratiquement en hors-sol, les aliments des chèvres venant intégralement de l'extérieur. Il faut donc bien se garder de généraliser ces résultats à tous les élevages caprins, quelles que soient les surfaces fourragères des exploitations. Les comparaisons avec d'autres exploitations ne sont par ailleurs possibles que pour des analyses énergétiques utilisant le même référentiel de conversion des intrants en énergie.

Conclusion : durabilité et efficacité énergétique

Nous n'avons pas cherché à établir si efficacité énergétique et rentabilité financière vont dans le même sens ; il est clair toutefois que la prise

en considération de cette efficacité se fera naturellement lorsque les énergies non-renouvelables et leur utilisation deviendront plus coûteuses. Les années passées ont montré qu'il pouvait exister une synergie entre les aspects économiques et énergétiques : la baisse des prix agricoles consécutive à la réforme de la PAC de mai 1992 a incité les agriculteurs à réduire leurs charges en adaptant de façon plus fine et plus précise les apports d'intrants aux besoins des cultures. Ce comportement a conduit à une amélioration de l'efficacité énergétique des intrants. Cette baisse a également amené des exploitants à auto-produire les aliments de bétail.

Les meilleures efficacités énergétiques restant attachées aux productions végétales, on ne peut pas pour autant nier l'intérêt et la nécessité des productions animales, qui permettent, entre autres, la valorisation de prairies montagneuses et des sous-produits des cultures. Ainsi on peut constater qu'avec une efficacité énergétique toujours supérieure à 1, l'ensemble des exploitations mixtes enquêtées présente un niveau performant, et que ce type de structures induit un bilan satisfaisant. Pour ce qui concerne les exploitations mono-productrices, on pourrait imaginer des échanges croisés entre producteurs d'aliments du bétail et producteurs d'effluents, qui amèneraient à une efficacité énergétique globale voisine de celle que l'on observe au niveau des exploitations mixtes. Une démarche de ce type ne prendrait son intérêt que si les exploitants impliqués appartiennent au même bassin de production, afin de limiter la consommation énergétique due aux transports (*cf.* encadré 2).

L'agriculture est une des rares activités humaines qui, à l'échelle de la planète, peut produire plus d'énergie qu'elle n'en consomme, grâce à la photosynthèse. Cependant, la moitié des exploitations agricoles étudiées ici contredisent ce fait, avec une efficacité énergétique inférieure à 1. Ce sont les exploitations spécialisées dans les productions animales. Leur pérennité n'est possible que parce qu'elles ont recours à des productions végétales extérieures pour l'alimentation des animaux. Dans une recherche d'agriculture durable, il apparaît fondamental que ce recours ait lieu dans la proximité de l'atelier

11. Étant entendu que le pâturage direct par l'animal est à cet égard le plus efficace.

animal, afin que le transport des aliments ne représente pas une dépense énergétique élevée¹¹. L'actuelle mondialisation des échanges se développe dans un contexte économique où les coûts de l'énergie (notamment du pétrole) sont particulièrement bas : le raisonnement en terme énergétique soulève des interrogations quant à la poursuite de cette évolution.

De plus, on connaît aujourd'hui les conséquences néfastes de notre consommation débridée d'énergie fossile (effets de serre, pollutions atmosphériques, bruits, encombrements, accidents). D'autre part, la trop forte spécialisation

géographique de l'agriculture entraîne, d'un côté, des problèmes de gestion des effluents d'élevage dans les zones à excédent structurel, et, de l'autre côté, l'érosion et l'appauvrissement des sols par manque d'humus dans les régions de grandes cultures.

Une agriculture durable devrait donc reposer sur l'utilisation maximale de ressources locales, le moins sujettes possible à transport, avec intégration des productions animales et des productions végétales sur un même milieu. L'efficacité énergétique est un critère permettant d'évaluer cette orientation. □

Résumé

L'efficacité énergétique d'une exploitation agricole est le rapport de l'énergie brute produite sur l'énergie non renouvelable, directe et indirecte, dépensée. Onze systèmes de production de l'agriculture bourguignonne (hors production viticole) sont analysés :

- deux exploitations spécialisées en production végétale, d'efficacité supérieure à 5 ;
- trois exploitations mixtes, d'efficacité comprise entre 1 et 5 ;
- six exploitations spécialisées en production animale, d'efficacité inférieure à 1.

L'alimentation représente le principal ou second poste consommateur d'énergie pour les productions animales. Pour les autres systèmes de production, l'énergie directe est le premier poste consommateur, suivie par les engrais pour les exploitations spécialisées en production végétale.

Les échanges croisés, aliments et effluents organiques, entre producteurs spécialisés (végétal et animal) d'un même bassin de production pourraient constituer une réponse pour une agriculture plus durable et une utilisation plus raisonnée des ressources agricoles locales.

Abstract

The energy efficiency of a farm is the ratio of energy produced to the sum of all the direct and indirect energy used. Eleven farming systems which are representative of agricultural production in Burgundy (vineyards excluded) are analyzed:

- two arable farms, with efficiency above 5;
- three mixed farms (arable/livestock), with efficiency between 1 and 5;
- six livestock farms with efficiency lower than 1.

In livestock farming, feeding comes top or second of the list of energy consumers. In other farms, direct energy comes first, followed by fertilizers for arable farms.

Cross exchange of organic feed and manure between arable and livestock farms in the same local region could be the answer to achieving sustainable local agriculture and a better use of local agricultural resources.

Bibliographie

- BEL, F., LE PAPE, Y., MOLLARD, A., 1978, *Analyse énergétique de la production agricole*, Grenoble : INRA-IREP, 163 p.
- BONNY, S., 1980, *Estimations des consommations énergétiques de quelques productions en systèmes de grande culture et systèmes laitiers*, Document de travail INRA Grignon, 37 p.
- BONNY, S. 1986. L'énergie et sa crise de 1974 à 1984 dans l'agriculture française. INRA-ESR Grignon, *Études et recherches*, n° 4 tome 1, 200 p.
- Commission Consultative pour la Production des Carburants de Substitution, 1991, Rapport des travaux du groupe de travail, n° 1, 82 p.
- FERRIÈRE, J.-M. *et al.*, 1997. L'analyse énergétique à l'échelle de l'exploitation agricole, Méthode, apports et limites, *Fourrages* (juin 1997) 151, p. 331-350.
- GAILLARD, G., CRETTEZ, P., HAUSHEER, J., 1997, *Inventaire environnemental des intrants agricoles en production végétale*, FAT (Suisse), 8356 Tänikon, 51 p.
- GROUPE Planète, 1999, *Méthode pour l'analyse énergétique de l'exploitation*, Document de collecte, 43 p.
- INRA, 1988, *Alimentation des bovins, caprins et ovins, Tables de la valeur nutritive des aliments*, 192 p.
- LAMBERT, L., 1995, *Bilans énergétiques et écologiques de la culture et de la combustion du Miscanthus sinensis giganteus, en comparaison avec le bois et le fuel domestique*, Station Fédérale de recherches Tänikon, Suisse, 122 p. + annexes.
- LINDEMAN, R., 1942. The trophic-dynamic aspect of ecology, *Ecology*, 23, 399-417.
- MÉNÉGON, M., 1996, *Analyse énergétique de systèmes céréaliers. Cas d'exploitations agricoles du Plan de Développement Durable du plateau de Saint André de l'Eure*, Purpan, Chambre d'agriculture de l'Eure, 123 p + Annexes.
- MERCIER, J.-R., 1978, *Énergie et agriculture, Le choix écologique*, Ed. Debar. Paris, 187 p.
- PATYK, 1996, Balance of energy consumption and emissions of fertilizer production and supply. In CEUTERICK, *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, p. 44-67.
- PIMENTEL, D., HURD, L.E. *et al.*, 1973. Food production and energy analysis, *Science*, 182, p. 443-449.
- RISOUD, B., 1999. Développement durable et analyse énergétique d'exploitation agricole, *Économie Rurale*, n° 252, p. 16-27.
- VIVIEN, F.-D., 1994, *Économie et écologie*, Repères, La Découverte, 121 p.