

# EXEMPLAIRE RÉSERVÉ

VALORISATION ENERGETIQUE DES RESIDUS VEGETAUX DIRECTEMENT AU TERRAIN :

LE LABOUR ET LA FERTILISATION PAR LES LOMBRICIENS, UN POTENTIEL A DEVELOPPER

par Marcel B. BOUCHE, docteur ès sciences  
Laboratoire de zoécologie du sol, I.N.R.A., Dijon  
France

## Les résidus végétaux

Les plantes constituent un immense capteur d'énergie solaire couvrant une grande partie de la surface de la France. 41,9 millions d'hectares en France métropolitaine font l'objet d'un recensement agricole. L'énergie incorporée par les plantes sera en partie dissipée au cours de la croissance et du maintien du végétal (formation et maintenance de la biomasse) mais une fraction sera émanée sous forme de produits organiques divers. Cette émanation se faisant par libération spontanée, telle l'exudation racinaire, l'abscission d'une feuille, la mort d'un arbre ou après un prélèvement subi par le végétal (coupes de foin, abattages d'arbres, broutages ou morsures d'herbivores, parasitismes, etc.). Nous nous intéresserons ici à la partie émanée morte (nécromasse) et non collectée dans l'espace rural pris dans son ensemble, y compris les forêts, parcours, prairies, etc. : je la nommerai nécromasse résiduelle. Nous ne considérerons pas ici seulement la (ou les) plante (s), objet d'une spéculation agronomique mais toutes les fixations chlorophylliennes qu'elles soient nobles ou viles (mauvaises herbes, mousses, algues, etc.) car toutes participent à la libération dans le milieu d'une nécromasse énergétiquement intéressante.

## Essais d'estimation de la disponibilité annuelle des résidus végétaux

Il n'existe pas d'études fiables de la nécromasse produite annuellement, même en dehors des périodes de végétation, car on ne sait à peu près rien de l'importance des débris végétaux qui quittent la biomasse pour devenir nécromasse. Essayons toutefois d'estimer un ordre de grandeur minimal des nécromasses libérées dans le milieu. En forêts par exemple, la chute de débris végétaux est d'environ 5 T p.s./ha (2, 3, 4), elle serait encore supérieure pour les résineux en général (5,5 T p.s./ha) (5).

Pour les prairies, on peut en suivant Macfadyen (6) retenir une production végétale au dessus du sol de l'ordre de 10,5 T/ha dont 6,6 T/ha sont décomposées in situ.

Retenons encore ici une hypothèse basse (5,5 T/ha/an) en raison de l'étendue des parcours peu productifs dans notre pays (ce qui ne signifie pas peu fournisseurs de débris végétaux... car ils sont souvent sous-exploités et la part relative d'énergie ainsi laissée au champ s'accroît).

Ces productions de litière "sur le sol" sont beaucoup plus difficiles à évaluer dans les zones labourées à cultures généralement annuelles. La très grande diversité des plantes cultivées, des modes de récoltes (collecte ou non des pailles, par exemple) rendent pratiquement impossible une estimation en l'état actuel de notre ignorance. Si les zones cultivées sont généralement restreintes aux sols les plus fertiles et si la quantité de soins et d'énergie apportés aux cultures annuelles est élevée, c'est avant tout pour obtenir la récolte maximale d'un organe végétal, parfois de la partie aérienne récoltable. Cette optimisation culturale devrait corrélativement accroître la production de débris végétaux mais ceci est loin d'être certain en raison des longues périodes de terrain nu ou peu couvert et de l'élimination des mauvaises herbes, ce qui diminue probablement la qualité du tapis végétal en tant que capteur solaire. La différence la plus sensible risque en fait d'être au niveau de l'émanation racinaire de débris qui représentent en culture annuelle environ 20 % de la biomasse (7) et sont généralement abandonnés comme débris dans le milieu à chaque récolte. Retenir en définitive un chiffre de 5 T/ha au total (dont environ 1 T/ha de racines) est probablement un ordre de grandeur minimal (8).

L'estimation de l'émanation de racines dans le milieu est encore plus difficile en prairie et en forêt qu'en culture annuelle, en raison de l'absence de recherches conséquentes sur ce sujet. On peut constater que la biomasse racinaire en prairie est souvent très élevée, de l'ordre des 2/3 de la biomasse totale mais le taux de renouvellement moyen serait de 4 ans (9) ce qui conduit en milieu herbacé à une émanation annuelle de l'ordre de 3 à 4 T/ha/an. En milieu forestier il semble que la biomasse racinaire soit faible par rapport à la partie aérienne (en raison de l'importance des troncs) de l'ordre de 4 T/ha avec une émanation de débris d'environ 1 T/ha/an dans une chênaie méditerranéenne (3) mais présente des figures plus élevées (biomasse variant de 20 à 52 T/ha) et émanant des débris variant de 1,35 à 2,33 T/ha/an dans différentes chênaies de Belgique (10). Une valeur de "production" racinaire de l'ordre de 1,5 T/ha en milieu forestier semble, en l'absence de données plus complètes, un ordre de grandeur prudent.

Pour nous résumer, on peut retenir que la "production" de débris végétaux est en moyenne annuellement au moins de l'ordre de 9 T/ha/an (dont 3,5 T sous terre) en milieu herbacé permanent, de 6,5 T/ha/an (dont 1,5 T sous terre) en forêt et de 5 T/ha/an (dont 1 T sous terre) dans les conditions variables

La dégradation de l'énergie de la nécromasse résiduelle peut être considérée comme une bonne chose car elle est liée à une décomposition conduisant à la libération des éléments minéraux nutritifs biogènes (N, P, K, ...) qui peuvent être recyclés à la saison végétative suivante. Une partie de cette matière organique morte se transforme par ailleurs en "humus" dont les qualités physiques et chimiques sont telles qu'elle améliore généralement les propriétés physiques des sols et limite les pertes d'éléments nutritifs.

\* poids sec

Ces transformations des résidus se font sous l'action biologique des micro-organismes mais aussi des macro-organismes. Le sol agit comme un incubateur microbien complexe où la nécromasse est introduite notamment par le brassage sol/nécromasse et l'enfouissage fait par les lombriciens (ou vers de terre) et où une agitation interne (activité prépondérante des lombriciens), une aération grâce aux galeries d'animaux (un peuplement moyen de lombriciens crée au moins 4 000 km de grosses galeries à l'hectare) et un stockage d'humidité dans cette macroporosité permettent à la vie microbienne de se développer profondément dans le profil du sol. Dans ces conditions, la décomposition est rapide, caractérisée par une matière organique à rapport carbone/azote bas (évitant les "faims" d'azote) et à humus évolué stabilisateur. Les racines peuvent pénétrer profondément tant pour leur nutrition minérale qu'hydrique. Le lessivage est faible en raison des remontées effectuées par les plantes mais aussi des 50 à 100 T/ha/an de terre fine déposée en surface par les vers de terre.

Le travail des macro-organismes et particulièrement des lombriciens conduit à un véritable labour biologique, respectueux des plantes et susceptible de se développer pendant la végétation ; ce travail est caractéristique des mull<sup>\*</sup>. Les micro-organismes omniprésents dépendent des conditions locales du sol, du climat, de la nature des végétaux et de leur "présentation" (activité faunique) de sorte qu'en certains lieux la déficience de l'action lombricienne conduit à l'accumulation de matière organique, à l'acidification, à des défauts d'aération, au mauvais enracinement : ce sont généralement des mors<sup>\*</sup>. Tout comme le chauffage de notre environnement a été assuré par le soleil bien avant la mise au point des capteurs solaires, les mull actifs utilisent spontanément l'apport énergétique de la nécromasse résiduelle par le labour biologique des lombriciens, une bonne utilisation des éléments et souvent une fixation d'azote naturel non négligeable (en prairie, légumineuses, mull et lombriciens sont trois volets d'un même triptyque) : ce sont les sols fertiles.

A l'inverse, les mors naturels ou artificiels (= sols à accumulation organique) sont pauvres et ont un rendement (aux divers sens du terme) mauvais : leur surface surtout en forêt, prairie et certaines cultures est considérable. Peut-on accroître la bioconversion in situ de l'énergie, à notre avantage, dans de tels sols ?

des cultures annuelles herbacées.

Ces valeurs ne représentent pas la totalité de la nécromasse produite, hors récolte, par les plantes dans le milieu rural, pour trois raisons :

- 1) De nombreux phénomènes telles les exudations foliaire, racinaire ou autres, la fixation par les algues, etc. ne sont pas pris en compte.
- 2) Les organes végétaux morts perdent très vite de 10 à 50 % de leur carbone et les mesures de litières se font au cours de ces pertes dans des conditions variables.
- 3) Beaucoup de méthodes d'estimation des débris donnent des figures par défaut.

Mais l'objet de ce chapitre n'est pas de mesurer précisément l'émanation de nécromasse mais plutôt de donner un ordre de grandeur de l'apport annuel de débris végétaux figurés au sol. Rappelons toutefois que la nécromasse résiduelle qui échappe aux calculs pour les trois raisons indiquées ci-dessus peut être d'un ordre de grandeur comparable à celle que nous mesurons effectivement. Bien des indices montrent qu'elle risque même d'être l'apport le plus important d'énergie au sol. Cet apport "occulte" est rapidement dégradé, ce qui ne signifie pas qu'une fraction, sous forme microbienne ou d'humus, ne subsiste pas et ne joue pas ensuite un rôle très important. Mais nos connaissances en biologie du sol sont ici quasi inexistantes. En admettant à la suite de Lieth (11) un équivalent calorifique de 4 Kcal/g p.s. pour les plantes herbacées et 4,7 Kcal/g p.s. pour les ligneux, on obtient par hectare l'énergie "résiduelle" suivante (1 Kcal =  $1,1628 \cdot 10^{-3}$  Kwh) :

Herbage permanent : 41 860 Kwh/ha/an  
Herbacées annuelles : 23 256 Kwh/ha/an  
Ligneux : 35 524 Kwh/ha/an.

En rapportant celle-ci aux cultures d'après le recensement général agricole (1), nous avons :

	Surface (ha)	Energie des débris (Kwh/an)
Forêts	12 000 000	426 288 x 10 <sup>6</sup>
Herbages permanents et temporaires artificiels	16 160 000	676 458 x 10 <sup>6</sup>
Annuelles cultivées	11 050 000	256 979 x 10 <sup>6</sup>
Divers (vergers, vignes, horticulture)	2 690 000	93 284 x 10 <sup>6</sup>
TOTAL (FRANCE) :		1 453 008 x 10 <sup>6</sup> = 1 453 10 <sup>9</sup> Kwh = 1 453 Twh

Il est possible de tenter une comparaison de cet ordre de grandeur : l'énergie contrôlée par l'homme en France sera d'environ 195 millions de tonnes équivalent pétrole (tep) en 1980, soit l'équivalent de 2 267 Twh de gaz naturel ou 877,5 Twh d'électricité (12).

-----  
\* mull : humus doux  
mor : humus acide

Ces calculs ne peuvent prétendre à la précision en raison de l'absence quasi totale de recherches et des valeurs minimales retenues pour l'estimation de nécromasse résiduelle d'une part, des différences d'appréciation entre tep et Kwh d'autre part. Constatons simplement que les débris figurés végétaux morts libérés au champ, mais non collectés, représentent une énergie d'un ordre de grandeur comparable à celle de l'usage contrôlé de l'énergie en France, quelle que soit la source d'énergie (pétrole, gaz, nucléaire, hydraulique...) et quel que soit le secteur d'usage (industries, transports, agriculture, domestique, etc.). Cette conclusion peut surprendre ; elle n'a toutefois rien d'étonnant si l'on songe à l'étendue du capteur solaire végétal et qu'en définitive l'homme ne collecte qu'une fraction infime des tissus végétaux libérés dans le milieu.

#### Comment utiliser cette énergie ?

Evidemment, constater que les débris végétaux, la nécromasse résiduelle, de l'espace rural français représentent une énergie comparable à nos besoins conduit à l'idée de la collecter. Cette idée n'est pas nouvelle et elle se pratique effectivement pour le bois et tend à l'être pour les pailles, deux produits relativement faciles à récolter ; mais la nécromasse résiduelle prise en compte dans cet article est par définition celle qui n'est pas collectée. Les difficultés de récoltes, de transports, de transformation en énergie, d'usage (avec perte de cette énergie) sont telles que très vite (presque toujours), il est utopique de penser utiliser cette masse énergétique par les circuits habituels. Ajoutons que l'émanation de débris de la biomasse vers la nécromasse, même si elle a des "temps forts" comme la chute des feuilles à l'automne en forêt caducifoliée, se fait tout au long de l'année. Cette énergie est une énergie diffuse dans l'espace et dans le temps, sa collecte devient vite financièrement et thermiquement trop coûteuse.

Une énergie diffuse dans l'espace et dans le temps : c'est aussi un besoin propre à l'activité agricole et le fait, la nature n'a pas attendu après cet article pour utiliser celle-ci par des processus biologiques très importants. C'est à partir de ces processus, en intensifiant les aspects intéressants d'un point de vue, que l'on peut espérer accroître la fraction d'énergie satisfaisant nos besoins. Ceci implique d'abord sur le milieu sans le gêner mais pour le transformer vers la satisfaction de nos besoins. Ceci implique aussi de savoir ce que nous faisons ; pour cela il faut rappeler quelques faits simples et généraux.

Environnementalement, l'écosystème, énergétiquement ouvert, comporte trois biomasses dominantes : celle des végétaux (25 T/ha, environ 3,5 T de protéines en prairie (13)), celle des micro-organismes (environ 200 kg/ha avec 2 20 kg de protéines), celle des lombriciens (environ 300 kg/ha avec 190 kg de protéines) ; les autres animaux ne représentent que le tiers de la biomasse lombricienne. Ces trois biomasses dominantes sont stables dans l'espace et le temps (à l'échelle de l'année) et sont donc constamment en interaction. Cependant, si la végétation est fortement contrôlée par l'activité humaine, les deux autres éléments fonctionnent spontanément. La dispersion des germes telluriques est très grande de sorte que leur activité est avant tout limitée par les contraintes locales. Mais, il n'en est pas de même pour les lombriciens. Hormis quelques espèces de surface et certaines formes adaptées aux transports passifs (oiseaux, écoulement dans un bassin), les mouvements des lombriciens sont très limités (quelques mètres par an pour les espèces agronomiquement et énergétiquement importantes (14)). Les populations importantes sont par ailleurs étroitement inféodées à leurs biotopes et "emprisonnées" dans ce biotope par la compétition des populations voisines de sorte que l'on peut reconnaître dans leur distribution actuelle des phénomènes géologiques anciens de plusieurs dizaines de millions d'années qui ont marqué à cette époque la distribution lombricienne : celle-ci s'est maintenue depuis suffisamment pour que l'on puisse observer chez ces animaux sans fossiles des événements vieux de 6, 13, 60 millions d'années ! (15).

Retenons, en raison de leur importance économique, deux événements récents : les glaciations du Quaternaire, qui ont décimé les lombriciens dans le nord et le milieu de l'Europe, et les interventions humaines qui perturbent les peuplements. Il est possible en étudiant la distribution actuelle des espèces de lombriciens de constater la grande pauvreté en espèces des populations des Alpes et du Massif Central et au nord de ces deux massifs : seules quelques espèces (une trentaine) ont pu réoccuper les terres après l'accident glaciaire. Tandis que les plantes et les micro-organismes remontaient vers le nord, la plupart des lombriciens étroitement inféodés à leur biotopes, était incapable de déplacements importants. Les écosystèmes qui se sont mis en place ainsi peuvent avoir reçu à partir de ces trente bons migrateurs les quelques espèces efficaces nécessaires et l'utilisation optimale des résidus végétaux est alors atteinte. Mais beaucoup de ces milieux n'ont pas reçu une telle faune optimale et sont caractérisés par une accumulation organique en surface des résidus lentement et mal décomposés, accumulations souvent associées à des sols asphyxiques, acides, lessivés... en bref, pauvres. Le labour biologique des lombriciens et la fixation d'azote deviennent infimes ou totalement inexistantes.

L'homme enfin a récemment fait régresser cette utilisation optimale des déchets végétaux soit en implantant des plantes en présence d'une faune lombricienne inapte à utiliser les débris de celles-ci (en-résinaient des forêts, par exemple) soit en traitant avec des pesticides géodrilicides (= destructeurs de vers de terre).

Ces constats conduisent à proposer une utilisation optimale de l'énergie des débris végétaux par l'introduction de souches adéquates de lombriciens à partir de l'énorme réservoir des souches sud-européennes, dont certaines sont adaptées à des climats très froids (zone nivale des Pyrénées, par exemple). Ces lombriciens biostimulent le sol par leur travail de labour, leur minéralisation de la matière organique et ipso facto une amélioration quantitative et qualitative de la vie microbienne. Cela revient à gérer plus attentivement et à utiliser la troisième biomasse vivante de nos milieux, y compris dans les espaces artificialisés par l'homme : au lieu de planter des conifères, on enrésinerait en apportant simultanément les espèces lombriciennes susceptibles de consommer les aiguilles afin de réduire les incendies et préserver les sols. Au lieu d'utiliser n'importe quel pesticide, on limiterait l'usage des géodrilicides, etc.

Cela revient à détourner à notre profit un ou quelques pour mille de la gigantesque énergie solaire "perdue" des débris végétaux. Le métabolisme de "base" des lombriciens ne requiert que 4 640 Kwh/ha/an pour une biomasse de 1,25 T p.f./ha ; il est probable que leur travail requiert plus... mais ceci reste faible comparé au 34 700 Kwh/ha/an libérés en moyenne par la nécromasse estimée plus haut.

En fait, cette comparaison se rapporte à deux valeurs sous-estimées mais elles ont le mérite d'illustrer l'ordre de grandeur du travail que l'on peut atteindre proportionnellement à l'énergie ex-solaire de la nécromasse résiduelle. Les points d'application sont très nombreux, potentiellement partout où la nécromasse résiduelle s'accumule, il y a une mauvaise transformation de celle-ci (peu ou pas de labour biologique et de fixation d'azote) et l'introduction de lombriciens convenables pourrait au moins en certains cas précis bioconvertir l'énergie de la nécromasse résiduelle directement en facteur de production agricole ("labour", drainage, fixation d'azote, réserve en eau, désacidification, etc.). Notons que cette technique générale s'accorde souvent fort bien avec les autres technologies d'économie d'énergie, particulièrement avec le semis direct (non labour) qui entraîne une augmentation des populations lombriciennes "compensant" la disparition du labour mécanique. Ici aussi les économies d'énergie ne sont pas négligeables (16). Ajoutons enfin que la matière organique d'origine agricole collectée, transformée et qui se retrouve sous forme de boue d'épuration, lisier, ordures urbaines, etc., est susceptible également d'une transformation par les lombriciens pour l'obtention de terreaux organiques et de protéines, une fraction de cette énergie pourrait peut-être faire l'objet d'une récupération (2 Twh environ)... mais les recherches ne peuvent être présentement mises en oeuvre.

Bien que les recherches françaises permettent de programmer cette approche originale depuis plusieurs années, la mise en oeuvre de cette nouvelle approche reste totalement à effectuer. Il est probable que seulement quelques pour mille de l'énergie en cause puisse être récupérée à des fins d'économie (ou plus exactement d'usage direct) d'énergie. Mais ces quelques pour mille se rapportent à un ou quelques millier (s) de terawatts !

#### Références bibliographiques

- (1) Données de recensement général agricole 1970-71 citées in Anonyme (1974). L'agriculture et les "carburants". Etude N° 391 du C.N.E.E.M.A. 1-61.
- (2) JENSEN, V., 1974 - Decomposition of angiosperm tree leaf litter. In Dickinson et Pugh "Biology of plant litter decomposition", éd. Academic press, 1, 3, 69-104.
- (3) RAPP, M., 1971 - Cycle de la matière organique et des éléments minéraux dans quelques écosystèmes méditerranéens. Ed. C.N.R.S., Paris, R.C.P.-40, 19-187.
- (4) VANNIER, G., 1970 - Réaction des micro-arthropodes aux variations de l'état hydrique du sol. Ed. C.N.R.S., Paris, R.C.P.-40, 23-253.
- (5) BRAY, J.R., et E. GORHAM - Litter production in forest of the world. Adv. ecol. res., 2, 101-157.
- (6) MACFADYEN, A, 1970 - Soil metabolism in relation to ecosystem energy flow and to primary and secondary production. In "Méthodes d'étude de l'écologie du sol", actes du Colloque de Paris, nov. 1967, éd. UNESCO, Paris, 167-172.
- (7) LIETH, H., 1968 - The determination of plant dry matter production with special emphasis on the underground parts. In F.E. Eckardt "Fonctionnement des écosystèmes terrestres au niveau de la production primaire", éd. U.N.E.S.C.O., Paris, 179-186.
- (8) DAVIS, C.H., et G.M. BLOUIN, 1977 - Soil carbon dynamics and cropping practices. In W. Lockeretz "Agriculture and energy", éd. Academic press, New York, 315-331.
- (9) WAID, J.S., 1974 - Decomposition of roots. In Dickinson et Pugh "Biology of plant litter decomposition", éd. Academic press, London, 175-211.
- (10) DUVIGNAUD, P., P. KESTEMONT et P. AMBROES, 1971 - Productivité primaire des forêts tempérées d'essences feuillues caducifoliées en Europe Occidentale. In P. Duvignaud "Productivité des écosystèmes forestiers", éd. U.N.E.S.C.O., Paris, 259-270.
- (11) LIETH, H., 1968 - The measurement of calorific values of biological material and the determination of ecological efficiency. In F.E. Eckardt "Fonctionnement des écosystèmes terrestres", éd. U.N.E.S.C.O., Paris, 233-241.
- (12) ANONYME, 1979 - Les chiffres clés de l'énergie. Ed. Ministère de l'industrie, Paris, 1-134.
- (13) RODIN, L.E., et N.I. BASILEVIC, 1968 - World distribution of plant biomass. In F.E. Eckardt "Fonctionnement des écosystèmes terrestres", éd. U.N.E.S.C.O., Paris, 45-52.
- (14) MAZAUD, D., 1979 - Evaluation de méthodes de marquage permettant le repérage des lombriciens au terrain ; premières applications. Thèse de docteur-ingénieur, éd. I.N.A., Paris, 1-178.
- (15) BOUCHE, M.B., 1972 - Lombriciens de France. Ecologie et systématique. Ed. I.N.R.A., Ann. zool. - écol. anim., N.S., 72 - 2, 1-671.
- (16) VAUGHAN, D.H., E.S. SMITH et C.B. RICHEY, 1978 - Energy requirements of reduced tillage practices for corn and soybean production in Virginia. In W. Lockeretz "Agriculture and energy", éd. Academic press, New York, 245-259.

\* poids frais