



**AgEcon** SEARCH

RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

*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.*

## L'agriculture, source d'énergie : le point sur les techniques d'utilisation de la biomasse

M. Jean-Claude Sourie

---

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

Sourie Jean-Claude. L'agriculture, source d'énergie : le point sur les techniques d'utilisation de la biomasse. In: Économie rurale. N°138, 1980. pp. 49-58;

doi : <https://doi.org/10.3406/ecoru.1980.2726>

[https://www.persee.fr/doc/ecoru\\_0013-0559\\_1980\\_num\\_138\\_1\\_2726](https://www.persee.fr/doc/ecoru_0013-0559_1980_num_138_1_2726)

---

Fichier pdf généré le 08/05/2018

## Résumé

Avec le renchérissement des prix des énergies fossiles, une nouvelle mission de l'agriculture commence à apparaître : la production d'énergie à partir du carbone des plantes.

Dans le cadre de la décennie à venir, les sous-produits agricoles, essentiellement les pailles et les fumiers, pourraient fournir 5 à 6 Mtep sans qu'apparaissent de phénomènes de concurrence, ni avec les usages alimentaires, ni avec les usages agronomiques. La production de chaleur, à petite échelle, soit à la ferme, soit dans sa périphérie, semble la filière la plus réaliste. Elle sera réalisée tout d'abord par combustion des produits secs (paille) puis, suivant le progrès des techniques, par fermentation méthanique des fumiers de bovins. Actuellement, dans bien des sites, l'obstacle économique freine encore la diffusion des technologies précédentes et surtout de la fermentation méthanique.

A plus long terme, on peut envisager le développement de cultures énergétiques très diverses et adaptées à différents milieux. On fonde beaucoup d'espoir sur les plantations énergétiques à courte révolution, à base de peupliers.

En plus de l'énergie calorifique, l'agriculture pourrait également produire des carburants, surtout, semble-t-il, grâce à la voie du méthanol.

## Abstract

As a consequence of the increasing prices of fossil fuels, a new finality for agriculture is appearing: energy production from biomass.

During the next ten years, by-products straw and animal wastes are the most important. Could be an energy feedstock about 5 to 6 Mtep, without any effect on the soil fertility, nor on the other uses of agricultural wastes. On this period, by-products will be used to produce calorific energy, wet residues by anaerobic digestion and dry residues, by direct combustion. To-day, economic factors limit the development of these two technologies, particularly, the development of anaerobic digestion.

For the future, energetic cultures are considered. Short forestry rotations seem to be a very promising possibility. These cultures could be converted into liquid fuels, such as methanol.

# L'AGRICULTURE, SOURCE D'ENERGIE

## LE POINT SUR LES TECHNIQUES D'UTILISATION DE LA BIOMASSE

J.C. SOURIE

*Laboratoire d'Economie Rurale de GRIGNON.*

---

Avec le renchérissement des prix des énergies fossiles, une nouvelle mission de l'agriculture commence à apparaître : la production d'énergie à partir du carbone des plantes.

Dans le cadre de la décennie à venir, les sous-produits agricoles, essentiellement les pailles et les fumiers, pourraient fournir 5 à 6 Mtep sans qu'apparaissent de phénomènes de concurrence, ni avec les usages alimentaires, ni avec les usages agronomiques. La production de chaleur, à petite échelle, soit à la ferme, soit dans sa périphérie, semble la filière la plus réaliste. Elle sera réalisée tout d'abord par combustion des produits secs (paille) puis, suivant le progrès des techniques, par fermentation méthanique des fumiers de bovins. Actuellement, dans bien des sites, l'obstacle économique freine encore la diffusion des technologies précédentes et surtout de la fermentation méthanique.

A plus long terme, on peut envisager le développement de cultures énergétiques très diverses et adaptées à différents milieux. On fonde beaucoup d'espoir sur les plantations énergétiques à courte révolution, à base de peupliers.

En plus de l'énergie calorifique, l'agriculture pourrait également produire des carburants, surtout, semble-t-il, grâce à la voie du méthanol.

---

### RENEWABLE ENERGY FROM AGRICULTURE.

*As a consequence of the increasing prices of fossil fuels, a new finality for agriculture is appearing : energy production from biomass.*

*During the next ten years, by-products straw and animal wastes are the most important. Could be an energy feedstock about 5 to 6 Mtep, without any effect on the soil fertility, nor on the other uses of agricultural wastes. On this period, by-products will be used to produce calorific energy, wet residues by anaerobic digestion and dry residues, by direct combustion. To-day, economic factors limit the development of these two technologies, particularly, the development of anaerobic digestion.*

*For the future, energetic cultures are considered. Short forestry rotations seem to be a very promising possibility. These cultures could be converted into liquid fuels, such as methanol.*

---

Une des manifestations de la crise actuelle est le renchérissement des prix des énergies fossiles, auquel se surajoutent des menaces de pénurie, dues à la situation politique internationale.

L'agriculture est une activité concernée à un double titre par ce phénomène, en tant que consommatrice d'énergies fossiles, mais également, en tant que productrice possible d'énergies renouvelables.

En effet, grâce à la photosynthèse, les végétaux accumulent le carbone et constituent des stocks de matières organiques : la biomasse, énergie solaire concentrée et stockée. En priorité, cette biomasse est utilisée à des fins alimentaires et industrielles mais il subsiste des quantités importantes de biomasse résiduelle plus ou moins bien valorisées, voire gaspillées. Ainsi, en France, d'après R. Carillon [2] cette biomasse agricole résiduelle, après pâturage

des animaux, draine un flux énergétique solaire estimé à 40 M tep (1), alors que le flux total capté par l'agriculture serait à peine plus du double.

Vu l'importance de cette " fuite énergétique ", il paraît logique, dans les circonstances présentes, de se demander comment exploiter ce gisement potentiel, et si cette exploitation peut conduire à des économies physiques d'énergie et également à la production de vecteurs énergétiques économiquement concurrentiels.

Vu l'ampleur de cette question nouvelle, les connaissances tant techniques qu'économiques sont entachées à l'heure actuelle de larges zones d'ombre. Le " rapport vert " du Commissariat à l'Energie Solaire (COMES), bientôt disponible, fait une présentation exhaustive de l'état des connaissances. Ici, nous

voulons simplement rappeler quelques résultats concernant seulement l'Agriculture, en insistant sur les filières technologiques les mieux connues.

Cela veut dire que nous passerons sous silence la contribution énergétique essentielle que peut apporter la forêt. Ses sous-produits, taillis, bois d'éclaircies, rémanents (houppiers, cimes) constituent une réserve annuelle de biomasse importante. Bien que difficilement chiffrable, elle est évaluée à 30 millions de m<sup>3</sup> environ. Très approximativement, ce cubage équivaut à 15 millions de tonnes de matière sèche.

Par ailleurs, cette coupure envisagée reste un peu artificielle car l'agriculture et la forêt entretiennent d'étroites relations. La forêt dite " paysanne " occupe 3 000 000 hectares sur un total de 14 millions et concerne 550 000 exploitations agricoles [12].

## I. — LES RESSOURCES EN BIOMASSE AGRICOLE ET LES PROBLEMES DE COLLECTE.

Le gisement est constitué tout d'abord par l'ensemble des sous-produits agricoles. Ultérieurement, on peut penser que des cultures énergétiques se développeront, à la fois dans des zones de notre territoire national actuellement improductives, que ce soit en milieu terrestre, lacustre ou marin, mais aussi dans des zones cultivées, en remplacement de cultures à faible rentabilité.

### 1. LES SOUS-PRODUITS AGRICOLES.

#### a) Evaluation rapide des quantités de sous-produits agricoles et forestiers.

Les sous-produits agricoles collectables non utilisés à des fins industrielles ou alimentaires représenteraient 52 millions de tonnes de matière sèche (MS) (cf. en fin d'article un tableau de Ph. Chartier, recensant les sous-produits).

Par ordre d'importance décroissante on trouve :

les pailles de céréales	21 millions de t. de MS
les déjections de bovins (hors paille)	12 millions de t. de MS
les résidus du maïs	6,8 millions de t. de MS
les pailles d'oléagineux	3,0 millions de t. de MS

Ce tableau en annexe fait en outre ressortir l'importance de l'usage agronomique de ces sous-produits et leur hétérogénéité. En particulier, l'humidité est très variable, et on le verra, détermine largement la technologie de production d'énergie applicable : les voies biologiques, pour les sous-produits humides et très humides, les voies thermo-chimiques, pour les sous-produits secs.

#### b) La collecte des sous-produits agricoles.

Pratiquement, chaque sous-produit est un cas particulier, compte tenu de ses caractéristiques physiques, de sa période de collecte, des systèmes de production dans lequel il est produit et utilisé, et de la technologie de conversion énergétique qui lui est applicable.

Toutefois, on peut, semble-t-il, apercevoir au travers de cette diversité du réel, quelques aspects de la collecte très importants et communs à l'ensemble de ces sous-produits. Ce sont les aspects agronomiques, les contraintes de récolte et de transport, enfin, la question concernant la sécurité des approvisionnements en biomasse.

L'aspect agronomique soulevé par la collecte des sous-produits est une question largement débattue et étudiée, mais encore, pourtant, une occasion de controverses. Le problème ne se pose que si les résidus sont convertis en énergie par voie thermo-chimique car alors, la matière organique est réduite en cendres. Les matières organiques enfouies évoluent dans les sols en agissant sur leurs caractéristiques, notamment physiques. Ces effets ont fait l'objet de très nombreuses études.

Juste, [10] a fait récemment sur ce sujet une synthèse des travaux de l'INRA. Il ressort essentiellement que les effets dus à l'exportation durable des sous-produits dépendent des types de sols, des assolements et du climat. Il est donc aussi faux de préconiser un enfouissement systématique des résidus, en tout lieu, que de négliger au contraire, totalement, les répercussions agronomiques d'une exploitation massive des résidus. Dans ces conditions, lors de la mise en place d'une installation, il convient de réaliser une analyse régionale fine des ressources exportables sans danger et éventuellement des palliatifs à envisager.

Dans le calcul des coûts de collecte, l'évaluation économique de cette utilisation agronomique ne peut être que très partielle. On peut prendre en compte facilement la valeur des éléments minéraux exportés ou éventuellement les coûts des palliatifs résultant d'une certaine politique de restitution des matières organiques, proposée par le Conseiller agronomique.

Si la concurrence entre les usages énergétiques et agronomiques paraît la plus immédiate, à terme, on

peut assister aussi, dans certaines régions placées près des zones d'élevage, à une concurrence entre l'utilisation énergétique et les utilisations par l'élevage (litières, aliments grossiers). On peut penser que cette concurrence se traduira, en fait, par une hausse des prix des sous-produits pour l'éleveur, qui, les valorisant généralement bien compte tenu de ses petites structures de production, continuera tout de même à les acheter mais verra ainsi s'accroître ses coûts de production.

#### *La récolte des sous-produits végétaux et ses contraintes.*

Très souvent, l'insertion de la récolte des sous-produits dans les systèmes de production agricoles présente des difficultés, étant donné que le recyclage actuel des résidus s'opère généralement de façon très commode (cas des pailles, brûlées ou broyées, avant enfouissement).

Dans ces conditions, la récolte très saisonnière, devra souvent s'effectuer rapidement de manière à ne pas perturber le calendrier de travail de l'exploitant. On conçoit aisément que des retards dans les travaux puissent avoir des conséquences économiques de la plus grande importance. C'est pourquoi on constate que, très souvent, les agriculteurs accordent plus d'importance au respect des délais d'enlèvement qu'aux prix perçus pour la vente de leurs sous-produits.

De même, la récolte pourra achercher sur des contraintes de capacités de matériel et de main-d'œuvre, d'autant plus que les matériels disponibles ont été conçus pour répondre à des besoins purement agricoles et sont, par conséquent, dotés de performances modestes. Qui plus est, ces matériels transforment les produits en une forme peu dense et ce conditionnement gênera, en aval, l'organisation du stockage, du transport et de l'alimentation des installations.

Le coût de la récolte dépend étroitement de la nature du sous-produit. De plus pour un sous-produit donné, le coût de la récolte variera en fonction des techniques mises en œuvre, mais aussi en fonction des systèmes de production agricoles, qui valorisent plus ou moins bien les facteurs de leur appareil de production. De cette variation, il découle une courbe d'offre du sous-produit caractéristique d'une région. Pour la paille, cette courbe a été mise en évidence [13].

Cette courbe d'offre en partie inhérente aux structures régionales de production donne une mesure du phénomène de hausse du prix qui pourra accompagner l'exploitation grandissante des sous-produits. Cette hausse par les coûts pourra d'ailleurs se conjuguer avec la hausse par la demande, résultant de la concurrence entre les usages.

#### *Le transport.*

Pour des raisons économiques, les sous-produits humides (fumiers, lisiers) ne sont pas transportables.

En revanche, les sous-produits secs comme la paille, pourront être véhiculés sur de petites distances inférieures à 20 ou 30 km.

Actuellement, l'utilisation énergétique des sous-produits doit donc obligatoirement être très décentralisée ; les sous-produits humides devront être utilisés à la ferme, les sous-produits secs pourront, en outre, être valorisés dans la proche périphérie des entreprises agricoles. Dans ce cas, un équilibre économique doit être trouvé en fonction des évolutions inverses, des coûts de conversion énergétique qui peuvent bénéficier d'effets d'échelle et des coûts de collecte.

#### *La sécurité des approvisionnements.*

Elle se pose, du point de vue de la quantité, de la qualité et du prix du sous-produit. En tant que ressource agricole, le sous-produit est soumis aux aléas climatiques et aux agresseurs biologiques. Sa composition est variable, notamment son humidité. La régulation des techniques doit tenir compte de cette contrainte. Ces sous-produits peuvent également constituer des stocks-tampons pour l'éleveur manquant de fourrages. Enfin, pour de multiples raisons, les prix peuvent varier. Cette insécurité de l'approvisionnement est d'autant plus importante que l'échelle de la production d'énergie s'accroît.

A l'heure actuelle, pour qu'un système décentralisé de production d'énergie soit stable, il doit s'installer dans des sites appropriés où peut s'exercer un contrôle du système par un centre de décision ; ce devrait être le cas à la ferme et également dans une petite coopérative qui sèche des produits agricoles. Une autre forme de régulation peut découler de la polyvalence des technologies, permettant une substitution aisée entre sources d'énergie suivant les prix. On parle également d'organiser les marchés de certains sous-produits.

En conclusion, la valorisation énergétique des sous-produits est actuellement largement freinée par les contraintes de collecte. C'est surtout en début de chaîne, le matériel de récolte qui constitue le goulot d'étranglement principal. Un effort de recherches prioritaires est nécessaire en ce domaine. Jusqu'alors, on s'est presque exclusivement préoccupé d'améliorer les technologies de conversion énergétique de la biomasse.

En fonction des contraintes aperçues, la disponibilité réelle du gisement ne dépassera pas vraisemblablement 5 à 6 M tep. Cette disponibilité pourrait d'après certains, être mobilisée en une dizaine d'années.

## **2. LES CULTURES ENERGETIQUES**

On dispose à priori d'une palette importante de cultures possibles adaptées à différents milieux et conduisant à différents types de secteurs énergétiques. Beaucoup de cultures envisagées ont actuellement un usage alimentaire ou industriel. C'est le cas de la betterave qui peut fournir l'éthanol ou encore des oléagineux qui pourraient être cultivés pour

leurs huiles énergétiques. En zone maritime, des plantes prairiales, plutôt des légumineuses, pourraient coproduire des quantités importantes de matière sèche et de protéines. Certaines productions, presque complètement abandonnées reviennent au premier plan. C'est le cas du topinambour, considéré comme la plante alcooligène des terres pauvres, dont les fanes pourraient également servir de combustible. Enfin, des cultures nouvelles sont envisagées. La plus intéressante est la canne de Provence qui a fait l'objet de nombreux travaux [1] en tant que source de fibres. Elle pourrait connaître un développement prochain dans le Midi méditerranéen où, semble-t-il, compte tenu de son potentiel de production (20 T de matière sèche par an), elle concurrencerait déjà certaines productions agricoles comme le blé dur. Cette culture énergétique a une aire d'extension limitée. Pour les autres régions, on pourrait envisager des taillis à courte révolution (5 à 8 ans) qui pourraient produire 10 tonnes de matière sèche par an. Ceux à base de peupliers sont actuellement particulièrement étudiés. Enfin, pour coloniser des zones diffici-

les, en déshérence on songe aux cultures d'euphorbe pour leur latex ou leurs graines, ainsi qu'à d'autres plantes poussant naturellement dans ces régions, les fougères, les ajoncs, les genêts.

Actuellement, on commence à explorer ou à réexplorer les bases phytotechniques de ces plantes. On recherche les moyens d'améliorer de façon économique leur potentiel de production, notamment celui des plantes alcooligènes, jusqu'alors insuffisant pour envisager rentablement une production de carburant. Il y a là, d'abord, un vaste champ de recherches pour différentes disciplines scientifiques de l'INRA (2). Mais également, pour certaines cultures déjà bien connues, il devient possible et nécessaire d'examiner leurs conditions d'insertion dans les systèmes de production agricoles.

De grands espoirs sont mis dans ces cultures. Ph. Cartier [3] pense que, dans 40 ou 50 ans, ces cultures pourraient apporter 30 M tep et occuper 7,5 millions d'hectares en partie récupérés sur les terres marginales.

## II. — PRESENTATION DE QUELQUES FILIERES TECHNOLOGIQUES

Habituellement (8), on distingue deux grandes catégories de filières :

- les filières biochimiques, au sein desquelles interviennent les croissances et l'action de micro-organismes vivants, bactéries, levures. Les deux voies principales sont la fermentation alcoolique donnant l'éthanol et la fermentation méthanique (ou anaérobie) fournissant un biogaz, mélange de méthane et de gaz carbonique. Elles s'appliquent d'abord aux substrats humides et très humides.

- les filières thermochimiques, où interviennent uniquement des processus physiques et des réactions chimiques à des températures et des pressions plus ou moins élevées et en présence de quantités plus ou moins importantes d'air. Il s'agit essentiellement de la combustion qui conduit à la production de chaleur et de la gazéification qui fournit un mélange de gaz, appelé couramment gaz pauvres (CO, H<sub>2</sub>). Ces gaz étaient le carburant utilisé par les véhicules à gazogène durant la dernière guerre.

Les processus évoqués sont les mieux connus et donnent naissance actuellement à des réalisations en vraie grandeur, expérimentales ou commercialisées.

### 1. CONSIDERATIONS GENERALES SUR LA VIABILITE ECONOMIQUE DE CES FILIERES.

L'intérêt économique de ces nouvelles technologies peut être évalué à plusieurs niveaux :

- au niveau micro-économique, à partir d'un utilisateur final de l'énergie produite. Cette approche fragmentaire, où les prix, fixés de façon exogène, permettent d'isoler l'objet de l'étude, a le mérite de faire ressortir les problèmes d'adéquation des technologies au milieu ;

- aux niveaux régional, national ou d'une ressource en biomasse, de manière à prendre en compte les effets induits par le développement de l'utilisation énergétique de la biomasse et par la régression parallèle de l'emploi de vecteurs énergétiques fossiles. Ces effets sont essentiellement la variation des prix de la biomasse et de l'emploi, l'effet multiplicateur de l'investissement ainsi que les variations des ressources de l'Etat et du solde de la balance commerciale.

Cette exploration économique en est à ses premiers balbutiements, au niveau le plus élémentaire et concerne surtout pour l'instant les filières thermochimiques utilisant la paille. On assiste également aux premiers essais d'analyse macro-économique.

Ces explorations font apparaître que l'exploitation énergétique des sous-produits demande, par tep économisée, des ressources en capitaux et en main-d'œuvre plus importantes que la réduction du gaspillage de vecteurs énergétiques fossiles.

Au niveau micro-économique, l'obstacle du capital et de la main-d'œuvre est de toute première importance.

La contrainte de capital implique des ressources financières suffisantes ainsi que des modalités appropriées de financement des installations mais également une durée de vie des installations suffisamment longue de façon à intégrer le plus possible les effets du dérapage du prix de l'énergie fossiles par rapport aux coûts de la biomasse.

La sélection des investissements, couramment réalisée en utilisant le critère du délai de récupération, aboutit le plus souvent à rejeter la biomasse, sauf sites privilégiés. La méthode du calcul actualisé, prenant plus complètement en compte la dérive relative du prix des énergies fossiles sur une durée de vie

des installations, pénalise moins les combustibles végétaux à condition toutefois que le taux d'actualisation soit faible (10 % en francs courants, ce qui revient à supposer des conditions de financement particulièrement avantageuses). Son relèvement, pour tenir compte d'un coût d'opportunité du capital pénalise à nouveau le choix de la biomasse. Cette contrainte de capital est essentielle pour beaucoup d'agriculteurs, notamment pour les éleveurs, et risque par conséquent de freiner en priorité le développement de la fermentation méthanique.

L'obstacle de la main-d'œuvre doit également être considéré attentivement, à cause du coût de ce facteur et des taux de hausse des salaires et des charges sociales (sur ces dernières années, ces taux dépassent ceux de l'énergie).

En raison de ce double obstacle, les sites privilégiés permettant actuellement une exploitation des sous-produits sont avant tout ceux où cette exploitation peut contribuer à mieux utiliser des capacités de production disponibles, dans les entreprises.

Pour les cultures énergétiques, se surajoute à ces obstacles, celui de la disponibilité en terre. On verra comment cette question intervient de façon prépondérante, à propos de la production d'éthanol.

D'un point de vue collectif, l'analyse du problème peut être soit complémentaire, soit différente de celle résultant d'une approche fragmentaire. Les rares analyses existantes [6] montrent que la récupération de la biomasse contribuerait à un accroissement de la PIB tel que l'octroi d'une subvention de 2 000 F par tep économisée serait récupéré par l'Etat en 2 ou 4 ans. Actuellement, l'aide se situe à 400 F/tep. Par ailleurs, d'ici 1985, l'exploitation des sous-produits de la forêt et de l'agriculture pourrait fournir 8 000 emplois. Il semble donc que la valorisation des sous-produits bénéficierait d'effets induits favorables et par conséquent, une action incitative plus nette de l'Etat paraît envisageable. Elle nous paraît tout à fait nécessaire car les mécanismes de marché nous semblent insuffisants pour promouvoir rapidement l'énergie verte, vu les obstacles mentionnés.

En outre, ces mécanismes incitatifs sont encore atténués pour deux autres raisons :

l'énergie est un facteur très dilué, représentant le plus souvent une faible part des coûts de production ; le coût de la biomasse dépend du prix des énergies fossiles ;

une action vigoureuse de l'Etat pourrait également déclencher l'apparition des effets de série chez les fabricants de réacteurs et briser ainsi une certaine inertie économique, largement imputable aux prix très élevés des premiers réacteurs fabriqués.

## 2. LA PRODUCTION DE CARBURANTS LIQUIDES.

(Les résultats donnés ici sont extraits du livre vert publié par le COMES).

Deux carburants sont envisagés, l'éthanol et le méthanol. La fabrication du premier est bien connue

et fait appel à la fermentation. Le second en revanche s'obtient par synthèse à partir des gaz pauvres obtenus par gazéification.

Ces alcools peuvent être utilisés en faible mélange (10 à 15 %) sans modifications notables des moteurs. Le mélange essence-alcool est d'ailleurs bien connu. Il a été utilisé après la guerre. L'utilisation de ces alcools purs doit être étudiée, et des moteurs mis au point.

Bien plus que l'utilisation, c'est la production de ces alcools qui pose problème.

### a) L'éthanol

1 ha de betteraves peut fournir en moyenne 40 hl d'éthanol ou l'équivalent de 2 600 l de super-carburant ou 2 tep. Ce rendement assez faible s'accompagne d'une petite économie physique de pétrole, 0,86 tep par ha, ou encore 0,43 tep par tep de carburant économisé, et ce, dans le meilleur des cas. Compte tenu du prix actuel du carburant à la production, autour de 1 200 F par tep, la mise en place de cette filière s'accompagnerait d'un coût collectif très élevé. Un simple calcul montre qu'on ne peut pas attribuer à l'agriculteur, le produit brut moyen qu'il perçoit actuellement, même si on lui accorde tout le surplus dû à la substitution. Par ailleurs, la production d'une fraction significative de carburant demanderait un doublement des surfaces actuelles en betteraves. Cette filière semble avoir assez peu d'avenir, à moins d'améliorer le potentiel de production de la betterave. L'utilisation du topinambour doit être étudiée.

### b) Le méthanol

C'est une filière assez mal connue mais qui paraît à priori plus prometteuse que la précédente. Le rendement énergétique est meilleur. A partir d'une tonne de biomasse sèche, on pourrait fabriquer 0,5 tonne de méthanol ou encore l'équivalent de 300 l de super-carburant. Le bénéfice énergétique serait de 0,74 tep, par tep de carburant économisé, soit le double du cas précédent. Le coût de ce carburant est encore mal cerné, mais il semble nettement moins élevé que celui de l'éthanol. Sa production est envisagée dans des unités importantes : 400 à 800 T de méthanol par jour. Bien des questions restent encore sans réponse, notamment au niveau de la synthèse : par ailleurs, la gestion de la collecte de biomasse sera certainement difficile à maîtriser, vu les tailles d'installations envisagées. On préconise d'utiliser la paille, ou le bois de taillis à courte révolution, comme matières premières. En somme une voie à mieux explorer, préférable à la voie de l'éthanol.

## 3. LA FERMENTATION METHANIQUE.

C'est une voie étudiée à nouveau, notamment par l'INRA, aussi bien d'un point de vue agricole qu'industriel. Actuellement, on commence à bien connaître les fonctions de production de gaz. Elles dépendent de nombreuses variables. Les plus importantes sont la composition du substrat, la température de fermentation et les durées de cycle. Ces résultats permettent maintenant d'envisager la réalisation d'installations expérimentales et l'optimisation éner-

gétique de leur fonctionnement. Quelques points de ces fonctions de production, choisis le plus souvent en fonction de critères énergétiques, sont souvent

cités dans la littérature spécialisée. Ils situent les ordres de grandeur de la production brute de gaz pour une température des digesteurs de 35° C (3).

Tableau 1. — La fermentation méthanique. Fonctions de production de gaz

Substrats	Matières sèches (MS)	Durée des cycles	m <sup>3</sup> de gaz par kg de MS	% de méthane
- Lisiers				
(a) de porcs	6 %	10 j	0,30	70
(b) de bovins	10 %	20 j	0,26-0,28	55 à 60
(b) de volailles	12 %	20 j	0,30	70
	6 %	20 j	0,38	70
(c) Fumiers (gras)	18 %	35-40 j	0,30-0,35	60-65
	(M. organiques)			

Source : (a) D'après SUMMERS et al. ; in Agricultural Wastes, mars 1980.

(b) D'après HOBSON, in Agricultural Wastes, mai 1979.

(c) D'après ZELTER, INRA. (15) - (Données exprimées par kg de matières organiques).

Le bilan net de la production dépend des températures ambiantes et de la qualité de l'isolation des cuves. Dans certaines conditions, notamment lors de périodes froides, le bilan peut devenir négatif. Généralement, pour des installations bien conçues et bien conduites, un surplus énergétique est obtenu. Observé sur plusieurs cycles, ce surplus peut atteindre 60 à 70 % de la production totale de gaz.

Compte tenu de ces rendements, la production d'une quantité de gaz permettant par exemple le chauffage d'une habitation d'agriculteur suppose des ressources en déjections animales suffisantes et des effectifs de troupeaux en conséquence : l'élevage de 20 à 25 UGB, ou l'engraissement de 600 à 700 porcs par an (ces chiffres constituent des ordres de grandeur).

La fermentation méthanique possède en outre deux propriétés parfois aussi intéressantes pour l'utilisateur que la production de biogaz. D'une part, la fermentation permet de réduire la charge polluante des lisiers et permet donc la mise en place de système d'épuration économe en énergie, voire même, producteur d'un excédent d'énergie.

D'autre part, la fermentation méthanique, en ne détruisant pas les matières organiques, préserve le pouvoir fertilisant des substrats, sans toutefois l'augmenter [9].

Il est encore trop tôt pour imaginer l'avenir du méthane agricole, et en particulier sa viabilité économique. Des travaux en cours au Département d'Economie de l'INRA à Montpellier et Grignon devraient donner un éclairage sur le sujet.

Toutefois, on peut, d'ores et déjà, faire quelques observations.

Cette technique doit être envisagée d'abord à la ferme car les substrats très aqueux ne peuvent supporter les charges de transport, avant et après fermentation. De même, la valorisation du gaz doit être faite, en priorité, sur place. Cela entraîne des problè-

mes d'ajustement entre production et consommation. C'est pourquoi l'utilisation du gaz est un problème au moins aussi important que la production de ce gaz.

Deux substrats doivent être distingués, les lisiers de porcs et les fumiers.

Le premier substrat, pompable, peut être fermenté en continu. Toutefois, cet effluent, très dilué conduit à des bilans énergétiques très tendus, et il faut en traiter des quantités importantes pour obtenir suffisamment d'énergie. Par ailleurs, cette énergie ne trouve pas toujours un emploi possible sauf si dans l'élevage existe une consommation régulière de chaleur ou d'électricité (cuisson ou fabrication d'aliments, conditionnement des locaux d'élevage). Enfin, au total, les lisiers de porcs représentent une toute petite ressource énergétique, moins de 200 000 tep et dans ces conditions, leur exploitation servira bien plus un intérêt local que national, surtout d'ailleurs lorsqu'elle contribuera à réduire les niveaux de pollution.

Le deuxième substrat solide doit actuellement être fermenté en discontinu, dans une succession de cuves. Cette ressource importante, 25 millions de tonnes de matière sèche, pour les seuls bovins, n'est pas des plus faciles à exploiter pour diverses raisons.

- la ressource est émiettée dans de nombreuses exploitations agricoles,
- la manutention des fumiers peut être une source de problèmes techniques, économiques et sociaux,
- le bois constitue actuellement une ressource énergétique largement utilisée par les éleveurs qui l'exploitent, sans engager pratiquement de dépenses. " Faire du bois " a toujours été une activité paysanne,
- les matériels doivent être vendus ou construits à bas prix. Un devis d'installation pour un chauffage domestique doit être inférieur à 60 000 F ;
- les moyens financiers de l'éleveur peuvent être insuffisants ou mieux rémunérés par d'autres investissements, professionnels ou privés.

Actuellement, on assiste cependant à une nouvelle apparition de cette technique dans les fermes. Il s'agit le plus souvent d'installations rustiques, en grande partie imaginées et réalisées par l'éleveur lui-même.

Cette technique connaîtra-t-elle un succès important ? On ne peut encore se prononcer. Une chose est certaine, l'intérêt que lui porte les éleveurs.

#### 4. LA PRODUCTION DE CHALEUR PAR COMBUSTION ET D'ELECTRICITE PAR GAZEIFICATION.

##### a) La production de chaleur par combustion.

A court terme, c'est incontestablement la voie la plus réaliste qui devrait permettre une valorisation

supplémentaire des sous-produits secs (bois et pailles) et également justifier un commencement de mise en place de cultures de Canne de Provence. Cette voie donne toujours des bilans énergétiques largement positifs [11].

Il faut rappeler que d'ores et déjà, le bois fournit 2 Mt aux agriculteurs. En outre, des déchets secs et rassemblés peuvent être une source de chaleur avantageuse en remplacement des combustibles pétroliers. Plus récemment, la paille fait son apparition parmi les combustibles, à la ferme. Dans certains systèmes de production, ce combustible nouveau peut être très bon marché : 60 F par tonne ou 2 cts par thermie. Le tableau 2 compare les coûts actualisés du chauffage à la paille et au fuel domestique, sous différentes hypothèses.

Tableau 2. — Coûts moyens actualisés par mega joule utile

(taux d'actualisation 10 %) 1 thermie = 4,19 mega joule

	Chaudière à paille simple	Chaudière à paille automatisée	Chaudière à fuel	
Prix du Combustible (79)	60 F/T	140 F/T	1,20 F/T	1,20 F/T
Dérive des prix des Combustibles	10 %	10 %	15 %	20 %
Coûts (rendement 60 % pour la paille, 75 % pour le fuel)	0,045	0,120	0,130	0,160

Source : J.C. SOURIE [14].

Ce tableau justifie l'intérêt porté aux pailles par les agriculteurs. Il montre en outre l'incidence économique de la mécanisation des chaudières à paille. Environ 15 à 20 tonnes de paille devront être brûlées pour assurer le chauffage hivernal et la production d'eau chaude.

A la suite des dernières hausses de prix des produits pétroliers, la paille peut aussi être un com-

combustible concurrentiel pour des petites entreprises situées en zones rurales et en particulier pour les installations de séchage des produits agricoles. Vu le coût actuel de la granulation, plus de 200 F par tonne, la seule filière de collecte possible se compose d'une récolte et d'un transport de grosses balles, puis à l'usine, d'un hachage du produit avant l'injection dans un brûleur. Le tableau ci-après donne l'exemple du séchage du maïs à la paille [14].

Tableau 3. — Coûts moyens actualisés du séchage en coopérative

(Francs par kg de maïs sec - Taux d'actualisation 10 %)

Dérive du prix des énergies fossiles	Durée de service des installations	Coût				
		Fuel	Butane	Gaz naturel	Paille à 100 F/T	Paille 130 F/T
15 %	7 ans	0,140	0,110	0,105	0,145	0,151
20 %	10 ans	0,215	0,155	0,140	0,140	0,150

Source : J.C. SOURIE [14].

Ce séchage requiert environ 15 kg de paille par quintal de maïs sec (humidité initiale de 38 %) et dans l'exemple traité, la quantité totale de paille nécessaire ne dépasse pas 200 tonnes. C'est donc un système énergétique qui nous paraît facilement gérable.

Il est en outre stable à condition que chaque agriculteur fournisse une quantité de paille, au prorata de sa production de maïs et que la récolte soit organisée par la coopérative.

La quantité totale de paille que l'on pourrait exploiter par voie sèche, sans concurrencer les autres usages, (humus, litières, aliments) représente un potentiel de 1,5 M tep soit 5 millions de tonnes (1/5 de la production). Toutefois, si l'on veut que les espoirs énergétiques mis dans la paille se concrétisent, la mise au point de technique de granulation bon marché s'impose. Des recherches sont en cours au CNEEMA sur ce thème. Elles apparaissent prometteuses [4].

#### **b) La production d'électricité par gazéification.**

Le gaz pauvre (CO, H<sub>2</sub>) obtenu par la technique du gazogène peut être un carburant gazeux pour des moteurs adaptés (dual-fuel) et permettre grâce à un alternateur couplé au moteur, une production d'électricité. Par ce système, 1 kg de bois ou de paille pourrait fournir 0,8 KWH.

Actuellement des techniques sont au point, pour des centrales de petites puissances inférieures à 1 000 KVA et alimentent nos exportations de technologies.

Dans le contexte français, il semble que ces techniques ne se justifient que si la biomasse disponible est bon marché et, de préférence, gratuite et si le coefficient d'utilisation de la centrale est bon [13].

Si la biomasse doit être collectée et si la dérive du prix de l'électricité se maintient, comme par le passé à un taux très faible, voire négatif, cette technologie ne paraît pas promise à un grand avenir. Une optimisation précise du système, en fonction des tarifs différentiels du KWH pourrait éventuellement permettre de trouver une solution acceptable, dans certains cas.

## **QUELQUES CONCLUSIONS**

L'utilisation énergétique de la biomasse constitue un nouveau et vaste champ de recherches dont l'exploration commence.

Ce thème mobilise déjà un nombre respectable de scientifiques, en particulier à l'INRA où une quarantaine de chercheurs ont des activités qui s'insèrent plus ou moins sous le thème de l'énergie, et au CNEEMA, où les recherches sur les technologies de la voie sèche sont particulièrement développées.

Ces recherches récentes - elles ont au plus 5 à 6 ans et ont été préparées par le Comité VEDA de la DGRST - débouchent d'ores et déjà sur l'application pratique. Il est vrai qu'un passé scientifique non négligeable a permis une progression rapide des connaissances.

De nombreuses opérations de démonstration, coordonnées et financées par le COMES, en liaison avec la Mission Energie du Ministère de l'Agriculture, sont actuellement mises en place et devraient, d'ici 1 ou 2 ans, fournir une information de qualité, utile pour éclairer la décision aussi bien privée que publique.

Pour autant, l'aide à la recherche fondamentale ou plus appliquée n'a pas été négligée.

Dans une première phase, sur 2 ans, c'est une enveloppe globale de 25 millions de francs que le COMES va consacrer à toute la biomasse pour les opérations de recherche, de développement et de démonstration, sans compter les aides propres de la Mission Energie.

Quelle peut être la contribution de la biomasse agricole au bilan énergétique de la France ? C'est une question qui restera quasiment sans réponse tant

cette contribution future est sous la dépendance de facteurs innombrables dont certains nous échappent largement (le prix des énergies) sans compter ceux dont le rôle reste imprévisible (le progrès technique). Néanmoins, une enveloppe traçant les frontières du possible technique peut être définie pour servir d'objectifs aux responsables et repérer approximativement la place que pourrait tenir la biomasse parmi les énergies dites " nouvelles ". Pour nous limiter à l'horizon constitué par les 10 à 15 prochaines années, on peut penser que les sous-produits, surtout les sous-produits secs, les bois et les pailles, seront mobilisés et peut-être également les déjections animales si des techniques de fermentation fiables et peu coûteuses sont mises au point. Dans ces conditions, les sous-produits agricoles pourraient constituer un gisement de 5 à 6 M Tep et les sous-produits de la forêt, taillis compris, un gisement de 2 à 3,5 M Tep. Finalement, en comptant les 2 M Tep actuellement utilisés, c'est environ 10 M Tep qui pourraient être la contribution énergétique de la biomasse sans qu'apparaissent de tensions vives sur les usages marchands des sous-produits, ni des conséquences sur la fertilité de notre patrimoine foncier. Cette biomasse, compte tenu de ses caractéristiques, doit être utilisée par des systèmes énergétiques décentralisés, aux niveaux des exploitations agricoles mais aussi élargis aux petites entreprises para-agricoles ou industrielles établies en zones rurales.

A moyen terme, c'est avant tout de la chaleur que devra produire cette ressource renouvelable, dans la mesure où les produits fossiles s'orienteront progressivement vers des usages plus nobles, les carburants, et où, la fourniture d'électricité reposera vraisemblablement de plus en plus sur l'exploitation de l'énergie nucléaire.

**Tableau 4. — Sous-produits à base carbone renouvelable sur l'exploitation agricole**

L'enfouissement correspond à la fois à une nécessité agronomique et à un moyen de destruction du sous-produit.

Produits et sous-produits (Principaux)		Gisement/an		Humidité	Utilisation actuelle (en %)		Utilisations envisageables
		Millions de tonnes humides	Millions de tonnes MS				
Céréales (7 660 000 ha)	Paille	25	21	15-20	Animaux (litière)	70	Alimentation ruminants (paille traitée) Energie Industrie
					Enfouie	25	
					Brûlée	5	
Oléagineux (315 000 ha)	Paille	3,3	2,9	12-20	Enfouie	100	id. pailles céréales
	...						
Maïs (1 600 000 ha)	Tiges	7,7	2,7	60-70	Enfouis	100	Alimentation ruminants — pâturage direct - ensilage
	Feuilles	4,6	1,6	60-70			
	Spathes	1,7	1,1	35			
	Rafles	2,5	1,4	45			
Betteraves (590 000 ha)	Feuilles	23,6	2,9	85-88	Alimentation animale	4	Alimentation ruminants - pâturage ou affouragement vert - ensilage
	Collets				Enfouis	96	
Vigne (1 300 000 ha)	Sarments	3,5	2,6	25	Enfouis ou brûlés		Energie
Elevage : Fumier Lisier	Déjections de :						
	Bovins	150	12	90-93	Enfouissement et épandage	100	Alimentation ruminants
	Ovins	3,5	1	70-75			
Porcs	30	1,5	95				
Fientes (hors pâturage)	Volailles	5,5	1,3	75-80			Energie
	Paille (fraction de la 1 <sup>re</sup> ligne)	15	13	—			

Source : d'après P. CHARTIER et P. DUPUY, 1978 in : « Compte rendu du Colloque de Toulouse de la Société Française de Microbiologie ».

## NOTES

(1) Cette valeur exclut les pertes métaboliques dues aux animaux. La tep est l'abréviation de la Tonne Equivalent Pétrole. Pour situer l'ordre de grandeur de ce potentiel d'énergie, il correspond à celui de 1 200 l de fuel domestique, 2 500 kg de biomasse anhydre ou 3 000 kg de paille. 1 Mtep = 10<sup>6</sup> tep. Les numéros entre crochets renvoient à la bibliographie.

(2) Ces activités et les chercheurs concernés sont répertoriés dans un document INRA [7] présentant les recherches de l'Institut dans le domaine de l'énergie et de la biomasse.

(3) 1 m<sup>3</sup> normal de CH<sub>4</sub> équivaut à 8,4 thermies ou 1 l de fuel domestique ou 8,3 x 10<sup>-4</sup> tep.

## BIBLIOGRAPHIE

1. ARNOUX M. (1974). — Recherches sur la canne de Provence (*Arundo donax* L.) en vue de sa transformation en pâte à papier. *Ann. Amélior. plantes* 24 (4) 349-376.
2. CARILLON R. (1975). — L'activité agricole et l'énergie (2<sup>e</sup> essai de réflexion). Etudes du CNEEMA n° 408.
3. CHARTIER Ph. (1979). — Potentiel énergétique de la biomasse. Journées d'étude et de réflexion du Comité Valorisation Energétique des Déchets (VEDA) Paris 13-14 mars. *APRIA* éd. - 35, rue du Général Foy - 75008 Paris, 3-37.
4. CNEEMA (1980). — Les travaux et les avis du CNEEMA sur la valorisation énergétique de la biomasse. Etudes du CNEEMA 460, fév. 80. Parc de Tourvoie - 92160 Antony.
5. COMES (1980). — Commissariat à l'Energie Solaire. Mission Biomasse et Energie. Document sur l'énergie verte. COMES, 208, rue Raymond Losserand - 75014 Paris. (Sous presse).
6. HAENTJENS J. (1980). — Energies renouvelables et emploi. Note de synthèse. *AGORA*, 3, rue Robert Le Coin - 75016 Paris.
7. INRA (1980). — Les recherches de l'INRA dans le domaine de l'énergie et de la biomasse. *INRA*, 149, rue de Grenelle - 75341 Paris Cédex 07.
8. JAYET P.A. (1979). — Bioconversion. Energie et Agriculture. *Revue de l'énergie*. N° spécial Energie solaire, 313, 267-278.
9. JUSTE G. (1979). — Etude de la valeur agronomique des résidus de la fermentation méthanique. Rapport scientifique annuel. *DGRST-INRA* Bordeaux, Station d'Agronomie - 33140 Pont de la Maye.
10. JUSTE G. (1980). — Exportation maximale de biomasse et conservation de la fertilité des sols en zone tempérée. Cas de l'enlèvement des pailles de céréales à des fins énergétiques. Colloque CENECA - 27-29.2.80.
11. MERIAUX S. (1978). — Production de paille de céréales et de tiges de maïs à des fins énergétiques. Synthèse de 5 rapports. Rapport de contrat CEE. *INRA*, 149, rue de Grenelle - 75007 Paris.
12. Ministère de l'Agriculture (1979). — Dossier sur la forêt française. Supplément au BIMA.
13. SOURIE J.C. (1979). — L'utilisation énergétique des pailles et des fumiers. Aspects agronomiques, énergétiques et économiques. Journées d'étude et de réflexion du Comité Valorisation Energétique des Déchets Agricoles (VEDA). Paris 13-14 mars. *APRIA* éd. - 35, rue du Général Foy - 75008 Paris, 41.75.
14. SOURIE J.C., JAYET A. (1980). — Une exploration de l'intérêt économique de deux utilisations énergétiques des pailles, le chauffage domestique et le séchage du maïs. Colloque CENECA, 27-29 février 1980. *INRA*, Laboratoire d'Economie rurale - 78850 Grignon.
15. ZELTER (1978). — Fermentation méthanique en discontinu des déchets agricoles. Compte rendu final d'une recherche financée par la DGRST. *INRA-CNRZ* 78350 Jouy-en-Josas.