



*The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library*

**This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.**

**Help ensure our sustainability.**

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

[aesearch@umn.edu](mailto:aesearch@umn.edu)

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

*No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.*

## Les types d'agriculture économisant l'énergie ; une critique de l'orientation mécanique et chimique de l'agriculture

C.R.W. Spedding, R.J. Cocks

---

**Citer ce document / Cite this document :**

Spedding C.R.W., Cocks R.J. Les types d'agriculture économisant l'énergie ; une critique de l'orientation mécanique et chimique de l'agriculture. In: Économie rurale. N°128, 1978. Ecologie et société - 3e partie. pp. 32-39;

doi : <https://doi.org/10.3406/ecoru.1978.2603>

[https://www.persee.fr/doc/ecoru\\_0013-0559\\_1978\\_num\\_128\\_1\\_2603](https://www.persee.fr/doc/ecoru_0013-0559_1978_num_128_1_2603)

---

Fichier pdf généré le 08/05/2018

## Résumé

De toutes les activités humaines conscientes, l'agriculture est de loin celle qui utilise le plus d'énergie soilaire. 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.

## Abstract

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).

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. C.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 Landbouw-Economisch Instituut, Conradskade 175 - The Hague-Netherlands. Publishers : MOUTON Publishers, Walder 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 inaptes 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'ENERGIE COMPLEMENTAIRE 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

superficie de terre est le plus souvent fixée. Si, toutefois, la production augmentait avec l'accroissement de l'input de travail, il y aurait une incitation à employer plus de personnes par unité de superficie. Cependant, quand les machines *peuvent* remplacer les hommes, une forte production par homme n'est pas liée à un fort input de travail. Dans la pratique, bien entendu, les machines sont plutôt grandes et coûteuses et il faut de grandes superficies pour qu'elles soient justifiées. Mais rien ne s'oppose à ce que des machines convenant à une large gamme de conditions — y compris les superficies — soient conçues ; en fait c'est de cela qu'il s'agit quand on se réfère aux idées de technologie intermédiaire ou appropriée.

Il faut aussi mettre en doute les hypothèses habituelles concernant la relation entre la production par homme et le nombre d'hommes employés par unité de superficie — particulièrement si ces dernières sont très réduites. Il est tout à fait possible que la flexibilité plus grande de l'homme comparé à la machine permette l'adoption de mélanges de cultures et de successions de semis, façons, cultures et récoltes permettant, sur de petites superficies avec un fort emploi de travail, d'obtenir à la fois des productivités très élevées tant par hectare que par homme (Spedding, 1978).

En tout cas, l'importance d'un ratio comme la production par homme dépend beaucoup du coût relatif de la main-d'œuvre et du rôle éventuel de pourvoyeur d'emplois du secteur agricole.

Il est certain qu'une efficacité accrue dans l'emploi du travail est normalement associée à une baisse d'efficacité dans l'emploi de l'énergie complémentaire.

Une autre méthode par laquelle l'agriculture pourrait économiser sur l'énergie complémentaire consisterait donc à utiliser plus de travail et moins de machines. Ceci n'implique pas nécessairement des tendances régressives vers l'agriculture traditionnelle et peut s'accorder avec des mouvements à la fois vers les petites unités et vers l'agriculture à temps partiel.

Toutes ces évolutions devraient s'efforcer pour le moins de maintenir les niveaux actuels de production par hectare — et ceci peut exiger la mise en œuvre, en dehors du rayonnement solaire, de certaines quantités minimales d'énergie. Il est donc probable que ces évolutions seront fondées sur un meilleur emploi du rayonnement solaire en tant que source d'énergie pour tous les usages — car le rayonnement solaire est la grande source d'énergie qui peut être considérée comme sûre (et avec un niveau donné de rayonnement incident par jour).

## **II. — UN MEILLEUR EMPLOI DU RAYONNEMENT SOLAIRE**

Puisque l'agriculture exige une source d'énergie, la meilleure manière d'économiser l'énergie complémentaire peut consister soit à éliminer les utilisations de

l'énergie complémentaire elle-même gaspilleuses ou inutiles, soit à utiliser davantage le rayonnement solaire incident.

### **A. L'élimination des gaspillages**

Il y a de notables opportunités en cette matière, comme le montre bien le gaspillage de fuel dans les serres dont l'isolement a été peu étudié et où le système de ventilation a consisté essentiellement à expulser de l'air chaud. Toute une série d'économies assez évidentes peuvent donc être faites. En outre, on peut faire fonctionner les systèmes de manière à économiser l'énergie. Parmi les solutions envisageables, on peut imaginer de juxtaposer plusieurs processus de production. Par exemple : la pisciculture dans l'eau chaude des centrales électriques ; des combinaisons de serres (qui exigent de l'eau chaude et du CO<sub>2</sub>) avec les logements d'animaux (où l'un et l'autre sont produits) ; l'élevage des canards combiné avec la pisciculture mettant en œuvre plusieurs espèces de poissons.

### **B. Le rayonnement solaire**

Le rayonnement solaire est utilisé surtout pour la production végétale et il y a certainement de nombreuses voies permettant d'améliorer cette transformation. Toutefois il a été estimé (Roberts, 1976) que le rendement de la photosynthèse ne peut guère dépasser 8 % (mesuré sous la forme de l'énergie fixée en pourcentage du rayonnement incident total) et ceci n'est guère supérieur aux meilleures performances des espèces existantes. Il est néanmoins possible d'intercepter une proportion accrue du rayonnement solaire reçu en assurant une meilleure couverture végétale (surface foliaire et durée des feuilles). Certaines des méthodes permettant d'atteindre ce résultat consistent à cultiver des mélanges de plantes et à suivre d'autres successions de cultures — ce qui peut être plus adapté aux formes d'agriculture intensives en travail et à petite échelle.

D'autres méthodes permettent de faire un meilleur usage de l'énergie solaire effectivement fixée par la photosynthèse. Pour de nombreuses cultures, une forte proportion des tissus de la plante ne font pas partie du produit agricole utilisé. Certaines de ces fractions de la plante (par exemple les racines de céréales) restent dans le sol et contribuent au maintien de sa fertilité. Mais les déchets aériens sont perdus, ou recyclés, ou encore utilisés comme matières premières pour d'autres activités (cf. tableau 10).

Ces déchets ou sous-produits peuvent-ils être utilisés pour économiser de l'énergie ? Il y a deux voies principales. En premier lieu, les matières en cause pourraient donner lieu à utilisation ultérieure, ce qui accroîtrait le produit total et donc le produit par unité d'énergie mise en œuvre. Une production piscicole utilisant des déchets végétaux pourrait accroître l'output total de protéine par unité d'énergie complémentaire. Toutefois

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.

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 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.
- SPEDDING 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.
- SPEDDING C.R.W. (1976). The Biology of Agricultural. *Biologist*, 23(2), p. 3-11.
- SPEDDING C.R.W. (1978). The effectiveness of animal production systems. In: *Proc. IV World Conference of Animal Production*, Buenos Aires, aug. 1978. (In press).
- SPEDDING 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 <sup>6</sup> km <sup>2</sup> )	Energie produite (10 <sup>18</sup> 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 % $\left(\frac{\text{Rayonnement}}{\text{total}} \times 100\right)$
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 <sup>-2</sup> )	% 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 <sup>1</sup> .....	5,8	60	17	7	—
Australia <sup>2</sup> .....	2,8	57	19	19	?
Hong-Kong <sup>3</sup> .....	1,2	0,5	53	0,02	14
USA <sup>2</sup> .....	0,7	50	25	17	6
Holland <sup>2</sup> .....	0,6	70	20	< 10	?
UK <sup>2</sup> .....	0,5	36	27	11	—
Israël <sup>2</sup> .....	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
Œufs de poules élevées en bat- terie + 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 <sup>1</sup> (MGJ)	Consommation énergétique agricole (MGJ)	(%)
Israël .....	162,0	19,5 <sup>2</sup>	12,0
Holland .....	1.536,5	140 <sup>2</sup>	9,1
Australia .....	1.778,5	97 <sup>2</sup>	5,5
Canada .....	4.921,5	198 <sup>3</sup>	4,0
USA .....	60.953,4	2.391 <sup>2</sup>	3,9
UK .....	8.052,5	299 <sup>2</sup>	3,7
Hong-Kong .....	123,4	0,42 <sup>4</sup>	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 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 Frais	Sec
Ray-grass pérenne.	6	5,5	0,98
Luzerne .....	8	38,0	1,15

**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 <sup>1</sup> .....	10,4	7,97	76,2
Blé <sup>2</sup> .....	9,3	4,73	50,9
Petits pois <sup>1</sup> .....	6,2	3,10	50,0
Haricots <sup>1</sup> .....	13,6	6,02	44,2
Orge <sup>2</sup> .....	7,4	3,27	44,2
Choux <sup>3</sup> .....	5,4	1,85	34,3
Choux-fleur <sup>3</sup> .....	4,2	1,30	30,9
Tomates <sup>3</sup> .....	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) <sup>-1</sup> 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.

**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	734
— Cuisson .....	99	67
— Réfrigération .....	20	
Total .....	1.097	100

