

Impact environnemental de trois cultures énergétiques et bilan d'énergie

Jean-Marc Jossart, Jean-Luc Vanhemelryck,
Jean-François Ledent

Le but de ce travail est de comparer, du point de vue environnemental, trois cultures énergétiques : le colza d'hiver, la betterave sucrière et le taillis à courte rotation (TCR). Nous comparerons plus particulièrement la fertilisation et l'usage des pesticides ainsi que les émissions de CO₂ lors de l'utilisation énergétique.

L'huile de colza peut être transformée par estérification en biodiesel, substitut du diesel fossile. En 1994, environ 10 000 hectares de colza furent cultivés sur jachère en Belgique à des fins non alimentaires, dont une partie fut utilisée comme source d'énergie [1].

Le sucre de betterave peut être transformé par fermentation en éthanol qui, pur ou sous la forme d'ETBE (éthyl tertio butyl éther), peut être ajouté à l'essence sans plomb pour améliorer son indice d'octane [1]. La betterave n'a pas, jusqu'à présent, été cultivée en Belgique à cette fin, mais d'importants efforts sont menés pour développer cette filière, avec comme problème essentiel l'absence d'installation de production d'alcool.

Le TCR consiste à cultiver des saules ou des peupliers, plantés à très haute densi-

té, et dont la récolte des rejets s'effectue tous les 3 à 5 ans. Le bois du TCR est utilisé comme combustible pour la production de chaleur et/ou d'électricité par combustion directe ou *via* gazéification. Cette culture s'est développée surtout en Suède et devient de plus en plus attractive pour d'autres pays européens, notamment la Belgique. Il est important de noter à ce stade que le TCR est envisagé ici comme une culture agricole à part entière et non comme un boisement de terres agricoles. Il se caractérise d'ailleurs par des rotations de récolte plus courtes et une mécanisation plus proche de l'agriculture que de la foresterie.

Le choix de ces trois cultures se justifie par le fait qu'il s'agit de cultures énergétiques potentiellement utilisables en Belgique, mais d'autres espèces, comme le sorgho ou le miscanthus, y sont également étudiées [1].

Dans le présent document, nous avons approfondi, de manière bibliographique, deux aspects majeurs de l'impact environnemental : l'impact de la culture et le bilan global des émissions de CO₂ déduit des bilans énergétiques. Ces deux aspects à eux seuls ne permettront pas de comparer de manière complète les trois cultures énergétiques, mais auront une importance déterminante sur leur impact environnemental.

Les informations concernant les cultures de colza d'hiver et de betterave reflètent les pratiques belges qui ne sont d'ailleurs pas fondamentalement différentes de celles des pays voisins. Pour le TCR, les informations sont basées sur l'expérience suédoise. Les résultats semblent pourtant extrapolables pourvu que la conduite de

la culture soit plus ou moins identique, ce qui est le cas au niveau des premiers essais mis en place en Belgique.

Pour être complet, de nombreux autres aspects auraient dû être étudiés. Ceux-ci présentent des caractères qualitatifs (paysage par exemple) ou quantitatifs (polluants par exemple). De plus, les aspects quantitatifs ne sont pas *a priori* exprimés dans les mêmes unités et les aspects qualitatifs restent difficilement quantifiables. Une telle étude se heurte donc vite à un problème majeur : quels sont les coefficients de pondération à utiliser afin de pouvoir exprimer de manière quantitative et globale l'impact de la filière sur l'environnement ? L'étude de l'impact environnemental d'une filière énergétique est très complexe. De plus, ces différents aspects doivent être pris en compte aux étapes successives que comportent les filières envisagées (analyse du cycle de vie) : la production de la biomasse, la transformation en combustible ou carburant et l'utilisation finale.

Impact de la culture sur les risques de pollution en azote et pesticides

Il est très difficile de quantifier de manière absolue l'impact sur l'environnement d'une culture. Nous comparons donc de manière uniquement qualitative

J.-M. Jossart, J.-F. Ledent : Université catholique de Louvain, laboratoire d'écologie des grandes cultures, place Croix du Sud, 2 bte 11, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

J.-L. Vanhemelryck (Aspirant FNRS) : Université catholique de Louvain, unité thermodynamique et turbomachines, place du Levant, 2, 1348 Louvain-la-Neuve, Belgique.

Tirés à part : J.-M. Jossart

l'incidence de la culture de colza, de betterave et de TCR sur l'environnement. Le *tableau 1* reprend les intrants des trois cultures [2-12]. Notons tout d'abord que les niveaux de fertilisation ne peuvent pas être traduits directement en niveaux de pollution, car les besoins des plantes (exportations) sont différents. Pour le colza d'hiver par exemple, le niveau conseillé de fertilisation azotée est bien supérieur aux exportations nettes. Ceci est dû aux besoins importants du colza à la sortie de l'hiver, moment de faible minéralisation dans le sol [13]. La fumure azotée optimale est un compromis entre un profit financier maximal pour l'agriculteur et un minimum de reliquats d'azote dans le sol à la récolte. Le problème ne s'arrête pourtant pas là car, dans le cas de plantes annuelles comme

le colza et la betterave, les résidus de culture apporteront de la matière organique et donc de l'azote après la récolte. Cet aspect complique encore l'étude de l'impact d'une culture car celui-ci dépend entre autres de la culture suivante. Le cycle d'utilisation de l'azote doit donc se raisonner sur la totalité de la rotation et non pas sur une seule culture en s'arrêtant à la récolte. Cet azote résiduel peut être au moins partiellement récupéré par la culture suivante. Pour le colza, il a été montré que l'azote résiduel en fin de culture peut, en région limoneuse, varier entre 18 et 104 kilogrammes par hectare d'azote selon les années et le niveau de fertilisation [13]. Cet azote est localisé dans les couches supérieures du sol et pourra donc facilement être puisé par la céréale qui suivra.

Dans le cas de la betterave, des valeurs très variables (10 à 103 kg/ha) d'azote à la récolte [3] sont également citées. Ces reliquats entraînent un « effet précédent » favorable pour le blé qui suit dans la rotation.

La capacité de récupérer l'azote laissé par la culture précédente dépend de l'espèce. Ainsi, le colza d'hiver couvre le sol pendant tout l'hiver et est en croissance active dès le début de l'arrière-saison qui précède, période durant laquelle la minéralisation du sol peut encore être fort active. Cette croissance automnale permet de limiter les risques importants de lessivage d'azote à cette époque, ce qui ne sera évidemment pas le cas d'une culture de printemps. Ainsi, le Cetiom (Centre interprofessionnel des oléagineux métropolitains) a mesuré des reliquats à

Tableau 1

Intrants cultureux du colza d'hiver ^a, de la betterave ^a et du taillis à courte rotation ^b (TCR)

		Colza d'hiver	Betterave	TCR
N (kg/ha/an)	(1) Exportation brute ^c	210-280	200-250	185-300
	(2) Exportation nette ^d	95-150	80-130	40-70
	(1) - (2)	115-130	120	145-230
	Conseil de fumure	200-250	80-140	60-80
P ₂ O ₅ (kg / ha / an) conseil de fumure		90	80	23
K ₂ O (kg / ha / an) conseil de fumure		135	180-230	42
Pesticides (g matière active/ ha/an)	Herbicides	1250 ^e	3150 ^h	160 ^k
	Fongicides	603 ^f	139 ⁱ	0
	Insecticides	10 ^g	90 ^j	0

a : données correspondant à la situation en Belgique [2, 4, 5, 7, 10-12] ;

b : données basées sur l'expérience suédoise [8] ;

c : l'exportation brute des cultures correspond à la teneur totale en azote au moment de la récolte (colza [2, 4, 5, 9] et betterave [3, 10-12] et avant la chute des feuilles pour le TCR [8].

Dans le cas du colza, les feuilles tombées sont prises en compte ;

d : teneur totale en azote dans les produits de récolte ;

e : herbicide à base de métazachlore [6] ;

f : nombre moyen de pulvérisations en 1991, 1992, et 1993 [2] multiplié par la moyenne des quantités de matière active de huit fongicides agréés ;

g : nombre moyen de pulvérisations en 1991, 1992, et 1993 [2] multiplié par la moyenne des quantités de matière active de quatre insecticides agréés ;

h : basé sur le système FAR de l'Institut Royal Belge pour l'Amélioration de la Betterave [7] ;

i : moyenne de sept fongicides agréés, épanchés un an sur deux ;

j : insecticide à base d'imidacloprid [6] ;

k : herbicide à base de simazine [6].

Agricultural inputs for oilseed rape, sugar-beet and short rotation coppice

l'entrée de l'hiver de 11 et 19 kilogrammes par hectare d'azote pour un semis hâtif tandis que ces reliquats s'élèvent à 106 et 152 kilogrammes par hectare pour un semis tardif [9], le colza n'ayant pas, dans ce cas, la même possibilité d'absorption de l'azote.

Le *tableau 1* montre aussi que, même si le TCR a une exportation azotée brute comparable aux deux autres cultures, ses exportations nettes en azote, phosphore et potassium sont inférieures, vu la teneur plus faible du bois en ces éléments.

Le TCR est une culture pluriannuelle qui utilise l'azote minéral du sol dès la reprise de la végétation, tôt au printemps, et qui peut ainsi récupérer, grâce au système racinaire des arbres, les quantités importantes d'azote libéré en surface par les feuilles des arbres tombées sur le sol. Cette capacité d'utiliser précocement l'azote du sol au printemps et de le prélever profondément dans le sol rend cette culture appropriée aux zones à risque, le long d'un cours d'eau ou au-dessus d'une nappe phréatique par exemple [14].

Pour toutes les cultures, la surfertilisation mène à des résidus d'azote minéral dans le sol qui peuvent être lessivés. Pratiquement, la fertilisation est difficile à gérer par l'agriculteur qui, au moment d'appliquer l'engrais, doit se baser sur les besoins de la culture et donc sur des rendements prospectifs. Pour diverses raisons (maladies, climat...), le rendement réel peut être inférieur à ce qui avait été prévu et la fertilisation surévaluée. Ceci est particulièrement vrai en Belgique pour le colza dont le rendement varie facilement du simple au double [2] en fonction de l'année, de la phytotechnie appliquée, des ravageurs, etc. Dans les cas extrêmes, la culture peut être complètement perdue et doit être remplacée, ce qui augmente fortement le risque de pollution car la terre reste nue plus longtemps ; la pollution potentielle est encore plus grande si les fertilisants ont déjà été appliqués. Les risques de tels accidents sont plus que marginaux pour le TCR (qui n'est implanté que tous les 25 ans en moyenne) et, en tout cas, bien moindre que dans le cas de cultures annuelles comme le colza ou la betterave. Dans des sols riches en azote, dans certaines conditions édaphiques ou climatiques (sol humide, pH bas...) et en cas de fertilisation azotée, les émissions gazeuses de protoxyde d'azote (N_2O) et d'ammoniac (NH_3) peuvent être élevées

Summary

Environmental impact and energy balance of three energy crops

J.-M. Jossart, J.-L. Vanhemelryck, J.-F. Ledent

Three energy crops were compared from the environmental point of view. The crops, possibly suitable for Belgium, included oilseed rape for biodiesel, sugar-beet for bioethanol, and short rotation coppice (SRC) for wood production.

Studying the environmental impact of an energy production process is highly complex; we therefore concentrated on two main aspects: cultivation and global CO_2 emission.

SRC is less intensive in terms of fertilisation and use of pesticides. This could increase biodiversity and decrease nitrogen leaching. However, the quantities applied are not the only criterion to be used since different crops have different requirements.

CO_2 emissions were calculated from the energy balance, comparing all energy outputs to all energy inputs associated with CO_2 exchange. All energy inputs in the entire chain leading up to the final product (source of energy) were taken into account.

SRC, due to its better productivity and energy balance, again appeared very attractive. Nevertheless, since wood has less uses than alcohol or biodiesel and is less easy to utilise, the other energy crops should not be excluded.

Cahiers Agricultures 1995 ; 4 : 377-82.

[15]. Des pratiques culturales appropriées visent à la réduction de ces émissions ; mais il est probable qu'une culture moins intensive, comme le TCR, offre des conditions moins propices à ce genre de pollution.

Les cultures laissant le sol nu plus longtemps, comme la betterave, ont également comme inconvénient le risque d'érosion. Le colza quant à lui couvre le sol pendant onze mois. Dans les terrains en pente, l'érosion de la terre peut entraîner des quantités importantes de fertilisants et de pesticides dans les eaux de surface. Ces risques sont fortement limités avec les TCR, culture pluriannuelle et peu exigeante en fertilisants et en pesticides (*tableau 1*).

Un autre inconvénient vient des traitements phytosanitaires. D'après les résultats obtenus en Belgique, le problème de résidus relèverait de problèmes de rémanence plutôt que de pollution par lessivage, ruissellement ou volatilisation [16]. Pour le TCR, des traitements herbicides ne sont utiles que les deux premières années sur les vingt-cinq qui correspondent à la durée moyenne de la plantation. Une fois le taillis établi, il exerce

une compétition très forte vis-à-vis des adventices.

La quantité de matière active des produits phytosanitaires épandus ne donne qu'une indication de l'impact environnemental. D'autres facteurs devraient être pris en compte, comme la toxicité des produits (les insecticides sont souvent les plus toxiques), les additifs, la susceptibilité au lessivage, à la volatilisation et au ruissellement, la dégradation chimique et/ou biologique dans le sol, les conditions climatiques et le travail du sol [16]. Cette multitude de facteurs rend difficile l'extrapolation des résultats de mesures effectuées avec des molécules et sous des conditions spécifiques.

Pesticides et autres pratiques intensives peuvent affecter négativement la biodiversité ; celle-ci augmente dans les TCR [8, 17, 18]. Ceci peut être mis en relation avec la formation d'un habitat favorable à beaucoup d'espèces sauvages, surtout des oiseaux (caractère moins intensif de cette culture, rotations plus longues). En général, les objectifs de rentabilité des agriculteurs sont conciliables avec un respect de l'environnement. Des pertes d'azote par lessivage, par exemple, ont

un impact économique négatif important qu'il faut limiter. La plupart des agriculteurs sont également conscients de l'importance d'une gestion durable de l'environnement dans lequel ils travaillent. Néanmoins, les cultures agricoles doivent rester rentables et un emploi raisonné de pesticides peut être indispensable, même pour le TCR, qui peut conduire à une augmentation sensible des ravageurs des grandes cultures voisines.

Bilan énergétique

La biomasse comprend toutes les utilisations non alimentaires des produits agricoles, y compris les biocarburants. Son utilisation comme source d'énergie peut jouer un rôle dans la diminution des émissions de CO₂. En effet, le CO₂ émis par la combustion des produits issus de la biomasse correspond à celui qui a été capté par la plante lors de sa croissance. On pourrait donc considérer que le cycle du carbone est bouclé et que le bilan en CO₂ est nul. Les choses ne sont pourtant

pas si simples, car la production d'une source d'énergie résulte de toute une filière qui a elle-même utilisé de l'énergie ; une telle consommation est inévitablement liée à une émission de CO₂ dans le cas d'une combustion d'un produit carboné. Il est donc nécessaire de réaliser un inventaire complet de toutes les consommations d'énergie associées à une filière : pendant la culture, lors de la transformation de la plante en source d'énergie et lors du transport entre les différentes étapes du processus de production et de distribution. Le CO₂ libéré par ces consommations doit être ajouté dans le bilan, qui, de ce fait, deviendra positif.

Dans le cadre d'une étude de l'impact des filières sur l'environnement à travers leurs émissions de CO₂, il ne faut prendre en compte que les consommations d'énergie qui impliquent de telles émissions. Par exemple, l'énergie solaire associée à l'absorption du CO₂ par la photosynthèse nette ainsi que l'énergie libérée lors de la combustion avec libération de CO₂ peuvent être ignorées dans la discussion qui suit pour la raison explicitée plus haut.

Dans le cas d'utilisation de carburants fossiles (à moins que le bilan ne soit fait sur une échelle de temps géologique, ce qui n'est pas le cas ici), une telle compensation n'existe pas, et le CO₂ libéré par la combustion pèse fortement dans le bilan.

Les consommations d'énergie (intrants) dans les filières sont habituellement classées de la façon suivante :

- intrants directs (utilisés comme source d'énergie, par exemple : électricité, carburant...) pour lesquels le contenu énergétique pris en considération correspond à leur énergie calorifique plus l'énergie nécessaire à leur production ;
- intrants indirects (engrais, pesticides...) dont le contenu énergétique pris en compte est l'énergie nécessaire à leur production.

Généralement, les filières produisent, à côté du produit recherché (dans notre cas l'éthanol, le méthyl-ester et le bois), un ensemble de co-produits (pulpes et vinasses pour la betterave, tourteau et glycérine pour le colza). Si la valeur énergétique du produit principal est évidente (c'est son énergie calorifique), il n'est pas toujours possible de définir une

Tableau 2

Gain en CO₂ grâce à l'utilisation des produits de trois cultures énergétiques en remplacement de trois combustibles fossiles [19-21]

	Biodiesel de colza	Diesel	Bioéthanol de betterave	Essence sans plomb	Bois de TCR ^f	Charbon
Bilan énergétique ^a	3,2	0,85	1,9	0,75	> 10	0,95
Émission totale CO ₂ ^{b,c} (t CO ₂ / tep)	1,0 *	3,7 **	1,7 *	4,2 **	0,4 *	4,2 **
Gain ^d (t CO ₂ / tep)	2,7 (74 %)		2,5 (59 %)		3,8 (90 %)	
Productivité ^e (tep / ha)	1,0	-	2,8	-	5,15	-
Gain (t CO ₂ / ha)	2,7		7,0		19,6	

a : bilan énergétique = contenu énergétique des carburants, du charbon ou du bois / énergie fossile nécessaire à leur production (sans la partie nécessaire à la production des co-produits) ;

b : tep = tonne équivalent pétrole ;

c : CO₂ émis par la filière + CO₂ émis par combustion - CO₂ absorbé (cas de la biomasse) ;

d : différence entre les bio-énergies* et les énergies fossiles correspondantes** ;

e : tep contenues dans les bio-énergies avec des rendements de 3 000 kg/ha de colza (grains à 9 % d'humidité), 55 t/ha de racines de betterave (contenant 16 % de sucre) et 12 t/ha de matière sèche de bois par an pour le TCR ;

f : TCR = taillis à courte rotation.

CO₂ gain with three energy crops over three fossil fuels

valeur énergétique pour certains co-produits qui ne sont d'ailleurs pas toujours destinés à la combustion.

Habituellement, le bilan énergétique d'une filière est exprimé sous la forme d'un quotient extrants sur intrants appelé efficacité.

Comme il n'est pas possible de dissocier de manière indiscutable les consommations d'énergie associées au produit principal de celles associées au co-produits, on distinguera trois approches en la matière :

– le rapport de tous les extrants (produit principal et co-produits) sur tous les intrants. Dans le calcul, on attribue au produit principal (et si la combustion est possible, aux co-produits) leur pouvoir calorifique. Ce rapport n'a de sens que si les co-produits sont eux aussi utilisés à des fins énergétiques ;

– le produit principal est comparé à l'ensemble des intrants, ce qui revient à négliger la valeur des co-produits ;

– le produit principal est comparé avec les intrants associés à sa production ; pour départager les intrants du produit principal et des co-produits, on prend par exemple une pondération massique.

Le *tableau 2* (ligne 1) [19-21] présente les valeurs de l'efficacité des filières suivant cette troisième méthode, en mettant en regard l'efficacité des filières de la biomasse et celle des filières fossiles correspondantes.

Il existe de grandes différences de résultats suivant les auteurs, eu égard à la disparité des situations étudiées, à la difficulté d'obtenir des informations complètes et à la méthode utilisée dans le choix des intrants et de leur valeur énergétique.

En partant de l'hypothèse qu'à chaque consommation d'énergie est associée une émission de CO₂, on peut déduire du bilan énergétique un bilan CO₂ estimé, le rapport CO₂ émis / énergie libérée dans le cas de combustibles hydrocarbonés étant assez constant.

La ligne 2 du *tableau 2* présente la quantité totale de CO₂ émise par tonne équivalent pétrole (tep) pour chaque carburant. Il s'agit du CO₂ émis lors de la production de chaque source d'énergie (lors de la combustion uniquement dans le cas des énergies fossiles), car il y a compensation entre absorption et rejet de CO₂ par combustion pour les sources d'énergie issues de la biomasse.

La ligne 3 du *tableau 2* permet d'estimer l'économie de CO₂ que l'on réalise en substituant l'énergie fossile par la bio-énergie correspondante. À titre de com-

paraison, la valeur obtenue pour les émissions du biodiesel, dans le contexte allemand, est de 2,88 tonnes de CO₂ par tep [22], c'est-à-dire similaire à celle que nous présentons. Une autre étude menée aux Pays-Bas présente des valeurs d'économie en CO₂ de 2,4, 4,0 et 19,6 tonnes de CO₂ par hectare respectivement pour le biodiesel, l'éthanol et l'électricité à partir de peuplier [23].

La question qui reste encore en suspens est de savoir dans quelle mesure le développement des filières analysées ici peut avoir un impact sur les émissions de CO₂ d'une région (la Wallonie en l'occurrence). Pour y répondre, nous ferons l'hypothèse que ce qui limite la quantité de production de bio-énergie n'est pas la demande des consommateurs, mais la surface de terres que l'on peut affecter à celle-ci, indépendamment des problèmes de rentabilité économique des filières et de la fiabilité technique des produits.

Les deux dernières lignes du *tableau 2* indiquent les productivités (et donc les économies de CO₂ réalisables) par hectare. La surface de jachère en Wallonie s'élevait en 1994 à environ 20 000 hectares ; la production de biodiesel à partir de ces 20 000 hectares correspondrait à une diminution de 0,14 % des émissions totales en CO₂ de la Région wallonne. Pour la betterave et le TCR, ces valeurs sont respectivement de 0,36 et 1 %.

Conclusion

L'impact sur l'environnement de trois cultures énergétiques a été étudié en se basant sur les intrants culturaux (engrais, pesticides) et les émissions de CO₂. Chaque culture possède des avantages et inconvénients, mais le taillis à courte rotation apparaît comme plus respectueux de l'environnement suivant les critères utilisés : il s'agit en effet d'une culture à faibles intrants, efficace dans la réduction des émissions de CO₂ en Wallonie. Ce jugement doit cependant être nuancé car l'impact sur l'environnement n'est pas le critère principal pour les agriculteurs. D'une part, les aspects cultures et émissions de CO₂ étudiés ici ne reflètent qu'une partie de l'impact environnemental des filières bio-énergies. D'autre part, grâce aux progrès techniques et aux contraintes environnementales de plus en plus fortes, les cultures de colza et de betterave évoluent vers un meilleur res-

pect de l'environnement. Enfin, le bois produit par le TCR est une source d'énergie moins élaborée que les biocarburants liquides, qui peuvent répondre à des exigences d'utilisation plus nobles.

De toute manière, au niveau strictement énergétique, les filières associées aux trois cultures étudiées ici ne sont pas concurrentes entre elles, car elles répondent à des utilisations différentes. Les gains de CO₂ réalisés grâce à chacune d'entre elles peuvent dès lors s'additionner. Ces gains sont et resteront faibles par rapport aux émissions totales de CO₂ de la Wallonie, car la productivité agricole wallonne est relativement faible par rapport à la consommation énergétique totale de cette région. Toutefois, l'emploi énergétique de la biomasse offre une possibilité de diversification dans un contexte d'utilisation massive d'énergie fossile ■

Références

1. Belgian Biomass Association. *Les utilisations non alimentaires de la biomasse en Région Wallonne*. Louvain-la-Neuve : Belgian Biomass Association, 1994 ; 14 p.
2. APPO. *Rapport d'activités*. Gembloux : Faculté des Sciences Agronomiques, 1991-1993.
3. Bramstorp A. *Decomposition of harvested sugar-beet tops*. Sweden, 1991 ; 28 p.
4. Cartryse C. *Le colza d'hiver : conseil au printemps 1992*. Gembloux : Faculté des Sciences Agronomiques, 1992 ; 1 p.
5. Cors F. Colza. *Rev Agricul* 1983 ; 36 : 903-22.
6. De Baeremaeker M. *Liste des produits phytosanitaires agréés et leur emploi*, 14^e édition. Bruxelles : Ministère de l'Agriculture-Service Information, 1993 ; 88.
7. Hermann O. Système FAR : principales recommandations pour 1993. *Le Betteravier* 1993 ; 281 : 37-9.
8. Ledin S, Aliksson A, eds. *Handbook on how to grow short rotation forests*. Uppsala : IEA/BA, SRF, EMC, Swedish University of Agricultural Sciences, 1992.
9. Reau R, Wagner D, Leterne P, Pouzet A. *Colza et environnement*. Paris : Oléoscope, Cetiom, 1993 ; 25 p.
10. Vanstallen M. Une fumure de fond adaptée à la betterave sucrière et aux céréales répondant aux besoins de la plante. *Le Betteravier* 1993 ; 288 : 11.
11. Vandendriessche H. Fertilité chimique du sol et fumure des betteraves sucrières. *Le Betteravier* 1993 ; 281 : 26-8.
12. Vandergeten JP. Analyse de sol : perspectives d'avenir pour la betterave sucrière. *Le Betteravier* 1994 ; 296 : 7-10.
13. Couvreur L, Guiot JN. Fertilization of oilseed rape and nitrate surplus at harvest in the loam region of Belgium. In : François E, Pithan K,

Bartiaux-Thill N, eds. *Nitrogen cycling and leaching in cool and wet regions in Europe*. Gembloux : Workshop COST 814, 1992 : 84-5.

14. Ericsson T, Rytter L, Linder S. Nutritional dynamics and requirements of short rotation forests. *Ecophysiology of short rotation forest crops*. Londres : Mitchell CP, Elsevier Applied Science London, 1992 : 35-65.

15. Hofman G, Van Cleemput O. Nitrogen cycling in agricultural systems. In : François E, Pithan K, Bartiaux-Thill N, eds. *Nitrogen cycling and leaching in cool and wet regions in Europe*. Gembloux : Workshop COST 814, 1992 : 1-7

16. Copin A, Deleu R, Salembier JF, Gomand M. Problèmes liés à la rémanence et à la persistan-

ce d'actions d'herbicides dans le sol. *Fumure et protection phytosanitaire des céréales*. Gembloux : Faculté des Sciences Agronomiques, 1991 : RH1-8.

17. Makeschin F. Soil ecological aspects of arable land afforestation with fast growing trees. *Biomass for energy and industry*. Vienne : 7th EC Conference, Commission of the European Communities, 1992 : 534-8.

18. Ranney JW. Principles and issues of biomass energy crops and the environment. *Biomass for energy and industry*. Vienne : 7th EC Conference, Commission of the European Communities, 1992 : 60-71.

19. Martin J, Vanhemelryck JL. *Les combustibles et carburants d'origine agricole*. Louvain-

la-Neuve : Unité TERM, rapport final de l'étude pour la Région wallonne, 1992.

20. Bouvet J, Leroudier JP, Leprince P, Hertz O. *Rapport du CCPCS*. Paris, 1991.

21. Pimentel D. *Handbook of energy utilization in agriculture*. CRC Press, Boca Raton, 1980.

22. Muschalek I, Scharmer K. The global ecological balance for engine fuel production from vegetable oils. *Biomass for energy and industry*. Vienne : 7th EC Conference, Commission of the European Communities, 1992 : 578-83.

23. Lysen EH, Daey Ouwens C, Van Onna MJG, Blok K, Okken PA, Goudriaan J. *The feasibility of biomass production for The Netherlands energy economy*. Novem Apeldoorn, 1992 : 100 p.