

E.L.!

08601 21

La Société Française d'Economie Rurale a été heureuse d'accueillir le
DEUXIEME CONGRES EUROPEEN DES ECONOMISTES AGRICOLES,
tenu par l'Association Européenne des Economistes Agricoles (AEEA) (1)
du 4 au 9 septembre 1978, à DIJON.

Les contributions les plus significatives seront publiées dans la revue au cours de l'année 1979, plus particulièrement dans les numéros 131 et 132 qui constitueront ainsi, partiellement, les Actes du Congrès (2).

Dès maintenant Economie Rurale a le plaisir de publier dans ce numéro les rapports de MM. G.R.W. SPEDDING et R.J. COCKS, G. THIEDE et S. BORGAN, relatifs au thème :
« nouveaux courants de pensée et nouvelles voies dans l'agriculture européenne ».

LES TYPES D'AGRICULTURE ECONOMISANT L'ÉNERGIE

Une critique de l'orientation mécanique et chimique de l'agriculture

C.R.W. SPEDDING and R.J. COCKS

Department of Agriculture and Horticulture, University of Reading, Angleterre

De toutes les activités humaines conscientes, l'agriculture est de loin celle qui utilise le plus d'énergie solaire. Les systèmes agricoles du monde développé sont, aussi, grandement dépendants des énergies que nous appellerons complémentaires (énergies « fossiles »).

Les méthodes permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des systèmes agricoles sont nombreuses et il n'y a pas lieu de considérer qu'elles constituent un « pas en arrière », un « retour aux anciennes pratiques ». Le problème consiste à continuer à avancer mais dans une direction différente qui prenne en compte l'effet des prix élevés du pétrole sur la pertinence des indicateurs de productivité.

Beaucoup de ces modifications n'entraînent pas nécessairement des changements dans ce que l'agriculture produit mais simplement dans les méthodes utilisées pour produire.

Toutefois il ne fait pas de doute que la réduction la plus importante dans l'emploi d'énergie complémentaire en agriculture et l'augmentation la plus notable dans tous les aspects de l'efficacité énergétique résulterait d'un déplacement de l'équilibre entre production végétale et production animale — bien entendu avec une végétation accrue.

ENERGY-SAVING TYPES OF AGRICULTURE

a critique of the mechanical and chemical orientation of farming

Of all man's deliberate activities, agriculture is by far the largest user of solar energy.

The agricultural systems of the developed world are also heavily dependent on the use of support energy (« fossil » fuels).

There are many ways in which the energetic efficiency of farming systems could be improved and there is no need to visualise this as « going back » or « a return to earlier practices ». The problem is how to go forward but in a different direction, that takes account of the effect of high oil prices on the relevance of measures of productivity.

Many of these changes do not necessarily imply changes in what Agriculture produces, simply in the ways in which production is carried out.

However, there is no doubt that the biggest reductions in support energy use in Agriculture, and the biggest increases in all aspects of energetic efficiency, would result from a shift in the balance of crop and animal production (away from the latter).

(1) Rue de Trèves 82 (B) 1040 BRUXELLES, Belgique.
Président : Michel PETIT, Vice-Président : Augustin WOS, Secrétaire
Général : Claude BAILLET, Trésorier : L. FOLKESSON, Bureau : MM.
ASHTON, BARBERO, BUENO, HANS, NAZARENKO, TOMIC, VALLAT.

(2) Leur publication en anglais est assurée par EUROPEAN REVIEW
OF AGRICULTURAL ECONOMICS. Managing editor : Jan de VEER Land-
bouw-Economisch Instituut, Conradskade 175 - The Hague-Netherlands.
Publishers : MOUTON Publishers, Walter de Gruyter Verlag, Serials
Department, P.O. Box 110240, D 1000 BERLIN 11, RFA.

De toutes les activités humaines conscientes, l'agriculture est de loin celle qui utilise le plus l'énergie solaire (à moins que les forêts soient envisagées à part), bien que l'on ne puisse que partiellement en juger d'après l'énergie produite par les récoltes (cf. Tableau 1). En outre, le réchauffement de l'environnement par le rayonnement solaire est indispensable à toute forme de vie, et l'espèce humaine en dépend donc entièrement : ceci doit rester présent à l'esprit lorsque l'on considère la faiblesse du rendement de la conversion d'énergie par photosynthèse dans les récoltes (Tableau 2).

Même ainsi, l'énergie réellement utilisée dans la production agricole est bien supérieure à celle qui se retrouve dans les produits récoltés, en partie parce que les processus de production utilisent de l'énergie dont une grande part est utilisée par la transpiration (Tableau 3), et en partie parce que les produits récoltés ne représentent en général qu'une fraction de la plante.

Toutefois, s'il peut ainsi sembler que l'agriculture repose sur le rayonnement solaire, on reconnaît généralement à l'heure actuelle (Black, 1971 ; Leach, 1975 ; Spedding et Walsingham, 1975) que les systèmes agricoles du monde développé sont, aussi, grandement dépendants des énergies que nous appellerons *complémentaires* (énergies « fossiles ») (cf. Tableau 4). Cette dépendance provient de l'usage des machines, de combustible pour les faire fonctionner, et d'intrants, comme les engrais et pesticides, dont la production requiert de grandes quantités d'énergie. On a pu estimer (de Wit, 1975) qu'un tiers environ de cette énergie complémentaire a permis de fournir des intrants augmentant la production par unité de surface, les deux tiers restants étant affectés à la réduction du travail humain. Il est certain que l'utilisation accrue d'énergies complémentaires s'est accompagnée d'une réduction du travail utilisé, d'une augmentation de l'utilisation de tracteurs, d'une diminution du recours aux chevaux, et d'une réduction du contenu biologique de l'agriculture (Spedding, 1976). Par conséquent, la maîtrise accrue de l'agriculture intensive moderne sur les récoltes et la production animale s'exerce à travers le remplacement de procédés biologiques par des procédés non biologiques. L'insémination artificielle, l'incubation des œufs, la récolte et le traitement des plantes fourragères, le traitement et l'épandage des déjections en sont des exemples.

Par conséquent, si la productivité des ressources, en termes de terre, de travail et de temps, a augmenté, la productivité des énergies complémentaires a diminué : elle est faible pour tous les systèmes d'exploitation intensive (Tableau 5). Si la production animale est moins rentable que la production végétale, lorsqu'on peut raisonnablement les comparer, c'est que toute production animale est fondée, à un niveau ou à un autre, sur une production végétale.

Il faut bien entendu remarquer que les prix des produits animaux sont plus élevés par unité énergétique ou protéique (Holmes, 1975) et que ces produits sont

généralement davantage appréciés. En outre, la production animale est parfois possible sur des terres économiquement inaptées à la production de récoltes. Et si c'est du lait de vache qui est désiré, on ne trouvera, pour le produire, rien de plus efficace qu'une vache, quelle qu'elle soit. Par ailleurs, il n'y a aucune raison de supposer que, dans des processus comme la production de protéines, la rentabilité énergétique doit se situer à tel niveau plutôt qu'à tel autre. Le terme de rentabilité est utilisé ici simplement pour désigner la production par unité de moyens de production (cf. Spedding, 1976).

On ne saurait toutefois négliger le *coût* de l'énergie. En cela réside l'importance, pour l'agriculture moderne, de sa forte dépendance énergétique. On invoque fréquemment le fait que l'agriculture n'utilise qu'une faible part de la consommation nationale d'énergie (cf. Tableau 6) ; mais cette constatation ne modifie en rien son coût d'achat qui, lui, intéresse l'agriculteur. En matière d'énergie, il n'y a guère de gros utilisateurs, sauf si on raisonne par agrégation ; si des économies *sont* nécessaires, elles doivent peut-être résulter de nombreuses petites économies. Toutefois, le mécanisme des prix semble le plus apte à la réalisation de telles économies, de sorte que le raisonnement aboutit toujours au même point, sauf si l'on voulait protéger l'agriculture des hausses prévisibles des prix des énergies complémentaires. (Notons que ces hausses ne sont pas liées à l'épuisement ou au non-épuisement des réserves de pétrole et de charbon, puisque si l'on découvre de nouveaux gisements, l'exploitation de ceux-ci sera plus coûteuse.)

La principale raison qui conduit à s'intéresser aux formes d'agriculture économisant l'énergie est donc le coût élevé que représentera probablement celle-ci dans l'avenir. Qu'une pénurie de l'offre rende ou non nécessaire d'utiliser moins d'énergie complémentaire, il vaut certainement la peine de chercher de quelles manières on peut réduire ou rendre plus efficient l'usage d'une ressource si chère.

I. — LA STRUCTURE DE L'USAGE D'ÉNERGIE COMPLÉMENTAIRE EN AGRICULTURE

Si l'on veut réduire l'usage d'énergie complémentaire, on doit savoir où elle est utilisée, ce qu'elle fait, quelle est son importance et s'il existe des substituts.

Le tableau 7 montre la structure de l'usage d'énergie complémentaire dans des systèmes de production végétale et animale, et le tableau 8 indique l'utilisation relative d'énergie complémentaire « en amont » de l'exploitation, sur elle et « en aval ». Ces dernières proportions varient selon le produit considéré (et aussi pour un même produit agricole) mais il est clair que l'industrie alimentaire peut utiliser beaucoup d'énergie dans la transformation, l'emballage et la distribution, au-delà du seuil de l'exploitation. C'est donc peut-être

la catégorie « en aval » qui se prête le mieux à des réductions dans l'utilisation d'énergie complémentaire par l'activité agricole dans son ensemble (y compris la transformation et la distribution).

Il est plus difficile de distinguer clairement et utilement entre énergie complémentaire « d'amont » et « sur l'exploitation » ; on ne peut donc conclure que c'est dans les domaines où l'on utilise le plus d'énergie complémentaire que l'on peut réaliser le plus d'économies. D'autre part, quelque coûteux en énergie que soient les intrants, si l'on utilise très peu de ceux-ci on ne peut guère économiser d'énergie en les éliminant : ainsi, dans le cas des herbicides, des méthodes alternatives de maîtrise des adventices peuvent même utiliser davantage d'énergie.

Certains domaines invitent à une étude plus poussée. Les engrais sont l'un d'eux et, du point de vue quantitatif, les engrais azotés sont d'habitude les plus importants.

A. Les engrais

Sans un approvisionnement suffisant en éléments nutritifs, il n'y aurait que peu ou pas de production. Il faut donc trouver les moyens d'assurer un approvisionnement adéquat. Le recyclage des éléments nutritifs peut être utile mais à moins d'inclure dans ce recyclage les déjections et déchets, il faut bien remplacer les éléments minéraux enlevés par les récoltes. L'eau suit son propre cycle hydrologique mais, dans les zones arides il peut cependant être nécessaire d'en fournir — ce qui entraîne aussi des coûts énergétiques. Le cas de l'azote illustre à la fois les possibilités de substitution et la complexité du problème (Tatchell, 1976).

De nombreuses cultures exigent une grande quantité d'engrais azotés et l'herbe réagit d'une manière quasi-linéaire jusqu'à des apports de l'ordre de 300 kg N/ha. Cette augmentation impressionnante des récoltes par apport d'engrais azotés influe donc sur le rendement unitaire des autres facteurs de production (la terre, le travail, le capital, l'énergie solaire) qui augmentent en même temps.

Mais comme l'emploi accru d'engrais augmente fortement les quantités d'énergie complémentaire mises en œuvre, nous avons là un bon exemple d'emploi de quantités additionnelles d'énergie complémentaire dans le but de mieux utiliser le rayonnement solaire. Toutefois, ceci est souvent accompagné d'une baisse dans l'efficacité de l'emploi de cette énergie complémentaire. Mais, dans certains cas du moins, comme l'effet sur la production est considérable, l'emploi accru d'énergie complémentaire est lié à un rendement à peu près constant de l'énergie complémentaire mise en œuvre (cf. graphique 1).

Les légumineuses peuvent constituer un substitut car, en raison de la fixation symbiotique d'azote atmosphérique qu'elles assurent, elles peuvent ne pas recevoir

d'engrais azotés, du moins sur les peuplements établis. Le tableau 9 montre l'effet de cette propriété sur le rendement de l'énergie complémentaire utilisée, à des niveaux voisins de production. Ce tableau montre aussi comment ces gains peuvent être reperdus si l'on surajoute aux processus de culture une opération coûteuse en énergie comme le séchage à haute température.

Il est intéressant de noter l'importance réduite de l'apport des légumineuses dans l'approvisionnement alimentaire mondial, mais il est probable qu'elles joueront un rôle accru dans l'avenir, ainsi que les organismes autonomes fixant l'azote comme les algues bleues-vertes dans la riziculture.

Les principales raisons de cette importance croissante sont que :

— les niveaux de production actuellement nécessaires exigent des niveaux élevés d'apports azotés ;

— l'engrais azoté incorpore beaucoup d'énergie et son coût monétaire va de ce fait s'élever ;

— l'atmosphère est composée pour une très large part (environ 80 %) d'azote qui est donc présent partout et sans cesse renouvelé. En outre, il a été trouvé, pour un nombre croissant de plantes, qu'il existait des associations étroites, particulièrement au niveau des racines, entre elles et des organismes autonomes fournissant de l'azote.

Si le rendement à l'hectare des légumineuses n'est pas toujours aussi élevé, en particulier en glucides, que celui des autres espèces c'est en partie dû au fait que jusqu'à présent, les efforts d'amélioration de ces légumineuses ont été moindres que ceux d'autres plantes. Même ainsi, leurs rendements en protéines sont élevés et la famille inclut un certain nombre d'importantes espèces oléagineuses.

Une évolution primordiale vers la mise en œuvre de systèmes agricoles utilisant moins d'énergie complémentaire consisterait donc à cultiver davantage de légumineuses et à réduire l'emploi des engrais azotés.

B. Le travail

L'utilisation des machines agricoles entraîne des consommations d'énergie complémentaire qui constituent un des postes essentiels de ces consommations. Les machines peuvent rendre le travail moins pénible, permettre l'exécution d'opérations qu'un homme sans aide ne peut effectuer, accélérer les opérations et ainsi valoriser les époques les meilleures pour faire les travaux (façons culturales, semis, récoltes) ainsi que pour influencer l'échelle des opérations. Il résulte toutefois de leur emploi une réduction des besoins en travail et un accroissement des besoins en qualification, en capital et en énergie complémentaire.

En raison de la méthode habituellement utilisée pour calculer l'efficacité du travail, il est tentant de réduire la quantité de travail par unité de superficie car la

le résultat n'est pas toujours favorable (au cours de certaines utilisations de pailles de céréales, on doit mettre en œuvre plus d'énergie supplémentaire que l'on n'en gagne).

Une autre possibilité consiste à utiliser ces déchets comme combustible : il existe en effet des processus satisfaisants pour convertir des biomasses liquides et solides en une série de combustibles solides, liquides et gazeux. Le problème est d'effectuer cette conversion avec de bons rendements énergétiques et économiques — ces derniers variant toutefois avec le prix du combustible.

III. — DES RECOLTES DESTINEES A SERVIR DE COMBUSTIBLE

En dehors de la sylviculture, il existe maintenant un certain nombre de systèmes établis destinés à produire des plantes spécifiquement cultivées pour servir de combustible (Saddler et al, 1975 ; Calvin, 1976 ; Oswald, 1976 ; Howlett et Gamache, 1977). Certains utilisent la canne à sucre, d'autres supposent des coupes d'une sorte de taillis (« coppicing »). Dans les programmes de recherches plusieurs autres cultures sont envisagées.

En général, ces récoltes-combustibles semblent appropriées pour des pays qui ont plus de terres qu'il ne leur en faut pour leur propre alimentation et qui manquent d'énergie complémentaire : par exemple l'Eire (Irlande), la Nouvelle-Zélande, le Brésil. Dans les pays où la situation est différente, les récoltes-combustibles seront probablement cantonnées aux terres abandonnées, marginales ou difficiles (les bruyères en Ecosse ou les landes à fougères au pays de Galles). L'utilisation d'une végétation naturelle présente des avantages évidents mais il reste des coûts de récolte et éventuellement des difficultés à surmonter. Certes ces cultures-combustibles pourraient conduire à l'élaboration de systèmes agricoles tout-à-fait originaux mais il n'est pas possible actuellement de voir si leur contribution aux ressources énergétiques auraient une importance nationale ou seulement locale. La forme sous laquelle le combustible serait employé dépendrait beaucoup des utilisations, et aussi de la distribution et du stockage.

Une autre possibilité importante est que la production végétale devienne davantage plurivalente, produisant simultanément de la nourriture pour les hommes, des aliments pour les animaux et des matières combustibles.

La plupart des plantes cultivées sont ainsi déjà constituées d'une fraction consommable et d'une partie non consommable. Quand l'objectif sera d'obtenir la pluri-utilisation envisagée ci-dessus, il se peut que l'on mette en œuvre des espèces différentes et d'autres mélanges et séquences de cultures. Ce qui soulève d'inté-

ressantes questions relatives aux méthodes de récolte et au choix du moment et des techniques de séparation.

Les recherches en cours sur le fractionnement des récoltes feuillues illustrent les possibilités de cette pluri-production. Ce processus a été conçu surtout comme un moyen d'extraire des protéines des feuilles d'espèces végétales non désirées, des sous-produits ou des récoltes feuillues non utilisables directement par l'homme ou les monogastriques (Pirie, 1975). Efficace pour le rendement en protéine par hectare, il exige beaucoup d'énergie, surtout si le produit est séché. En même temps il enlève de l'eau de la partie fibreuse qui peut être utilisée pour nourrir des ruminants, avec des performances voisines de celles obtenues avec l'herbe d'origine. En effet, le processus consiste à extraire des fractions azotées dépassant les besoins de la plupart des ruminants.

Les résidus fibreux pourraient toutefois aussi être utilisés comme combustible pour fournir l'énergie nécessaire au système de récolte et transformation. Ceci conduirait à des niveaux d'efficacité très différents dans la production des protéines (cf. tableau 11) et pourrait servir de base à un certain nombre de systèmes agricoles.

Ceci fait apparaître la possibilité d'exploitations agricoles auto-suffisantes en énergie en partie par la réduction des besoins énergétiques, en partie par le recours à d'autres sources (comme les éoliennes) et en partie par une production de combustible à partir de la biomasse produite sur l'exploitation (comme déchet, comme sous-produit, en culture principale, ou par fractionnement des récoltes).

CONCLUSION

Les méthodes permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des systèmes agricoles sont nombreuses et il n'y a pas lieu de considérer qu'elles constituent un « pas en arrière », un « retour aux anciennes pratiques ». Le problème consiste à continuer à avancer mais dans une direction différente qui prenne en compte l'effet des prix élevés du pétrole sur la pertinence des indicateurs de productivité.

Baucoup de ces modifications n'entraînent pas nécessairement des changements dans ce que l'agriculture produit mais simplement dans les méthodes utilisées pour produire.

Toutefois il ne fait pas de doute que la réduction la plus importante dans l'emploi d'énergie complémentaire en agriculture et l'augmentation la plus notable dans tous les aspects de l'efficacité énergétique résulterait d'un déplacement de l'équilibre entre production végétale et production animale — bien entendu avec une végétalisation accrue.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BEGG J.E., BIERHUIZEN J.F., LEMON E.R., MISRA D.K., SLATYER R.O. and STERN W.R. (1964). Diurnal energy and water exchanges in Bulrush millet in an area of high solar radiation. *Agric. Meteorol.*, 1, p. 294-312.
- BLACK J.N. (1971). Energy relations in crop production. A preliminary survey. *Ann. Appl. Biol.* 67 (2), p. 272-277.
- CALVIN M. (1976). Photosynthesis as a resource for energy and material. *Am. Sci.*, 64(3), p. 270-278.
- COOPER J.P. (1975). Control of photosynthetic production in terrestrial systems. In: *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*, Ed. J. P. Cooper, Cambridge University Press, p. 593-621.
- DENMEAD O.T. (1969). Comparative microclimatology of a wheat field and a forest of *Pinus radiata*. *Agric. Meteorol.*, 6, p. 357-371.
- de WIT C.T. (1975). Agriculture's uncertain claim on world energy resources. *Span*, 18(1), p. 2-4.
- DOWNING C.G.E. (1975). Energy and agricultural biomass production and utilization. In: *Energy, Agriculture and Waste Management*. Ed. W. J. Jewell. *Ann Arbor Science*. p. 261-269.
- ECKHARDT F.E., HEIM G., METLY M., SAUGIER B. et SAUVEZON R. (1971). Fonctionnement d'un écosystème au niveau de la production primaire, mesures effectuées dans une culture d'*Helianthus annua*. *Oecol. Plant.*, 6, p. 51-100.
- GIFFORD R.M. (1976). An overview of fuel used for crops and national agricultural systems. *Search*, 7(10), p. 412-417.
- HOLMES W. (1975). Assessment of alternative nutrition sources. in: *Meat. Proc. 21st Easter School in Agricultural Science*, University of Nottingham, 1974. Ed. D.J.A. Cole and R.A. Lawrie, Butterworths.
- HOWLETT K. and GAMACHE A. (1977). The Biomass Potential of Short-Rotation Farms. Vol. II of *Silvicultural Biomass Farms*, Mitre Technical Report No. 7347, The Mitre Corporation/Metrek Division.
- KNOTT C. (1978). Processors and Growers Research Organisation. Personal communication.
- LEACH G. (1975). *Energy and Food Production*. London, International Institute for Environment and Development.
- LIETH H. (1972). Über die Primärproduktion der Pflanzendecke der Erde. *Agnew. Botanik*. 46, p. 1-37 (Symp. German Bot. Soc., Innsbruck, 1971).
- McDOUGALL V.D. (1978). University of Reading, Department of Agriculture and Horticulture. Unpublished data.
- NEWCOMBE K. (1976). Energy use in the Hong Kong food system. *Agro-Ecosystems*, 2, p. 253-276.
- OSWALD W.J. (1976). Gas production from micro-algae. In: *Clean Fuels From Biomass, Sewage, Urban Refuse and Agricultural Wastes*. Proc. of a conf. sponsored by the Institute of Gas Technology, Orlando, Florida, jan. 1976. Institute of Gas Technology.
- PIRIE N.W. (1975). Leaf protein: a beneficiary of tribulation. *Nature*, 253, p. 293-241.
- ROBERTS E.H. (1976). The efficiency of photosynthesis: the hierarchy of cell, leaf and crop canopy. In: *Food Production and Consumption*. Ed. A. N. Duckham, J. G. W. Jones and E. H. Roberts. North Holland, Amsterdam. p. 85-105.
- SADDLER H. D. W., McCANN, D. J. and PITMAN M. G. (1975). An assessment of crop production for energy in Australia. *Australian Forestry*, 39(1), p. 5-15.
- SHIELS L.A. (1978). University of Reading, Department of Agriculture and Horticulture. Unpublished data.
- SMITH D. L. O., RUTHERFORD I. and RADLEY R. W. (1975). Straw utilization: Some energy considerations. *The Agric. Engineer* 30 (3), p. 70-76.
- SPEEDING C. R. W. (1975). Energy and environment: The supply of food. In: *Energy and the Environment*. Proc. Sect. 2 of Symp., Man and His Environment, Birmingham, sept. 1975, Ed. J. Walker, University of Birmingham.
- SPEEDING C. R. W. (1976). The Biology of Agricultural. *Biologist*, 23(2), p. 3-11.
- SPEEDING C. R. W. (1978). The effectiveness of animal production systems. In: *Proc. IV World Conference of Animal Production*, Buenos Aires, aug. 1978. (In press).
- SPEEDING C. R. W. and WALSINGHAM J. M. (1975). Energy use in agricultural systems. *Span*. 18(1), p. 7-9.
- TATCHELL J. A. (1976). Crops and fertilisers: Overall energy budgets. In: *Conservation of Resources*, Symp. Proc. University of Glasgow, Chem. Soc. Special Publication, No. 27.
- United Nations Statistical Office (1972). *Statistical Yearbook of the United Nations*.
- WALSINGHAM J. M. (1978). University of Reading, Department of Agriculture and Horticulture, Personal communication.
- WHITE D. J. (1975). Energy in agricultural systems. In: *The Use of Energy in Agriculture*, Institute of Agricultural Engineers conf., London, may 1975.

Tableau 1 — ENERGIE FIXEE PAR L'AGRICULTURE ET PAR TROIS SYSTEMES DE VEGETATION
(d'après Lieth, 1972)

Agriculture	Superficie (10 ⁴ km ²)	Energie produite (10 ¹⁴ J)
Terres arables	14	11
Herbages	24	251
Forêts	50	1.158
Végétation ligneuse	7	82
Océans	361	1.090

Tableau 2 — FIXATION ANNUELLE D'ENERGIE DE QUELQUES PRODUCTIONS VEGETALES TEMPEREES
(Cooper, 1975)

Culture	Pays	Energie de la récolte % $\left(\frac{\text{Rayonnement}}{\text{Rayonnement total}} \times 100\right)$
Ray gras pérenne	UK	1,29
Betterave à sucre	UK	0,73
Pomme de terre	UK	0,69
Blé	UK	0,47
Maïs	NL	0,47

Tableau 3 — ENERGIE SOLAIRE UTILISEE POUR LA TRANSPIRATION ET LA PHOTOSYNTHESE

Culture	Situation	Ensoleillement quotidien brut (KJ.cm ²)	% utilisé pour la photosynthèse	% utilisé pour la transpiration
Blé (1)	A.C.T. Australia	2,9	1,2	34
Pinus radiata (1)	A.C.T. Australia	2,5	2,5	54
Tournesol (2)	Montpellier, France	2,8	1,8-2,8	48
Millet (3)	N.T. Australia	> 2,5	< 1,9	58

(1) Denmead (1969). (2) Calculé d'après Eckhardt et al. (1971). (3) calculé d'après Begg et al. (1964).

Tableau 4 — EFFICACITE ENERGETIQUE DE SEPT AGRICULTURES NATIONALES ET LEURS PRINCIPAUX INPUTS ENERGETIQUES

Pays	Energie alimentaire produite Energie complémentaire absorbée	PART DES INPUTS DANS LE TOTAL DES INPUTS ENERGETIQUES			
		Fuel et électricité directement consommés (%)	Engrais (%)	Machines (%)	Irrigation (%)
Canada ¹	5,8	60	17	7	—
Australia ²	2,8	57	19	19	?
Hong-Kong ³	1,2	0,5	53	0,02	14
USA ²	0,7	50	25	17	6
Holland ²	0,6	70	20	<10	?
UK ²	0,5	36	27	11	—
Israël ²	0,5	16	12	2	63

1. Downing (1975). — 2. Gifford (1976). — 3. Ajusté d'après Newcombe (1976).

Tableau 5 — EFFICACITE ENERGETIQUE DE PRODUITS AGRICOLES AU SEUIL DE L'EXPLOITATION
(Spedding and Walsingham, 1975)

Produit	Energie brute dans le produit	
	Energie complémentaire absorbée	
Maïs	2,8	
Orge	1,8	
Betterave à sucre	1,8	
Pomme de terre	1,1	
Lait + vaches de réforme	0,62	
Cœufs de poules élevées en batterie + carcasses de réforme.	0,16	
Bœuf (de 18 mois, nourri à l'herbe)	0,11	

Tableau 6 — PART DE L'AGRICULTURE DANS LA CONSOMMATION NATIONALE BRUTE D'ENERGIE DANS SEPT PAYS DIFFERENTS

	Consommation énergétique nationale ¹		Consommation énergétique agricole	
	(MGJ)	(MGJ)	(MGJ)	(%)
Israël	162,0	19,5 ²	12,0	
Holland	1.536,5	140 ²	9,1	
Australia	1.778,5	97 ²	5,5	
Canada	4.921,5	198 ³	4,0	
USA	60.953,4	2.391 ²	3,9	
UK	8.052,5	299 ²	3,7	
Hong-Kong	123,4	0,42 ⁴	0,34	

1. UNSO (1972). Toutes données pour 1968 (sauf Hong-Kong : 1971).
2. Gifford (1976). 3. Downing (1975). 4. Newcombe (1976).

Tableau 7 — UTILISATIONS D'ENERGIE COMPLEMENTAIRE DANS DES PRODUCTIONS AGRICOLES
(Spedding, 1975)

% de l'apport total en énergie complémentaire à la production

Inputs	Pomme de terre	Orge	Bœuf	Lait
Engrais	54	46	61	65
Fabrication des machines ..	10	27	8	<1
Opérations de culture	17	20	12	20
Herbicides	4	1	<1	—
Semences	15	—	2	—
Séchage	—	6	15	—
Electricité	—	—	2	15

Tableau 8 — UTILISATION D'ENERGIE DANS L'APPROVISIONNEMENT ALIMENTAIRE AU ROYAUME-UNI (White, 1975)

Partie du système	Energie utilisée	
	(MGJ)	(%)
« En amont »	241	22
Sur l'exploitation		11
« En aval » :		
— Transformation	476	
— Distribution	139	67
— Cuisson	99	
— Réfrigération	20	
Total	1.097	100

Tableau 9 — EFFICACITE DE L'UTILISATION D'ENERGIE COMPLEMENTAIRE POUR LA PRODUCTION DE GRAMINEES ET DE LEGUMINEUSES, ET EFFET DU SECHAGE (Walsingham, 1978)

Culture	Récolte -1 -1 (t.ha .an)	Energie brute dans la récolte	
		Energie complémentaire absorbée	
		Frais	Sec
Ray-grass pérenne.	6	5,5	0,98
Luzerne	8	38,0	1,15

Figure 1. — EFFET DE L'INPUT D'ENGRAIS SUR L'EFFICACITE DE L'UTILISATION D'ENERGIE COMPLEMENTAIRE DANS LA PRODUCTION VEGETALE

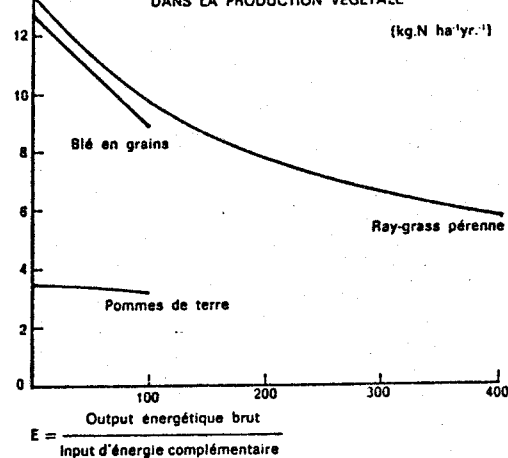


Tableau 10 — RESIDUS DES RECOLTES EN PROPORTION DE LA PRODUCTION AERIEENNE DE MATIERE SECHE

Culture	Production aérienne -1 -1 (t.ha .an)	Résidus		(%)
		-1 -1 (t.ha .an)		
Choux de Bruxelles ¹	10,4	7,97		76,2
Blé ²	9,3	4,73		50,9
Petits pois ¹	6,2	3,10		50,0
Haricots ¹	13,6	6,02		44,2
Orge ²	7,4	3,27		44,2
Choux ³	5,4	1,85		34,3
Choux-fleur ³	4,2	1,30		30,9
Tomates ³	22,7	4,70		20,7

1. Calculé d'après Knott (1978). — 2. Calculé d'après Smith et al. (1975). — 3. Calculé d'après Shiels (1978).

Tableau 11 — EFFICACITE ENERGETIQUE DE LA PRODUCTION DE PROTEINES DANS DEUX SYSTEMES UTILISANT LE FRF, EN COMPARAISON AVEC UN SYSTEME CONVENTIONNEL (McDougall, 1978)

Inputs du système	Utilisation de la fraction fibreuse	Produits du système	Output protéinique (g.MJ ⁻¹) Input énergétique
Pâturage et ensilage	(Pas de fractionnement)	Bœuf	2,28
Ray-grass fractionné	Aliments du bétail	Bœuf + CLP (1)	2,28
Ray-grass fractionné	Combustible	CLP (1)	4,77

(1) Concentré liquide de protéines.

SEPT OBSERVATIONS COMPLÉMENTAIRES

Dr. Günther THIEDE
Luxembourg

ENERGY-SAVING TYPES OF AGRICULTURE

a review of the mechanical and chemical trends of agriculture

SEVEN ADDITIONAL OBSERVATIONS

submitted by Dr. Günther Thiede, Luxembourg

1. — Il semble nécessaire de préciser davantage les ordres de grandeur. Ainsi, il faudrait tenir compte du fait que l'agriculture n'absorbe qu'une partie relativement faible du total de l'énergie disponible. La CEE/ONU à Genève (1) estime que l'agriculture des pays européens ne doit disposer que de 3 à 4 % de l'ensemble de la consommation énergétique de l'Europe compte tenu des consommations intermédiaires en engrais minéraux, produits phytosanitaires, machines, etc., après conversion.

En cas de raréfaction de l'énergie, l'agriculture devrait absolument pouvoir compter, à mon avis, sur un approvisionnement prioritaire. En fin de compte, l'alimentation humaine constitue l'un des besoins élémentaires de notre existence.

Cet aspect ressort également clairement d'un deuxième chiffre comparatif : la consommation des ménages en République fédérale d'Allemagne et en France représente respectivement 24 et 28 % du total de la consommation d'énergie (2). Des économies de l'ordre de 10 % dans ce domaine représenteraient donc déjà bien plus de la moitié des besoins en énergie de l'agriculture.

Le problème énergétique en tant que tel est certes d'une importance majeure. Toutefois, les risques qu'on lui impute fréquemment pour l'agriculture en cas de pénurie d'énergie devraient être moins graves et pourraient certainement être surmontés.

2. — Dans toutes les considérations relatives aux problèmes de l'énergie, on ne doit pas simplement considérer l'agriculture de façon globale. Il existe, on

le sait des différences essentielles dans les niveaux de développement. Le problème énergétique se pose en termes tout différents pour les pays en voie de développement et pour les pays développés, c'est-à-dire aussi pour l'Europe.

Dans les pays en voie de développement, les énergies humaines et animales ont une importance bien plus grande, souvent même prépondérante. L'utilisation de l'énergie mécanique, à savoir de machines, de tracteurs et de carburants est faible et parfois insignifiante. Les prix élevés et croissants de l'énergie pour les machines et les carburants agissent tout particulièrement comme un frein sur la structure de l'agriculture des pays en voie de développement, car cette énergie mécanique y est en concurrence directe bien plus vive avec l'énergie humaine et animale que dans les pays développés. A cela s'ajoutent des difficultés d'approvisionnement et de distribution du carburant. L'augmentation des prix de l'énergie dans les pays en voie de développement freine donc de manière exceptionnellement forte l'expansion de la production envisagée.

Suivant le plan indicatif mondial de la FAO pour le développement de l'agriculture de 1970, les pays en voie de développement ont, dans l'ensemble, besoin d'au moins 0,5 CV d'énergie humaine, animale et mécanique par hectare de terre arable pour épuiser leur potentiel de rendement. Toutefois, en 1970, l'Afrique ne disposait que de 0,05 CV, l'Asie 0,19 CV et l'Amérique Latine 0,27 CV (tandis que l'Europe occidentale disposait de 0,93 CV). La pénurie d'énergie des pays en voie de développement ne pourra guère être comblée par des ressources supplémentaires en énergie humaine et animale. Mais y remédier par un apport accru (plus précisément : par un apport légèrement accru) d'énergie mécanique entraînerait probablement des difficultés plus grandes encore.

(1) Utilisation de l'énergie dans l'agriculture européenne. Bulletin mensuel Economie et Statistique Agricole, Vol. 26, n° 6, juin 1977, p. 1-9.

(2) Office Statistique des Communautés Européennes, Bilan en énergie utile, 1975 (les calculs pour les autres pays de la CE n'existent pas).

En revanche, le problème de l'énergie se pose tout autrement dans le monde développé, d'autant qu'ici c'est la transformation en produits animaux qui prédomine avec un bilan énergétique négatif.

3. — Il est courant d'entendre dire que l'emploi d'engrais minéraux représente un gaspillage d'énergie. On oublie souvent la contrepartie : en réalité, une économie d'engrais entraîne aussi automatiquement une utilisation réduite de l'énergie solaire. Si l'on épand moins d'engrais, la biomasse végétale produite sera réduite proportionnellement. Dans ce cas, la surface foliaire produite ne peut capter qu'une quantité d'autant moindre d'énergie solaire par photosynthèse.

Pour produire un kilocalorie sous forme de maïs, de céréales, de riz ou pommes de terre, il ne faut approximativement que 0,1 à 0,4 kilocalorie d'énergie fossile sous formes d'engrais, de machines, de combustibles, etc. (3). En ce qui concerne la production de matières végétales, l'agriculture présente donc un bilan énergétique tout à fait positif. Ce bilan ne devient négatif que lors de la conversion ultérieure en produits alimentaires d'origine animale, par laquelle il est vrai (et c'est là que réside l'effet positif de la conversion), des protéines vitales sont produites à partir de l'énergie.

La production végétale est le seul secteur économique important dans lequel de l'énergie naturelle, à savoir l'énergie solaire, est rendue utilisable par un apport d'énergie (surtout des engrais), c'est-à-dire où l'énergie est multipliée. Vu sous cet angle, le prétendu « gaspillage » d'énergie du fait de l'apport d'engrais minéraux doit être considéré en fait, même à une époque de pénurie d'énergie, comme franchement positif.

4. — Les hausses de prix et de coût dans la production agricole, qui résultent partiellement de l'augmentation importante et même très importante du coût de l'énergie, peuvent en général être répercutées par l'agriculture du monde développé sur les prix à la consommation. L'alimentation est un besoin fondamental que l'on ne peut renoncer à satisfaire. Si les ressources énergétiques sont rares et, par suite, les prix élevés, les consommateurs sont en fin de compte obligés d'accepter également de payer les prix élevés des produits alimentaires, au détriment de la consommation d'autres biens, pour lesquels l'énergie correspondante doit alors être économisée. Le spectre d'une augmentation plus forte de l'énergie étrangère qui est utilisée dans l'agriculture ne devrait donc guère poser de trop grands problèmes aux agriculteurs, même à long terme.

En outre, le coût de l'énergie consommée directement par l'agriculture de la CE en carburants et en électricité représente aujourd'hui, en moyenne, seulement 3,7 %

(3) Une étude américaine (D. PIMENTEL et Coll., Food Production and the Energy Crisis, Science Vol. 182, 1973, n° 4111) montre que 11 % de l'énergie nécessaire à la production de maïs provient du pétrole et 89 % de l'énergie solaire.

de la valeur de la production finale (4). Le coût de l'énergie consommée indirectement pour la fabrication des engrais, des produits phytosanitaires, des machines et des outils, qui devrait également être pris en considération dans un bilan énergétique de l'agriculture, devrait représenter, selon les estimations, un pourcentage au moins égal.

Dans la structure des coûts de la production agricole, la part du coût de l'énergie n'est donc pas excessivement élevée. Une augmentation des prix ne pourra donc avoir de répercussion particulièrement forte sur la structure globale des coûts.

5. — On ignore bien souvent que la consommation d'énergie pour les produits alimentaires après la production agricole, c'est-à-dire entre l'exploitation agricole et la cuisine, est également très forte et qu'il existe probablement ici des possibilités d'économie bien plus grandes que dans la production agricole proprement dite.

Une étude américaine (5) a montré que la production agricole (y compris les consommations intermédiaires) absorbe 3,8 % du total de l'énergie nette des Etats-Unis, mais que l'industrie agro-alimentaire, les transports, ainsi que le stockage et la transformation dans les ménages en consomment près de trois fois autant, à savoir 11,8 %.

Il n'existe manifestement pas de chiffres précis sur les parts respectives de l'agriculture et du secteur de l'énergie en Europe. La CEE/ONU à Genève (6) estime que la consommation d'énergie dans le secteur de l'industrie alimentaire est approximativement aussi élevée que dans l'agriculture elle-même.

Le tableau 8 de l'étude de SPEDDING et COCKS indique en effet pour le Royaume-Uni (7) que le pourcentage de la consommation en aval est nettement plus élevé. Suivant cette étude, un tiers seulement de toute l'énergie utilisée pour les produits alimentaires est absorbé par la production agricole elle-même, mais deux tiers le sont par l'industrie alimentaire, le commerce, la cuisson et la réfrigération. Il va de soi qu'il existe donc, en ce qui concerne les produits alimentaires, d'énormes possibilités d'économie d'énergie, même en dehors de l'agriculture.

Un exemple pratique (8) illustrera ces possibilités d'économie : pour le transport de la poudre de lait, qui se fait par camion de Rennes à Rome, on pourrait consommer 5,5 fois moins d'énergie si ce transport était effectué par la voie ferrée et non par la route.

(4) Office Statistique des Communautés Européennes. Comptes de l'agriculture.

(5) STEINHART, I.S. et C.E. STEINHART. Energy in the US-Food System, Science, Vol. 184 (1973), n° 4134.

(6) Utilisation de l'énergie... (op. cit.).

(7) Suivant D.I. WHITE, Energy in Agricultural Systems. Dans «The use of Energy in Agriculture», Institute of Agricultural Engineers conf., Londres, mai 1975.

(8) RAMADE F., Bilan énergétique dans les Agro-écosystèmes (manuscrit).

6. — A long terme, il faut prévoir l'épuisement des ressources pétrolières. Cela nous incite aujourd'hui en premier lieu à réfléchir sur les possibilités futures d'économies. Par ailleurs, et parallèlement à cela, il convient cependant de prendre en considération les progrès techniques futurs. Ceux-ci permettront probablement à l'agriculture, dans un proche avenir, d'utiliser d'autres sources d'énergie que le pétrole, même pour la culture de plein champ.

Suivant une enquête effectuée par Mohn (9) en 1971-72, selon la méthode Delphi, auprès d'environ cent chercheurs en technique agricole et fabricants de machines agricoles d'Europe et d'outre-mer, on peut prévoir que de nouveaux procédés énergétiques seront pratiquement utilisables dans la culture de plein champ dès la fin du siècle et même auparavant. D'après cette étude, les moteurs à gaz et les turbines pourraient être utilisés d'ici à 1990, l'électricité et l'énergie produites par des piles à combustibles vers l'an 2000. En ce qui concerne l'utilisation de l'énergie solaire, de l'énergie nucléaire, des sources d'énergie biologique et de l'énergie provenant des déchets de culture, ces experts envisagent également des possibilités de réalisation. Toutefois, elles ne devraient apparaître qu'après l'an 2000.

(9) R. MOHN, Ergebnisse einer Prognose über technische Fortschritte in der Landwirtschaft nach dem Delphi-Verfahren. Dans : Schriften der Gesellschaft für Wirtschaft und Sozialwissenschaften des Landbaus e.V., Vol. 10, Munich 1973, p. 89-106.

(10) Voir à cet égard G. THIEDE, Europas Grüne Zukunft (L'avenir vert de l'Europe), Düsseldorf et Vienne 1975, ainsi que l'exposé de G. Thiede, « Progrès technique et politique agricole: Contraintes, conflits, conséquences », groupe de travail I du Congrès de Dijon.

Parmi les perspectives d'avenir, de nouveaux résultats sont à attendre des recherches entreprises en biologie (10), qui entraîneront des économies d'énergie.

Par exemple :

- l'amélioration de la photosynthèse des plantes :
 - a) par l'obtention de nouvelles structures des plantes,
 - b) par l'utilisation de constituants actifs qui rendent plus efficace le mécanisme de la photosynthèse à l'intérieur de la plante elle-même ;
- la culture de plantes vivant en symbiose avec des collecteurs d'azote (par exemple des bactéries) et qui n'existent pas d'engrais azotés ou n'ont besoin que de quantités plus faibles que les plantes actuelles de la même espèce.

7. — Les connaissances actuelles en matière d'utilisation d'énergie dans l'agriculture et le secteur alimentaire présentent de nombreuses lacunes. Il faudrait exiger l'élaboration de statistiques appropriées et de bilans énergétiques courants.

Dans ces travaux, il conviendrait de faire la distinction entre énergie primaire et énergie complémentaire. Les utilisations d'énergie dans l'agriculture proprement dite, ainsi que dans les secteurs d'amont ou d'aval devraient être également déterminées et présentées séparément.