

Analyse énergétique des systèmes de grandes cultures biologiques. Impact du niveau d'intensification.

B. Colomb¹, A. Glandières², F. Carpy-Goulard³, N. Lecat⁴, A. Pelletier³, L. Prieur⁵

¹ : INRA, UMR 1248 Agir, 31326 Castanet Tolosan, France.

² : Chambre Régionale Agriculture Midi-Pyrénées 31321 Castanet Tolosan

³ : Ecole d'Ingénieurs de Purpan (EIP) 31076 Toulouse

⁴ : Coopérative AGRIBIO Union 81630 Salvagnac

⁵ : Centre Régional d'Expérimentation en Agriculture Biologique, LEGTA Auch-Beaulieu 32020 AUCH

Correspondance : colomb@toulouse.inra.fr

Les systèmes de grandes cultures biologiques dans les exploitations sans élevage font face à des difficultés de maîtrise technique de la production et de valorisation économique sur le marché. Ils sont aussi questionnés sur leurs impacts environnementaux et la pression qu'ils exercent sur des ressources peu ou non renouvelables. La présente étude vise à apporter un éclairage sur les performances énergétiques en fonction du niveau d'intensification choisi par les agriculteurs. Elle repose sur une enquête des pratiques culturales auprès de 19 exploitations agricoles de la région Midi-Pyrénées.

Résumé :

L'étude fait apparaître une variabilité importante des principaux paramètres de l'analyse énergétique appliquée à 44 successions culturales biologiques de quatre années chacune. Le niveau d'intensification des systèmes, appréhendé en termes de recours ou non à la fertilisation organique sur céréales et à l'irrigation sur cultures d'été (légumineuses à graines principalement) explique en grande partie cette variabilité. La consommation énergétique moyenne varie de 5 000 à 12 270 MJ/ha/an selon le niveau d'intensification. La production énergétique varie de 35 500 à 43 950 MJ/ha/an. Consommation et production énergétiques variant dans le même sens avec le degré d'intensification, le gain énergétique est stable avec une valeur moyenne de 29 300 MJ/ha/an. L'efficacité énergétique diminue de 7,1 MJ/MJ pour les successions culturales non fertilisées et non irriguées, à 3,5 MJ/MJ pour les successions fertilisées et irriguées, où le soja et la féverole tiennent une place importante.

Mots clés : Grande culture biologique. Analyse énergétique. Fertilisation organique. Irrigation. Midi-Pyrénées.

Abstract: Energy analysis of organic crop systems. Impact of intensification level.

This study reveals a wide variability in the major parameters of the energy analysis applied to 44 four-year-long organic crop sequences. The intensification level of the systems in terms of the use or non-use of organic fertilisation on cereals and of irrigation on summer crops (mainly pulses) is largely responsible for this variability. Average energy consumption ranges from 5 000 to 12 270 MJ/ha/year depending on the intensification level. Energy production varies from 35 500 to 43 950 MJ/ha/year. Since energy consumption and production both vary in the same direction with the degree of intensification, the energy gain is stable at an average value of 29300 MJ/ha/year. Energy efficiency decreases from 7.1 MJ/MJ for unfertilised and unirrigated crop sequences, to 3.5 MJ/MJ for fertilised and irrigated sequences, where soy and faba bean are among the major crops.

Keywords: organic field crop; energy analysis; irrigation; organic fertilisation; Midi-Pyrenees.

Introduction

La durabilité des systèmes *de grandes cultures biologiques sans élevage* en Midi-Pyrénées et dans d'autres régions de France est fragilisée par l'évolution du contexte économique, associée à la rémanence de difficultés dans la maîtrise technique de la production. Ce mode de production est aussi interrogé en termes d'impact sur le milieu et de pression sur les ressources peu ou non renouvelables nécessaires à la production. La consommation d'énergie fossile, directe et indirecte, pèse lourd dans le budget des exploitations agricoles et contribue à alimenter les émissions de gaz à effet de serre. Certes, les systèmes de culture biologique n'utilisent pas d'engrais azotés de synthèse, qui représentent un poste important de dépense énergétique dans les systèmes de grandes cultures conventionnelles. Le non-recours aux pesticides contribue aussi à alléger leur consommation énergétique. Par contre, la maîtrise des adventices requiert des interventions culturales plus nombreuses et plus diversifiées. La technique du faux semis, consistant à favoriser la levée d'adventices puis à les détruire, les « peignages » de la surface du sol à la herse étrille pour extirper les plantules indésirables augmentent sensiblement le nombre d'opérations culturales et alourdissent la facture énergétique. Face au caractère très fragmentaire des données disponibles, la présente étude visait à établir un premier profil de performances énergétiques *des successions de grandes cultures biologiques*, dans le contexte du sud-ouest de la France, et à mettre en évidence sa variabilité en fonction du degré d'intensification choisi par les agriculteurs.

1. Méthode

Une enquête a été conduite auprès de 19 exploitations de grandes cultures biologiques, réparties dans les départements 11, 31, 32, 81, 82 (Tableau 1). En dehors de quelques rotations très courtes (soja/blé ou soja/soja/blé), il est difficile d'identifier des rotations de composition et de durée stables. Le parti a été pris de conduire l'étude sur une fenêtre temporelle de quatre cycles de production successifs, de 2003/2004 à 2006/2007, permettant de capturer les différentes cultures pratiquées. Au total, 44 successions ont été entièrement décrites (2 ou 3 par exploitations), issues de parcelles de plaine (sols de brousses, terreforts, alluvions hétérogènes), ou de parcelles de coteaux (argilo-calcaires) généralement non irriguées.

Le niveau d'intensification des successions culturales a été apprécié en terme de recours ou non à la fertilisation azotée organique de printemps (F, NF) et/ou à l'irrigation (I, NI) pour au moins l'une des cultures de la succession. Ces deux facteurs d'intensification sont complémentaires et mis en œuvre indépendamment, ce qui donne lieu à quatre modalités de conduite NF-NI, F-NI, NF-I, F-I. La fertilisation s'adresse presque exclusivement aux céréales (blé et orge), l'irrigation aux légumineuses à graines (soja principalement, féverole plus rarement). Si le recours à l'irrigation ne soulève pas de problème de principe, le recours à la fertilisation organique de printemps fait l'objet de débats parmi les agrobiologistes. De fait, le recours ou non à la fertilisation reflète l'existence de plusieurs logiques de production. Il est associé à des choix d'objectifs (recherche de teneurs en protéines dans les grains de blé supérieures à des seuils déterminés par les collecteurs) et à des choix de nature technique (variété de blé, précédent cultural), qui ne seront pas analysés ici.

L'analyse énergétique a été conduite selon les principes généraux établis par l'IFIAS (1974), adaptés à l'agriculture par Pimentel et Pimentel (1979). Elle est applicable à l'échelle d'une culture, d'une succession culturale, ou d'une exploitation (Risoud, 2002 ; Pervanchon *et al.*, 2002). Cette

méthodologie repose sur une approche comptable des entrées et des sorties d'énergie du système étudié, toutes exprimées dans une unité énergétique identique. De là, peuvent être calculés différents indicateurs, de nature intensive (quantités consommées, produites) ou extensives (efficacités) caractéristiques des systèmes étudiés. Les entrées regroupent les consommations directes d'énergie fossile et non fossile (produits pétroliers, électricité) et les consommations indirectes (amortissement énergétique du matériel, fertilisants, semences, phytosanitaires). Le détail des choix effectués pour ce travail, largement inspirés d'études antérieures et de référentiels existants (éléments pris en compte, coefficients énergétiques qui leur sont attribués) est présenté dans un mémoire d'étude d'ingénieur de l'IEP de Toulouse (Pelletier, 2008).

Tableau 1 : Localisation et caractéristiques des exploitations enquêtées

Région agricole	Surface (ha)	Présence de l'irrigation	Parcelles enquêtées	Type de sol dominant
Vallée et terrasse de la Garonne	110	oui	3	Boulbènes argileux
Lauraguais	73	oui	3	Boulbènes superficiels
Lauraguais	75	non	2	Argilo calcaire
Gaillacois	50	non	2	Argilo calcaire
Bas Quercy de Montpezat	55	oui	2	Boulbène profond
Coteaux de Gascogne	70	oui	2	Boulbène caillouteux
Coteaux du Gers	160	non	3	Argilo calcaire
Vallée terrasse de la Garonne	46	non	2	Argilo calcaire
Lauraguais	243	oui	3	Terrefort profond
Lauraguais	90	oui	2	Terrefort superficiel
Vallée et terrasse de la Garonne	50	oui	2	Alluvions argileuses
Lauraguais	97	oui	2	Alluvions limono-argileuses
Lapiege	83	oui	2	Argilo calcaire
Plaine de l'Albigeois	25	non	2	Boulbène hétérogène
Vallée et terrasse de la Garonne	75	non	1	Argilo calcaire
Razes	44	non	3	Argilo calcaire
Coteaux du Gers	170	oui	2	Argilo calcaire
Coteaux du Gers	169	oui	3	Argilo calcaire
Coteaux du Gers	160	oui	3	Argilo calcaire

2. Résultats

Les successions comportaient en moyenne 29 % de blé tendre, 23 % de soja, 11 % de tournesol, 9 % de féverole, 9 % de lentille, le reste étant constitué de 10 cultures de faible occurrence chacune. Les légumineuses sont peu fertilisées (9%) et irriguées pour 50 % d'entre elles. Plus de la moitié (53 %) des non légumineuses sont fertilisées sans être irriguées, 39 % ne sont ni irriguées ni fertilisées, et 7 % sont irriguées et fertilisées, aucune n'est irriguée sans être fertilisée. Sur les 132 intercultures de l'échantillon étudié, seuls trois engrais verts (moutardes) ont été relevés. Cette rareté s'explique, selon les agriculteurs, par le coût de la semence, les difficultés de levée en période estivale et de destruction en fin ou début d'hiver. Seules deux cultures principales non destinées directement à la production de graines ont été identifiées (luzerne). Il s'agit donc de systèmes de cultures biologiques spécialisés, selon la typologie utilisée par David (1999), vers la production de graines destinées à l'alimentation animale ou humaine.

Le Tableau 2 présente les valeurs minimale, maximale, la moyenne des indicateurs énergétiques calculés sur l'ensemble des successions étudiées, ainsi que les valeurs moyennes observées pour chacune des modalités d'intensification. Quelques autres critères, évalués à la même échelle, sont également présentés.

Tableau 2 : Caractéristiques des successions de grandes cultures biologiques dans le Sud Ouest de la France. Impact du niveau d'intensification : irrigué(I) ; non irrigué (NI) ; fertilisé (F) ; non fertilisé (NF).

Critères	unité	Statistiques générales			Moyennes / niveau intensification			
		min	moy.	max	NF-NI	F-NI	NF-I	F-I
Productivité surfacique	t MS grain/ha/an	1,3	2,0	3,1	2,0	1,9	2,0	2,2
Nb Opérations culturales	entier/an	5,3	7,9	12,3	6,6	7,2	8,9	9,2
Temps de travail	heure/ha/an	3,3	4,6	6,6	3,9	4,5	5,2	4,8
Productivité du travail	kg MS grain/h	220	445	735	515	425	395	470
Consommation énergétique	MJ/ha/an	4100	8665	18750	5000	6275	12875	12270
Production énergétique	MJ/ha/an	21980	37970	62380	35500	34100	43940	42750
Gain énergétique	MJ/ha/an	14930	29300	43630	30500	27830	31070	30480
Efficienc e énergétique	MJ/MJ	2,7	4,9	8,5	7,1	5,5	3,6	3,5
Productivité de l'énergie	kg MS grain/GJ	123	259	463	392	296	167	186
Taux de légumineuse	%	0	49	100	35	39	72	61
Diversité spécifique	%	40	78	100	85	86	55	72

La *productivité surfacique moyenne annuelle*, rapport de la quantité totale de grains récoltée sur une succession culturale (toutes cultures confondues) par le nombre de cultures, varie modérément en fonction du degré d'intensification, de 1.85 t MS/ha/an en F-NI à 2.2 en F-I. Le niveau moyen de production pour les cultures non irriguées est faible (27.5 q pour le blé, 17.5q pour le tournesol). Cela tient à la présence de deux années de forte sécheresse dans la fenêtre temporelle de l'étude. Les différences entre niveau d'intensification s'expliquent en partie par la fréquence relative des diverses cultures. Ainsi, le *taux de légumineuses* à graines (soja et féverole) varie de 35 % en NF-NI à 72 % en NF-I. L'augmentation de la fréquence du soja lorsque le recours à l'irrigation est possible se traduit par une diminution de la *diversité spécifique cultivée* (rapport du nombre d'espèces différentes sur le nombre total de cultures x 100) de 86 % en NF-NI et F-NI, à 55 % en NF-I.

La *consommation énergétique* moyenne, somme des coûts énergétiques directs et indirects associés aux opérations culturales, est en moyenne de 8,7 GJ/ha/an. Elle varie de 5,6 GJ/ha/an en l'absence d'irrigation, à 12,5 GJ/ha/an en présence d'irrigation. Le *rapport moyen de l'énergie directe consommée sur l'énergie indirecte* est de 0.5 dans les successions irriguées, de 1.6 dans les successions non irriguées.

La *production énergétique*, somme des produits des biomasses de grains récoltés par un coefficient énergétique variant selon les cultures, est en moyenne de 34,5 GJ/ha/an en l'absence d'irrigation, de 42,8 en présence d'irrigation.

Le *gain énergétique*, égal à la différence entre la production et la consommation d'énergie, varie peu en fonction du degré d'intensification, avec une valeur moyenne de 29,3 GJ/ha/an.

L'*efficacité énergétique*, rapport de la production sur la consommation d'énergie, est en moyenne de 4,9 pour l'ensemble des successions culturales étudiées. Ce coefficient est de 3,6 en F-I et NF-I, de 5,5 en F-NI, de 7,1 en NF-NI.

La *productivité énergétique*, rapport de la quantité totale de grains récoltée sur une succession culturale par l'énergie totale consommée, est en moyenne de 260 kg MS de grain par GJ investi. Elle varie de 167 kg MS /GJ en NF-I à 392 en NF-NI.

Le recours à la fertilisation azotée organique de printemps (orge et blé) et à l'irrigation (soja) contribue à augmenter le *nombre d'opérations culturales*. Ce nombre est maximum dans les situations NF-I qui comportent la plus grande fréquence de soja dans la rotation (9,2/an). Il est minimum dans les situations NF-NI (6,6/an). Les parcelles irriguées comportent en moyenne deux *opérations culturales* supplémentaires, hors la mise en œuvre des apports d'eau eux-mêmes, consacrés à la maîtrise des

adventices (risque accru de levée et de développement concurrentiel des mauvaises herbes). La *productivité technique du travail*, rapport de la quantité totale de grains récoltée sur une succession culturale par le nombre d'heures de travail investi évolue dans le sens inverse. Il est minimal en NF-I (394 kg MS grain /h), maximale en NF-NI (514 kg MS grain /h).

Discussion

Les difficultés majeures des analyses énergétiques résident dans la délimitation des frontières du système analysé, l'additivité des formes différentes d'énergie, l'estimation des coefficients énergétiques appliqués aux matières utilisées ou produites ainsi qu'aux opérations culturales mises en œuvre. Une autre limitation importante réside dans le caractère linéaire des analyses classiques, les flux considérés allant des entrées vers les sorties du système en sens unique. Les systèmes de culture sont des systèmes dynamiques, qui consomment et produisent de la valeur ajoutée et de l'énergie, l'une et l'autre en partie réinvesties *pour leur propre reproduction*. Cela conduit à négliger les résidus de récolte qui jouent cependant, grâce à leur composition et *leur contenu énergétique*, un rôle essentiel dans le maintien de la fertilité des sols soumis à ce mode de produire. La non prise en compte de l'énergie requise pour la préparation des opérations culturales (entretien des matériels, du réseau d'irrigation, déplacements vers les parcelles) conduit dans notre étude à une sous-estimation des dépenses énergétiques.

Il existe peu d'analyses réalisées à l'échelle de successions culturales biologiques. Risoud (2000) a décrit une rotation biologique quadriennale de type jachère/tournesol/lentille/blé, avec un gain énergétique de 21,8 GJ/ha/an et une efficacité énergétique de 7,2, expliquée en partie par l'utilisation d'huile de colza produit sur la ferme pour l'alimentation d'un tracteur. Le travail de Hoepfner *et al.* (2006), sur une rotation quadriennale blé/légumineuse à graines/blé/lin à graines du dispositif expérimental de Glenlea (Canada), montre que l'efficacité énergétique peut atteindre un niveau élevé dans les systèmes biologiques (10.4). Sartori *et al.* (2005) ont obtenu, pour une succession triennale soja/mâis/blé de la vallée du Pô une efficacité énergétique de 4.9, valeur très proche des moyennes observées dans notre enquête, bien qu'associée à un gain énergétique annuel moyen plus élevé. Notre étude a fait apparaître une variabilité importante des consommations et productions énergétiques, que la prise en compte du niveau d'intensification permet d'expliquer pour une large part. L'augmentation des ressources énergétiques engagées dans les systèmes de cultures se traduit par une dégradation de l'efficacité énergétique, comme cela a été observé dans de nombreuses études.

L'inertie du gain énergétique aux modalités actuelles de management des systèmes biologiques en Midi-Pyrénées dans les exploitations sans élevage est sans doute le résultat le plus remarquable de l'étude. Il est probable qu'une amélioration sensible de ce gain ne puisse se faire sans rupture importante dans la conception même des systèmes de culture voire du système de production et le degré d'ouverture des exploitations aux ressources locales.

Pour terminer, soulignons que nous n'avons pas cherché à comparer les performances énergétiques des systèmes biologiques étudiés dans ce travail, avec les performances de systèmes de grandes cultures conventionnels. L'exercice nous paraît vain pour trois raisons. La première est qu'il est difficile d'identifier des couples de systèmes de culture biologiques / non biologiques comparables, hors des situations expérimentales. La deuxième raison tient au fait que des comparaisons limitées aux seules performances énergétiques sont d'un faible intérêt du point de vue de l'analyse de la durabilité des systèmes productifs agricoles. La troisième raison tient à l'échelle d'étude pertinente du point de vue de la durabilité. La production, la collecte, la transformation, la distribution et la consommation de produits biologiques forment un sous-système complet du système alimentaire global (Ziesemer, 2007). C'est à cette échelle que devraient être entreprises des études comparatives sur les performances des diverses filières, en terme de satisfaction des besoins humains, d'efficacité des moyens et des ressources mobilisées, d'impacts sur le milieu, et non pas au seul niveau de la production des matières premières.

Références bibliographiques :

David C., 1999. La spécialisation des systèmes céréaliers en Europe : origine et conséquences. In : L'agriculture face à son développement. Les enjeux futurs. Allard G., David C. and Henning J. Editeurs. Colloques INRA. Lyon 1999, p. 127-137.

Hoepfner J-W., Entz M.H., Zentner R.P., 2006. Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems. *Renewable agriculture and Food Systems* 21, 60-67.

IFIAS, 1974. 'Workshop on methodology and conventions'. *Workshop report*, No. 6, International Federation of Institutes for Advanced Study (IFIAS), Stockholm.

Pervanchon F., Bockstaller C., Girardin P., 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. *Agricultural Systems* 72, 149-172

Pelletier A., 2008. Analyse énergétique de systèmes de grandes cultures biologiques sans élevage en Midi-Pyrénées. Mémoire d'ingénieur de l'école de Purpan. Juin 2008 Toulouse, France, 156 p.

Pimentel D., Pimentel M., 1979. *Food, Energy and Society*, Edward Arnold, London. 137p.

Risoud B., 2000. Energy efficiency of various French farming systems: questions to sustainability. In *Sustainable energy: new challenges for agriculture and implications for land use* International Conference. Wageningen University, the Netherlands, May 2000. 9p.

Risoud B., 2002. Analyse énergétique d'exploitations agricoles et pouvoir de réchauffement global. Méthode et résultats sur 140 fermes françaises. Rapport d'étude pour l'ADEME, 102 p. + Annexes.

Sartori L., Basso B., Bertocco M., Oliviero G., 2005. Energy Use and Economic Evaluation of a 3 Year Crop Rotation for Conservation and Organic Farming in NE Italy. *Biosystems Engineering* 91, 245-256.

Ziesemer J., 2007. Energy use in organic food systems. FAO. 28 p.