

Biomasse et énergie



Récolte de bois de chauffage dans le Var

Sommaire

Compte rendu des travaux du groupe

1. Compte-rendu des travaux du groupe	227
- La gestion de la biomasse	227
- La filière combustion	228
- La filière compostage	228
- Compte-rendu des visites	229
- Conclusion	229
2. Fiches et documents	231
- Données de base	231
Aide-mémoire sur l'énergie	231
Ressources forestières méditerranéennes	231
Biomasse d'élagage routier et urbain	232
- Filière énergétique par combustion directe	233
Valorisation énergétique du bois	233
Données techniques sur le bois de chauffage	234
Utilisation thermique des copeaux de broussaille	235
Le gazogène de Porquerolles	237
Le plan « Carburol »	239
- Filières microbiologiques	240
Le compostage des déchets ligneux	240
Énergie récupérable par fermentation des composts	242
Le biométhane	242
Expérience de M. MICHELIN, viticulteur	244

Le groupe de travail « Biomasse et énergie » a été animé par :

Jean-Pierre ANDRÉ

Station d'Agronomie et de physiologie végétale
Institut national de la Recherche agronomique
45, bd du Cap, 06602 Antibes

assisté de

Nicolas CHOMEL

Association « Espaces forestiers méditerranéens »
B.P. 37
83690 Salernes

La gestion de la biomasse

Les deux termes « Biomasse et Énergie », choisis pour centrer l'un des thèmes de réflexion des Rencontres d'Avignon, désignent, de fait, une filière prise en compte par les Pouvoirs Publics et devant compter, à la fin de ce siècle, pour une part modeste, mais non négligeable, de l'ordre de 5-6 %, dans l'approvisionnement énergétique national.

Si, au sens large, la biomasse est la production totale de matière sèche végétale, due à la photosynthèse, il faut entendre, au sens énergétique, la partie de cette production qui pourrait être directement ou indirectement transformée en combustible solide (bois sous diverses formes), liquide (produits appelés carburols) ou gazeux (par gazéification, méthanisation) sans porter préjudice aux cultures alimentaires et industrielles : on sait que des recherches sont entreprises pour sélectionner les espèces végétales les plus productives en matière sèche, préciser leurs modes de culture, puis de transformation les plus intéressants et inventorier les surfaces disponibles pour cette production énergétique.

Il pouvait paraître paradoxal d'introduire ce thème de réflexion à propos de la forêt méditerranéenne dont la production est freinée par les caractéristiques du climat et notamment la sécheresse estivale. Deux raisons ont pourtant justifié ce choix :

- la première est qu'il existe une ressource, certes dispersée, de biomasse ligneuse disponible, non utilisée pour différentes raisons, qui provient de tous les travaux de coupe, de débroussaillage de la forêt et d'élagage des plantations arborées urbaines et routières;
- la seconde est que le public, alerté par des actions de caractère parfois un peu spectaculaire, amplifiées par des campagnes de presse, se demande, à juste titre, ce que valent, au plan technique et économique, les diverses utilisations proposées pour cette ressource, que ce soit la classique combustion ou la transformation, par voie microbienne, en composts ou en biométhane.

Bien que relativement marginaux pour l'instant par rapport à ceux de la gestion de la forêt elle-même et de l'exploitation des bois, ces problèmes ont retenu l'attention d'une trentaine de participants désireux d'échanger leurs expériences et leurs recherches, leurs convictions et leurs questions.

D'emblée, un tour de table permettait de situer les préoccupations dominantes : les « environnementalistes », représentants du Ministère de l'Environnement ou d'Associations proches de l'O.N.F. et universitaires (l'Université de Barcelone honorait le groupe de la présence d'un de ses chercheurs) exprimaient leur souci, pour l'avenir, d'une **gestion** raisonnée de la biomasse, tant du point de vue de l'espace que de celui du cycle de la matière organique; le maire d'une commune rurale se faisait l'historien de son exploitation traditionnelle jusqu'à l'avant guerre. Parmi les utilisations possibles ou potentielles de cette biomasse, la **combustion** et le **compostage** apparaissaient comme les sujets de réflexion les plus prometteurs, eu égard aux expériences de plusieurs participants représentant des entreprises d'élagage, de compostage, des organismes publics tels que Chambre de Commerce et d'Industrie, Chambre d'Agriculture, D.D.A., C.R.P.F., sans pour autant que soient oubliées des filières telles que la pyrolyse. Dans ce contexte technique, un sociologue s'attachait aux impacts possibles de telles filières sur le foncier rural des régions concernées. On lira, dans ce compte-rendu des deux demi-journées de réunion, l'essentiel des informations réunies sur la **gestion** de la biomasse, puis sur les deux filières **combustion** et **compostage**. Les trois visites effectuées pendant la journée « sur le terrain » feront ensuite l'objet d'une courte analyse.

Comme on l'a dit plus haut, la biomasse considérée ici se compose de l'ensemble des rémanents de coupe et d'éclaircie et des broussailles des ouvertures et entretien de pare-feux, auxquels on est convenu d'ajouter les déchets d'élagages urbains et routiers et qui sont actuellement abandonnés ou détruits.

L'idée d'envisager la gestion de ces déchets implique donc qu'ils sont déjà tenus pour des sous-produits potentiels. Leur **inventaire**, l'évaluation de leur **coût** d'exploitation et l'appréciation des **risques** dus au prélèvement lui-même seront successivement examinés.

L'**inventaire** quantitatif d'un déchet est d'autant plus difficile qu'il faut prendre en compte des facteurs aussi nombreux que la variété et la densité des peuplements, l'accessibilité des massifs, le financement des programmes D.F.C.I., etc. (pp. 231, 232).

En respectant la prudence qui les entoure, on a rapproché les évaluations régionales du C.E.M.A.G.R.E.F. et, pour le Var, de la D.D.A. et de la Chambre de Commerce et d'Industrie de ce département :

- selon le C.E.M.A.G.R.E.F., le maximum de la **resource forestière** de biomasse disponible et accessible, totalisant tous remanents et toutes broussailles serait de l'ordre de 20 000 t/an et par département, à la double condition que les coupes soient effectivement exploitées, ce qui n'est pas le cas actuellement et que le plan décennal de D.F.C.I. soit intégralement appliqué;
- pour le Var seul, les deux autres sources citées fournissent, la première, une évaluation de l'ordre de 10 000 t/an pour le seul débroussaillage et, la seconde, une évaluation de l'ordre de 50 000 t/an au prix d'une conduite plus active de la forêt.

Il est clair que, chacun dans son contexte, ces chiffres cernent un ordre de grandeur qu'on pourra apprécier à propos des deux filières envisagées.

L'inventaire des **déchets d'élagage** réalisé dans la région auprès des Services des Jardins d'une douzaine de municipalités et des D.D.E. responsables des élagages routiers, fournit, en tenant compte des prélèvements souvent importants de bois de feu sur les coupes de fort diamètre, des valeurs très variables d'un département à l'autre, et d'une ville à l'autre, comprises grossièrement entre 100 et 1 000 t/an (p. 232).

Dans le **coût** effectif d'exploitation de cette biomasse doivent être additionnés les frais de coupe, de broyage et de transport. En pratique, de très nombreux cas de figure sont possibles puisqu'en effet, la collectivité prend en charge les premiers dans le cas des débroussaillages de pare-feux et des élagages, les seconds au moins dans le cas des élagages urbains et les derniers pour la plupart des élagages. En forêt, la tendance est de broyer en laissant le broyat au sol, alors que le broyat d'élagage doit être enlevé.

En confrontant les sources précédentes et celles d'une entreprise de débroussaillage-élagage, il apparaît que le coût réel de la tonne de broyat forestier rendu, dans un rayon de 30 km environ, est de l'ordre de 800 F et que la prise en charge par l'O.N.F., la D.D.A., dans le cadre des programmes de débroussaillage est d'environ 300 F. Il reste donc environ 500 F/tonne à la charge de l'utilisateur (p. 235).

Par comparaison, le « taux de prise en charge » du broyat d'élagage par la collectivité était encore récemment voisin de 100 % ; mais les perspectives d'utilisation du produit sont susceptibles de modifier cette situation.

Le **risque** d'une surexploitation de la biomasse forestière et plus concrètement, d'une rupture dans le cycle de la matière organique a été évoqué, mais il était encore très difficile d'apporter sur ce point des éléments de réponse pertinents. Les techniques de broyage, qui, peu à peu, remplacent, avantageusement semble-t-il, le brûlage traditionnel et qui offrent la possibilité, soit de laisser le broyat au sol, soit de le retirer de la forêt, soulèvent des questions nouvelles, dans un cas comme dans l'autre : il convient de citer les recherches en cours, lancées conjointement par le C.N.R.S., l'I.N.R.A., le C.E.M.A.G.R.E.F., le C.E.L.T.E. et la chaire d'Écologie méditerranéenne de l'Université de Marseille, notamment sur l'incidence écologique et économique de l'exploitation de la biomasse.

La filière combustion

Cette filière énergétique est pour la France, l'un des éléments moteurs d'une exploitation plus active de la forêt. Il semble probable que la biomasse récoltée à cette fin subira un conditionnement (broyage, éventuellement séchage et compactage), pour un usage rationalisé dans des chaudières adaptées. Des chauffages de logements collectifs, avec des broyats, fonctionnent à Creil, à Orléans, en Bretagne, par exemple.

Dans le Var, la Chambre de Commerce et d'Industrie encourage de telles expériences jugées rentables à partir de 60 logements; toutefois, comme le souligne un entrepreneur en débroussaillage, la marge bénéficiaire du fournisseur de broyat est extrêmement mince dans les conditions actuelles de la compétition avec les produits pétroliers (p. 233).

Enfin, il n'est pas inutile de comparer aux 6 millions de tonnes d'équivalents pétrole (T.E.P.) consommés annuellement par notre région, l'équivalent énergétique de toute la ressource annuelle de biomasse dont on vient de faire l'inventaire et qui ne dépasse guère 50 000 T.E.P. Si ce rapport paraît plus que modeste à cette échelle, il reste que dans des situations locales favorables, la filière peut se justifier raisonnablement malgré les problèmes annexes (stockage, entre autres) qui se posent (p. 231).

Il faut noter que dans ce domaine, la technique et l'industrie peuvent rapidement modifier la demande et par conséquent, la valeur marchande du produit et le cours de ses autres utilisations.

On mentionnera le très judicieux dispositif de valorisation des déchets, principalement ligneux, par gazéification, sur le site du Conservatoire Botanique de Porquerolles (p. 237).

Enfin, il est indispensable de rappeler que la production rentable de **biométhane** à partir de biomasse ligneuse, reste du domaine de l'utopie dans l'état des connaissances actuelles en technologie microbiologique (p. 242).

La filière compostage

Le compostage de déchets organiques, dégradation partielle par la microflore saprophyte naturelle, est une technique empirique traditionnelle pratiquée à des fins agricoles. Son application aux résidus de culture, de tonte, d'émondage, de nettoyage des parcs et jardins est classique. Plus récemment, elle a été étendue aux ordures ménagères, à une échelle industrielle, et à certains déchets d'industrie, les écorces de pin par exemple. Ces dernières années, les vertus du compost de broussailles forestières ont été popularisées dans notre région par J. PAIN. Par la suite, se sont ouverts, dans le Var notamment, des chantiers de compostage de biomasse broyée, dans laquelle la proportion de bois proprement dit devenait rapidement prépondérante, et où la présence de tas parfois gigantesques témoignait d'une relative ignorance des exigences des processus microbiologiques (p. 240).

Le compostage de déchets de nature ligneuse (composés principalement de cellulose et lignine) exige, semble-t-il, la mise au point d'une technique adaptée à la fois au matériau et à l'usage du compost lui-même.

La région, au plan agricole et plus précisément horticole et maraîcher, offre un abondant marché pour la matière organique, puisqu'on évalue à environ 250 000 m³, soit environ 100 000 t, les besoins annuels en tourbes (importées pour une part notable) et terreaux divers provenant de différentes régions de France.

Cette matière organique est utilisée pour la confection des mottes de repiquage, pour l'élevage et la commercialisation des plantes en pots et en conteneurs, pour les cultures sur substrat organique en bacs, et pour l'amélioration physique des sols de serre et des sols maraîchers.

A chaque usage correspondent, pour les composants, des exigences de coûts et de caractéristiques données.

Il paraît clair qu'une transformation des produits à composter dans le sens de ces besoins agricoles est vivement souhaitable. Des recherches, encouragées par les instances régionales, sont en cours dans ce domaine, tant pour préciser les facteurs physiques et chimiques qui conditionnent l'activité microbiologique que pour apprécier les caractéristiques et le comportement de composts de différentes essences ligneuses au plan horticole.

Pour cette filière, le **broyat d'élagage** offre, *a priori*, pour sa fourniture, l'avantage d'un coût actuel très bas et d'une abondance proche des lieux d'éventuelle utilisation : des municipalités ont déjà implanté des aires de compostage de broyats de platane pour les besoins de leurs espaces verts et de leurs jardins; d'autres s'y engagent. Une collaboration s'est instaurée pour toutes ces expérimentations.

Compte rendu des visites

La tournée du 14, déroulée par un temps excellent, nous a conduit dans trois exploitations agricoles qui utilisent des sous-produits ou des déchets ligneux, soit comme combustibles, soit comme matière à composter :

M. KUNSTMANN, rosieriste à Aramon (30) a adopté la sciure pour le chauffage hivernal d'un hectare de serres. Les problèmes majeurs qu'il a pertinemment analysés devant nous sont, l'un d'ordre économique (approvisionnement en combustibles), l'autre d'ordre technique (stockage et manutention de la sciure).

L'installation consomme 2 000-2 500 t de sciure par an, fournie par des fabriques locales de cageots, dans des conditions, qui, tous calculs faits, amènent une économie d'environ 60 % par rapport à l'emploi du fuel lourd; mais la perspective de transformation de cimenteries voisines, dont il est prévu qu'elles draineront pour leurs besoins énergétiques l'essentiel de la production régionale de sciures, risque fort de compromettre ce choix.

Les nécessités du stockage (la consommation en hiver est de l'ordre de 10 t/j), du séchage (l'humidité initiale est de l'ordre de 70 %) et du transport à la chaudière (système à vis, puis soufflerie) l'ont engagé dans un équipement spécialisé qui nécessite encore des améliorations.

Cette expérience qui offre, face à une économie, les risques de l'innovation et de réelles contraintes matérielles, vis-à-vis de l'emploi des combustibles liquides ou gazeux, aurait pu être comparée, si la distance nous l'avait permis, à celle de rosieristes du Luc (83) qui utilisent des plaquettes de bois, pour des besoins et dans des conditions d'économie très semblables et qui, pour leur part, déplorent le caractère encore aléatoire de la fourniture locale, irrégulièrement calibrée et d'une humidité souvent excessive.

Dans son exploitation viticole de Saint-Rémy-de-Provence (13), M. MICHELIN nous a longuement exposé son désir d'établir, en quelque sorte, un rapport paisible avec la nature (voir p. 244).

Pour maintenir et développer l'activité biologique dans sa terre et un équilibre écologique dans ses plantations, il applique chaque année, depuis 10 ans, à raison d'environ 10 t/an, un compost réalisé par ses soins, actuellement à base de broyats d'élagage et de débroussaillage et de fumier pailleux, pratique un binage soigné, et dans les années pluvieuses, des cultures de légumineuses en interligne. Enfin, et c'est l'essentiel, il limite sa production à 40 hl/ha au pied.

Comme il le reconnaît lui-même, l'effet propre du compost en viticulture ne peut être évalué qu'à long terme (à la condition encore, doit-on ajouter, qu'il existe un élément objectif de comparaison).

Son souci rejoint, tout en s'y opposant, celui de notre hôte précédent : où et à quel prix s'approvisionner en matière organique ? Estimant nuisibles les prélevements, à des fins agricoles, de biomasse forestière, il préconise des « centres de broyage-compostage » de tous les autres déchets organiques de taille et d'élagage routier et urbain et s'insurge contre leur destruction par le feu.

L'entreprise REY, de Carpentras (84), commercialise nécessairement, avec sa production végétale, des volumes importants de mélanges de terreaux et composts qui garnissent les conteneurs. L'approvisionnement en matière organique à des coûts avantageux et la mise au point des mélanges font partie des contraintes du pépiniériste. Avec l'appui technique de la Chambre d'Agriculture du Vaucluse, associée en cela à l'Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des déchets (A.N.R.E.D.), l'entreprise REY expérimente des mélanges de composts d'ordures ménagères et d'écorces de pin broyées. C'est le sens d'une tendance assez générale d'associer deux composantes sensées se compléter, l'un conférant une certaine valeur fertilisante, l'autre une structure physique poreuse et une résistance mécanique au tassemement. Comme on le voit, il ne s'agit pas, dans ce cas précis, de déchets ligneux d'élagage ou de débroussaillage, mais de déchets urbains (ordures ménagères) et industriels (écorces) disponibles sur le marché à des coûts généralement favorables. Les composts ligneux proprement dits font, toutefois, l'objet d'essais dans quelques entreprises horticoles.

Conclusion

L'objet des réflexions sur le thème « Biomasse et Énergie » était de faire le point sur les **ressources** régionales en biomasse disponible, c'est-à-dire inutilisées jusqu'ici mais récupérable, sur ses **utilisations** possibles, notamment au plan énergétique et sur les **impacts** éventuels de ces nouvelles utilisations.

La ressource

La forêt méditerranéenne en constitue la source principale; on a jugé utile d'associer tout le patrimoine arboré des plantations routières et urbaines dont l'entretien fournit régulièrement une quantité de matière organique disponible, localement abondante, quoique modeste à l'échelle globale.

L'estimation de la biomasse forestière a été tentée par la division P.F.C.I. du C.E.M.A.G.R.E.F. d'Aix pour l'ensemble des départements méridionaux et pour ce qui concerne les déchets de coupe et d'éclaircie, et par la D.D.A. du Var, dans son département, pour ces mêmes déchets et le bois de feu : le volume indiqué des déchets disponibles est naturellement contingent à une politique donnée d'entretien, de protection et d'exploitation de la forêt, sans parler de la rentabilité proprement dite de leur récupération.

Quant à la ressource disponible en déchets d'élagage, les données recueillies par enquête auprès des D.D.E. et des services municipaux en permettent une première évaluation.

La confrontation de ces données avec celles fournies directement par les professionnels de l'élagage conduit à les assortir d'une prudente et large fourchette soit :

10 000 à 20 000 t/an/département pour les déchets forestiers,
1 000 à 10 000 t/an/département pour les déchets d'élagage,
une tonne équivalant à environ 2,5 m³ de déchet broyé avec une humidité de l'ordre de 50% du produit frais.

L'utilisation

S'il est difficile de prédire les développements futurs de telle ou telle filière, il est en revanche clair que la zone méditerranéenne ne sera jamais grande productrice de biomasse... à moins d'être un jour affaichie de la pénurie estivale en eau !

Ainsi, l'équivalent énergétique de la biomasse annuelle disponible, évaluée plus haut, supposée entièrement transformée en combustibles, ne représenterait que 2 à 3 millièmes de la consommation énergétique totale annuelle d'un département moyen, mais, si à cette échelle, la filière énergétique paraît sans objet, il est possible toutefois qu'elle offre localement un intérêt économique en assurant à courte distance la fourniture régulière et de qualité d'un combustible correctement conditionné pour un chauffage d'immeubles ou de serres : à ce sujet, il convient de signaler que les utilisateurs de combustible en plaquettes fongent encore, dans la région, figure de pionniers et se heurtent aux difficultés d'approvisionnement local de qualité. Une **concertation** en vue d'une normalisation du calibrage et de l'humidité s'avère souhaitable.

En ce qui concerne les filières, dites douces, qui mettent en œuvre des fermentations, beaucoup d'idées fausses ont été trop largement et complaisamment répandues. La conduite d'un processus microbiologique n'est pas aussi simple qu'on l'a prétendu lorsqu'il s'agit de passer du compost de jardin à une production quasi-industrielle et des déchets de potager à des déchets de bois broyé, et à fortiori lorsqu'il s'agit de produire du méthane.

La filière « Biométhane » des déchets ligneux est encore un leurre : la recherche de souches microbiennes capables d'accepter cette matière première et de produire le méthane avec un rendement acceptable relève de laboratoires spécialisés qui s'en préoccupent tant en France qu'à l'étranger.

La filière « compost » semble l'objectif le plus accessible à condition de savoir, dans chaque cas, quel usage pratique on compte en faire et quelles caractéristiques on attend du compost, avant même de mettre en route une fabrication. Le compostage, quant à lui, reste une technique mal définie, dans sa pratique « forestière » : il faut savoir que ces composts induisent fréquemment une faim d'azote sur les cultures : c'est un effet microbiologique bien connu, aux conséquences horticoles graves, et dont la maîtrise levera le principal obstacle au développement de cette filière.

L'utilisation de la chaleur dégagée par des masses importantes de compost ne date pas d'aujourd'hui : il y a trois siècles, on cultivait sur de très importantes couches de compost de feuilles et de fumier, dans les « serres chaudes » de Versailles. De là à extraire des calories à l'aide d'échangeurs de température, il y a un pas considérable à franchir : une méconnaissance des quantités effectives de chaleur disponible est à l'origine de nombreux espoirs déçus (p. 242).

Si les tentatives entreprises ces dernières années dans la direction de telle ou telle filière ont le plus souvent rencontré l'échec, n'en constituent-elles pas moins une étape nécessaire dans la mesure où elles

incitent à en analyser et à en lever les obstacles techniques ? Quant au plan économique, toute activité doit, pour durer, présenter un intérêt, soit pour celui qui l'exerce, soit pour la collectivité : l'exploitation des déchets ligneux ne peut guère échapper à cette règle. Les pouvoirs publics soutiennent de plus en plus la mise au point de techniques nouvelles : dans le cas présent, l'effort financier à consentir est, à priori, modeste, à condition de ne pas être multiplié et dispersé dans des expériences douteuses et répétitives dont les objectifs, les méthodes et les moyens ne sont pas clairement définis.

Au plan régional on peut considérer comme un objectif économique valable de tout mettre en œuvre pour satisfaire les besoins importants en matière organique de l'horticulture florale et maraîchère, à partir de tels déchets convenablement préparés.

Les impacts

La perspective de prélèvements importants de biomasse forestière suscite dès à présent des controverses qui témoignent des inquiétudes diverses sur les risques d'appauvrissement des sols forestiers ou, au contraire, de transformation future des forêts en culture de biomasse. L'impact écologique et socio-économique d'une gestion énergétique de la biomasse régionale fait l'objet de travaux de recherches entrepris à l'initiative d'Universitaires de Marseille : des données plus précises doivent en être rapidement dégagées afin d'en autoriser l'exploitation dans des limites acceptables.

Malgré la prise en charge, apparemment rassurante, de ces divers problèmes par des instances compétentes, il reste essentiel que les élus, les propriétaires et les exploitants forestiers et le public en général, exercent par l'intérêt qu'ils y portent, la stimulation nécessaire à leur rapide résolution.

Fiches et documents

Les deux premières fiches présentent des données de base indispensables. Pour les suivantes certaines d'entre elles sont des synthèses sommaires des possibilités techniques de telle ou telle filière d'utilisation de la biomasse dans l'état des connaissances actuelles (ex. : biométhane), tandis que d'autres décrivent une expérience concrète (ex. : gazogène de Porquerolles) ou présentent l'aspect économique d'une utilisation (ex. : utilisation thermique des copeaux de broussailles).

Données de base :

- Aide-mémoire sur l'énergie
- Ressources forestières méditerranéennes
- Biomasse d'élagage routier et urbain

Filières énergétiques par combustion directe :

- Valorisation énergétique du bois.
- Données techniques sur le bois de chauffage.
- Utilisation thermique des copeaux de broussaille.
- Le gazogène de Porquerolles.
- Le plan « Carburol ».

Filières microbiologiques :

- Le compostage des déchets ligneux.
- Energie récupérable par fermentation des composts.
- Le biométhane.
- Expérience de M. MICHELIN, viticulteur.

Aide-mémoire sur l'énergie

En raison du rôle du pétrole dans l'économie, l'unité énergétique la plus courante actuellement est égale à l'énergie produite par la combustion totale d'une tonne de pétrole : c'est la **TEP** ou tonne d'équivalent pétrole.

Correspondance entre la **TEP** et les autres unités de mesure de l'énergie :

1 TEP	=	10 000 thermies
1 TEP	=	10 000 000 kilocalories
1 TEP	=	4 500 Kwh (effectifs)

Equivalences énergétiques entre diverses matières premières :

1 TEP	=	1,5 T de charbon
1 TEP	=	0,8 T de méthane pur (ou 1 200 m ³)
1 TEP	=	2,5 T de biomasse sèche (bois p. ex.)
1 TEP	=	7 barils de pétrole

Désignation des multiples de ces unités :

k (kilo)	=	1 000	= 10 ³
M (méga)	=	1 000 000	= 10 ⁶
T (tera)	=	1 000 000 000 000	= 10 ¹²

Quelques chiffres sur la consommation énergétique de la France en 1980 :

essence.....	3 M TEP	domestique et tertiaire ..	40 %
super.....	15 M TEP	transports.....	23 %
gasoil.....	10 M TEP	sidérurgie	8 %
fuel domestique....	30 M TEP	autres industries	29 %
fuel industriel	30 M TEP	TOTAL	100 %
charbon.....	35 M TEP		
gaz	25 M TEP		
électricité.....	30 M TEP		
divers	20 M TEP		
TOTAL	200 M TEP		

Ressources forestières méditerranéennes

Les peuplements forestiers

Si l'on se réfère aux données de l'Inventaire Forestier National, la production moyenne des principaux types de peuplements forestiers présents dans la région méditerranéenne est la suivante :

chêne vert	0,5 m ³ bois fort*/ha/an
chêne pubescent	1 m ³ bois fort/ha/an
pin d'Alep	2 m ³ bois fort/ha/an

Ces chiffres sont extrêmement variables avec la situation, l'âge et l'état des peuplements et sont à considérer avec prudence.

Pour connaître la biomasse totale disponible, on utilise les coefficients moyens suivants :

Densité sèche (tonnes de matière sèche/m ³)	Rapport biomasse totale/bois fort
chêne vert 0,85	2,2
chêne pubescent 0,65	2
pin d'Alep 0,55	1,6

La biomasse totale comprend : le bois fort, les branches et les feuilles.

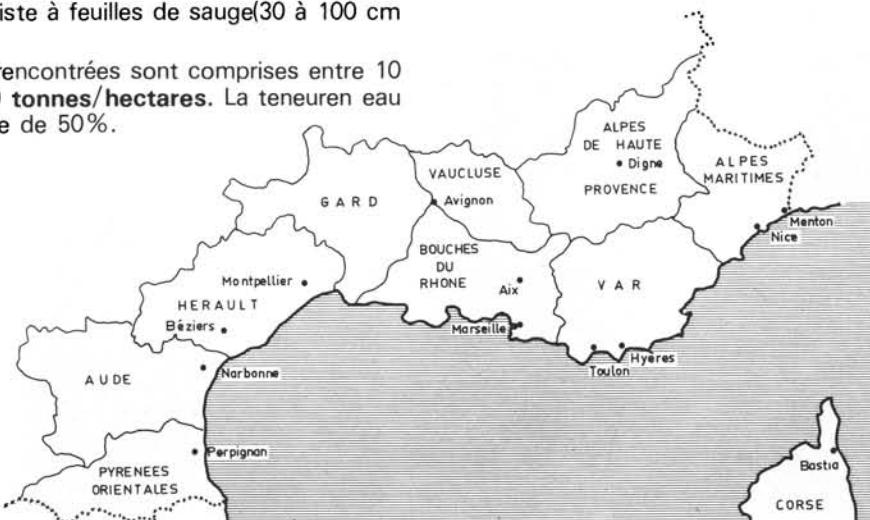
* Bois fort = découpe supérieure à 7 cm.

Les garrigues et maquis

La biomasse disponible sous forme d'arbustes est récupérable lors des débroussaillements effectués pour les ouvertures de pare-feu. Les données disponibles sont éparses. Elles permettent néanmoins d'établir les intervalles de variation suivants :

- garrigue de chêne kermès (30 cm à 130 cm de hauteur) :
20 à 40 tonnes (poids frais) par ha
- garrigue à ajonc épineux (60 à 150 cm de hauteur) :
10 à 60 tonnes/ha
- garrigue mixte chêne kermès-ajonc épineux (30 à 150 cm de hauteur) :
20 à 65 tonnes/ha
- maquis à bruyère arborescente et arbousier (50 à 250 cm de hauteur) :
10 à 60 tonnes/ha
- maquis à bruyère à balais et callune (50 à 70 cm de hauteur) :
25 à 35 tonnes/ha
- cistiaie à ciste de Montpellier et ciste à feuilles de sauge (30 à 100 cm de hauteur) : 10 à 40 tonnes/ha.

Les quantités les plus fréquemment rencontrées sont comprises entre 10 et 30 tonnes par hectare, en moyenne 20 tonnes/hectares. La teneur en eau des broussailles est le plus souvent voisine de 50%.



Biomasse d'élagage

En plus des tonnages indiqués, l'enquête révèle que les élagages sont effectués tous les 3 ans environ dans les villes et avec des intervalles plus variables, de l'ordre de 5 ans, sur les routes, que les entreprises spécialisées effectuent l'essentiel des élagages urbains pour lesquels les déchets sont le plus souvent broyés. Elle nous apprend également que les Services des Jardins municipaux consomment annuellement de 100 à 1 000 m³ de matières organiques diverses et que la plupart d'entre eux envisagent, s'ils ne l'ont entrepris, le compostage d'une partie des déchets de taille pour leurs besoins propres.

Que les services qui ont bien voulu collaborer à cette enquête veuillent bien trouver ici nos remerciements renouvelés.

Biomasse d'élagage routier et urbain de la région méditerranéenne (enquête I.N.R.A. Antibes 1982)

Département consulté	ELAGAGES ROUTIERS Données fournies par la D.D.E.		ELAGAGES URBAINS Données fournies par les Serv. Munic.		
	Tonnage en frais annuel moyen des élagages	Fraction sans usage actuel %	Ville consultée	Tonnage en frais annuel moyen des élagages	Fraction sans usage actuel %
P.O.	2 000 t	10 %	Perpignan	s.r.	
AU.	4 500 t	30 %	Narbonne	150 t	100 %
HE.	8 500 t	50 %	Béziers	200 t	100 %
GA.	500 t	50 %	Montpellier	250 t	100 %
VC.	s.r.		Avignon	s.r.	
B.D.R.	2 500 t	50 %	Aix	500 t	50 %
VR.	r.i.		Digne	100 t	100 %
A.M.	1 000 t	50 %	Toulon	s.r.	
A.-H.-P.	500 t	50 %	Hyères	2 000 t	50 %
			Nice	2 000 t	50 %
			Menton	200 t	100 %
			Bastia	s.r.	
			Marseille	500 t	50 %
s.r. au 15.9.82 r.i. réponse incomplète					

Filières énergétiques par combustion directe

Valorisation énergétique du bois

Les pouvoirs publics ont programmé une contribution de 14 millions de TEP pour la biomasse dans le bilan énergétique français à l'horizon 1990. A comparer avec celle du solaire direct dont on parle beaucoup et qui est de 1,5 million de tep donc de 6 à 10 fois inférieure selon les experts. L'enjeu et les perspectives sont donc très importants.

Actuellement les taillis sont en France la principale ressource en biomasse forestière : 1,5 à 2 millions de tep/an. Les éclaircies représentent 0,4 à 0,8 millions de tep annuelles, les résidus d'exploitations forestières 0,3 à 0,7, les déchets industriels 0,8 à 1 million de TEP. Soit au total 3 à 4,5 millions de TEP auxquels il convient d'ajouter les 3 millions de TEP déjà utilisés en bois de chauffage domestique et résidus industriels valorisés comme combustible.

Ces estimations tiennent compte de la compétition avec les autres usages du bois. En effet, le prix du bois de feu suit celui des autres combustibles principalement pétroliers, lesquels ont une dérive plus rapide que celle des autres produits.

A l'échelon d'un département de notre région, le Var par exemple, qui est assez représentatif, il est extrait officiellement (données 1980) 24 000 m³ de bois, chênes vert et pubescent essentiellement, pour le chauffage. Cependant on est fondé à penser qu'encore autant est « autoconsommé » en logements individuels et cheminées de plaisir. Soit 50 000 m³ annuels : l'équivalent de 8 000 TEP/an (bois sec à l'air). Par ailleurs, une étude sur la ressource dans le nord du département du Var, exploitée selon les critères de sylviculture généralement admis et en appliquant des scénarios d'accessibilité, nous indique que l'on peut transformer en broyat 50 000 t annuelles de déchets d'exploitation et de produits de débroussaillage. Soit encore environ 13 000 TEP/an (de bois sec à l'air). Ainsi il y a dans le Var une ressource potentielle qui, valorisée efficacement, représente l'équivalent chauffage de 12 000 logements collectifs, c'est-à-dire les besoins en chauffage d'une ville moyenne.

Ces chiffres ne doivent pas effrayer. Ils ont destinés à fixer les enjeux et doivent être manipulés avec précaution. On peut tout de même déjà prouver l'intérêt de la valorisation énergétique de certains types de ressources forestières. Des réalisations existent et fonctionnent parfaitement. Le renouvellement des chaudières au fuel domestique par les chaudières à bois s'avère particulièrement intéressant pour l'usager. Le seuil de rentabilité se situe toutefois pour les chaufferies de plus de 60 logements. Ainsi, à Creil, plusieurs centaines de logements sont chauffés au broyat ou aux copeaux. Dans le centre de la France, à Orléans, on utilise du bois déchiqueté de taillis de bouleaux pour chauffer des immeubles et un réseau de chaleur desservant 100 pavillons. En Bretagne, des locaux municipaux sont chauffés avec les produits d'éclaircies des bosquets. Partout en France, encouragées par l'Agence Nationale pour la Maîtrise de l'Energie (A.N.M.E.), des initiatives voient le jour.

En forêt méditerranéenne, les contraintes de mobilisation de ressource sont plus sévères qu'ailleurs. Il s'agit de valoriser un maigre capital, peu productif, et de surplus difficile d'accès. Il est cependant possible comme le laissent augurer les chiffres cités plus haut, et souhaitable, la valorisation énergétique pourtant prendre en charge une partie des coûts de réhabilitation de la forêt, de voir émerger certaines opérations pilotes en projet.

Quelques chiffres

Broyat 20% d'humidité (sec à l'air) : 3 000 thermies/t
60% d'humidité (frais) : 2 000 thermies/t

Compte tenu d'un rendement chaudière de 80%
1 TEP = 4 t de bois sec à l'air = 12 M.A.P. (m³ apparent)

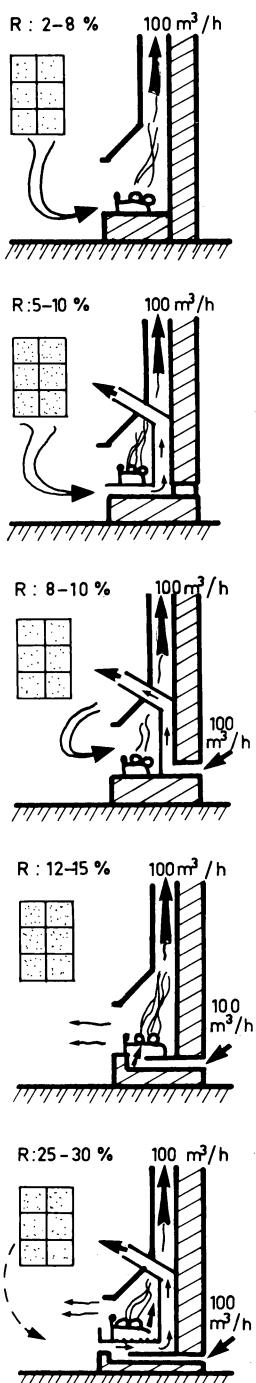
Logements collectifs

Exemple 60 logements.

– Consommation : 1,5 TEP/logement/an soit 100 tep/an (1 TEP/jour en instantané)

- Ressources nécessaires : 1 200 à 1 500 M.A.P./an
- Prix moyen rendu : 100 F/M.A.P.
- Donc 1 TEP broyat sec à l'air (20% d'humidité) = 1 200 F
- Investissement : ensemble
 - chaudière à bois,
 - système d'approvisionnement,
 - stockage.

Le surcoût d'investissement est amorti sur une durée de 5 à 8 ans avec les économies de fonctionnement réalisées.



Données techniques sur le bois de chauffage

Quelques définitions utiles

1) Le bois de chauffage est commercialisé en *volume apparent* ou au *poids*.

- La vente au volume (stère) est pratique, mais peut masquer des variations du volume réel du bois.
- La vente au poids a plus de valeur, à condition que l'humidité soit indiquée.

2) Le *pouvoir calorifique* est la quantité de chaleur dégagée par la combustion complète d'une unité de poids. Il est dit supérieur (P.C.S.) ou inférieur (P.C.I.) selon que l'eau de combustion est condensée ou reste en vapeur.

L'unité de mesure est la kilocalorie : 1 kcal élève de 1 degré 1 litre d'eau.

La combustion de 1 kg de bois parfaitement sec (0% d'humidité) produit entre 4 000 et 5 000 kilocalories selon l'espèce (en raison des proportions variables, dans les bois, de cellulose moins calorifique et de lignine plus calorifique, parce que plus riche en carbone, à masse égale). Cette combustion produit en plus 600 g d'eau environ (à l'état de vapeur) et 800 l environ de gaz carbonique. La vaporisation de l'eau consomme 5 à 8% de la chaleur totale produite. C'est une perte quand la vapeur s'échappe par la cheminée : dans ces conditions le bois ne fournit que son P.C.I.

Si le bois est humide, la chaleur récupérée réellement est doublement diminuée, puisque, à masse égale, on introduit moins de combustible dans le foyer et qu'il faut vaporiser l'eau qui l'accompagne, au prix de 550 kcal perdues pour 1 litre d'eau vaporisée. Exemples :

Bois à 0% d'humidité : Le P.C.I. est de 5 000 kcal/kg
« 10% « « 4 450 «
« 20% « « 3 900 «
« 50% « « 2 300 «

3) Le *rendement de la combustion* dépend beaucoup de la conception de l'appareil de chauffage.

Cheminée sans récupérateur.....	R = 0 à 15 %
Cheminée avec récupérateur.....	R = 20 à 30 %
Poêle à feu continu.....	R = 40 %
Chaudière domestique.....	R = 50 %

La demande de bois de feu coupé s'accroît en forêt méditerranéenne par rapport au volume de bois exploité pour les autres filières.

Le prix du bois varie selon les usages et la distance de l'utilisateur.

Le bois vendu est souvent mal séché.

Les schémas sont empruntés au n° 4 de la revue *Collines*, B.P. 13, 13115 Saint-Paul-les-Durance).

Utilisation thermique de copeaux de broussaille

Amortissement d'une installation de chauffage collectif au bois

1. – Hypothèses

- Soit un collectif de 60 logements.
- Besoins en chauffage : 1,5 TEP/an/logement.
- Prix du F.O.D. : 2 100 F/1 000 l.

2. – Coût de la consommation dans le cas d'un chauffage au F.O.D. (1)

$$\frac{60 \cdot 1,5 \cdot 2 100}{0,835} = 226 \text{ kF/an (2)}$$

3. – Consommation équivalente en bois

Soit :

- pouvoir calorifique du bois anhydre 4 100 th/t
- humidité du bois : 30 %
- quantité de chaleur de la vapeur d'eau : 550 th/t

Pouvoir calorifique du bois à 30 % d'humidité :

$$4 100 \cdot 0,7 - 550 \cdot 0,3 = 2 700 \text{ th/t}$$

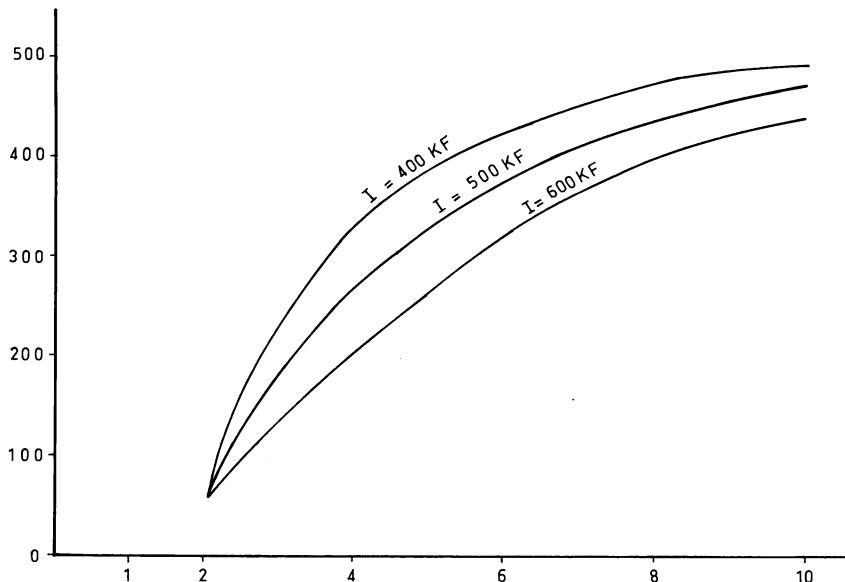
Consommation :

$$\frac{60 \cdot 1,5 \cdot 10 100}{2 700} = 340 \text{ t/an.}$$

de bois à 30 % d'humidité.

(1) Fuel oil domestique, prix début 1982.

(2) kF signifie 1 000 francs.



4. – Prix de vente maximum du bois en fonction de la durée d'amortissement de l'installation de chauffage

– Soit i l'investissement (chaudière de 1 000 th/h + alimentation automatique + silo + génie civil.

– Soit n le nombre d'années d'amortissement.

– Supposons que le rendement de la chaudière à bois soit égal à 90 % de celui de la chaudière à F.O.D.

Le prix de vente maximum du bois sera :

$$p = \left(226 - \frac{i}{n} \right) \frac{0,9}{340} \text{ kF/t.}$$

Le tableau suivant donne P en F/t pour différentes valeurs de i (400 kF, 500 kF et 600 kF).

$i \backslash n$	2	4	6	8	10 ANS
400	69	330	420	470	490
500	—	270	380	430	470
600	—	200	330	400	440

5. – A titre de comparaison, le même calcul pour 20 logements et une chaudière de 350 TH/H donne :

$$p = \left(75 - \frac{i}{n} \right) \frac{0,9}{113} \text{ kF/t.}$$

$i \backslash n$	2	4	6	8	10 ANS
300	—	0	200	300	360
400	—	—	66	200	280
500	—	—	—	100	200

On voit que l'amortissement sera plus difficile à réaliser.

Prix de vente maximum du bois en fonction de la durée d'amortissement de l'installation de chauffage.

Le gazogène de Porquerolles

Valorisation de la biomasse

En 1971, l'Etat rachetait la quasi-totalité de l'île de Porquerolles afin qu'elle ne connaisse pas le même sort que celui subi par le littoral méditerranéen voisin : l'urbanisation générale et incontrôlée, le tourisme et le camping sauvage, sources de dégradation du milieu naturel.

Les terres agricoles de l'île, correspondant à l'ancienne exploitation de M. FOURNIER (180 ha) ont été affectées au Conservatoire Botanique de Porquerolles qui a été créé en février 1979 par le Ministère de l'Environnement.

Le Conservatoire Botanique de Porquerolles a pour rôle premier l'établissement d'une banque de gènes, c'est-à-dire d'un ensemble de collections de plantes sauvages et de plantes cultivées menacées de disparition. Conjointement, il participe activement à la mise en valeur de l'ensemble de l'île par l'activité agricole qu'il déploie : cultures céréalières, cultures maraîchères, plantation de vergers.

Sa vocation est d'effectuer un certain nombre de réalisations expérimentales et promotionnelles ayant valeur d'exemple pour la gestion de l'espace naturel méditerranéen :

- mise au point des méthodes de cultures nouvelles;
- établissement d'un système de lagunage dans le double but de recycler les eaux de la station d'épuration à des fins agricoles (irrigation) et de lutter contre la pollution en évitant leur rejet en mer (travaux achevés en juillet 1980);
- recherche de l'autonomie énergétique.

1. – Les sources d'énergie renouvelables à Porquerolles

1.1. – Le débroussaillage des sous-bois

Comme partout en région méditerranéenne, les risques d'incendie sont très élevés à Porquerolles durant la période estivale.

Les études faites sur la propagation du feu dans la végétation méditerranéenne montrent qu'un sous-bois non entretenu, envahi par les broussailles, favorise grandement l'extension des incendies. Pour cette raison, un nettoyage régulier des

massifs boisés est assuré par le service forestier.

Jusqu'à présent, les produits issus de ce débroussaillage estimés à 500 t/an ont été considérés comme des déchets et brûlés sur place durant la période autorisée (de novembre à mars).

D'autre part, la valeur énergétique de la canne de Provence est bien connue des spécialistes de la biomasse et il est possible à terme d'utiliser à Porquerolles ce combustible. Le bon fonctionnement du lagunage exige une végétation saine et vigoureuse et donc le fauchage périodique de la lagune à macrophytes.

1.2. – Les résidus d'ordures ménagères à haut pouvoir énergétique, cageots et cartons

La population permanente de Porquerolles se compose de 300 habitants environ. Avec la présence des résidents secondaires, la population décuple en période estivale. À celle-ci viennent s'ajouter les 4 000 visiteurs journaliers amenés par les bateaux réguliers et les plaisanciers. Chaque année, cette masse humaine laisse dans l'île environ 540 tonnes de cageots et de cartons qui, stockés dans un point précis de l'île, sont eux aussi brûlés en période autorisée.

L'insularité est de plus une source de problèmes ardu pour l'évacuation ou la destruction de produits considérés jusqu'à présent comme des déchets. De là est venue l'idée de valoriser l'ensemble de ces sous-produits en les convertissant en énergie au lieu de les détruire.

2. – Les besoins en énergie du Hameau Agricole. Conservatoire Botanique de Porquerolles

2.1. – Les bâtiments d'exploitation

Couvrant une superficie de 640 m², ces bâtiments sont fonctionnels depuis juin 1981. Ils comprennent :

- les bureaux du Conservatoire Botanique;

- des hangars de stockage (matériel agricole et véhicule, engrais, récoltes);
- des locaux techniques (laboratoires, salles des optiques, étude, salle de conditionnement des graines, salle des herbiers);
- des locaux devant être équipés en chambre froide pour le stockage des récoltes (fruits et légumes);
- des locaux devant recevoir les installations de traitement et de conservation des produits (huilerie, nettoyeuse et calibreuse de fruits);
- un atelier de mécanique (réparation et entretien du matériel agricole et des véhicules);
- le local destiné à recevoir la centrale énergétique (installation gazogène).

2.2. – Les équipements consommateurs d'énergie

Il convient de distinguer les besoins de chauffage des bâtiments et les besoins en électricité pour certains équipements :

- l'éclairage;
- les installations frigorifiques (congélateurs, chambre froide expérimentale pour les semences d'espèces menacées, chambres froides destinées au stockage des fruits et légumes);
- les autres équipements tels que les étuves, les appareillages de l'atelier de mécanique, la nettoyeuse et la calibreuse de fruits.

2.3. – Le bilan des besoins énergétiques a été estimé comme suit :

- En chauffage pour la totalité des bâtiments à usage collectif : 70 kW thermique
- En électricité pour :
 - éclairage et matériel divers des locaux pendant toute l'année et 8 heures par jour : 10 kW thermique
 - Installations de recherche : Congélateur toute l'année pendant 2 h/j : 2,5 kW thermique Chambre froide expérimentale pendant 6 mois et 8 h/j : 10 kW thermique
 - Installations de traitement et de conservation des produits : Chambres froides pendant 3 mois en été à 24 h/j : 22 kW thermique et le reste du temps : 11 kW thermique
 - Triage, nettoyage et calibrage des fruits produits du 15 mai au 15 octobre 8 h/j : 15 kW thermique
 - Huilerie 15 j/an et 8 h/j au mois de février : 30 kW thermique

Il convient de noter que les besoins énergétiques se répartissent de façon à peu près homogène toute l'année. Ainsi, l'analyse de la répartition des besoins montre qu'il faut pouvoir assurer en permanence une puissance électrique de 100 kW environ (besoin global : 300 000 kWh/an).

3. – La centrale énergétique

Conformément au schéma joint, les phases successives du fonctionnement de l'installation destinée à couvrir les besoins en énergie (électricité et chauffage) des bâtiments du Hameau Agricole - Conservatoire Botanique se présentent de la façon suivante :

3.1. – Obtention d'un mélange gazeux

Sous la seule action de la chaleur, la décomposition du combustible, d'abord broyé 1, puis stocké 2 est poussée jusqu'à la gazéification, suivant le principe de la pyrolyse selon lequel fonctionne le gazogène 3.

Les créations de gazéification ou de réduction de carbone s'apparentent à celles :

- du gaz à l'eau selon la formule : $C + H_2O \rightarrow CO + H$
Carbone + eau → Oxyde de carbone + Hydrogène
- ou de gaz à l'air selon la formule : $C + CO_2 \rightarrow 2 CO$
- Carbone + gaz carbonique → Oxyde de carbone.

Les copeaux s'échauffent et se transforment en gaz et charbon végétal, lesquels sont alors soumis à une combustion partielle assurant la gazéification à une température d'environ 1 000 °C. Les cendres 4 riches en potasse et phosphore sont utilisées pour la fumure des champs.

Les goudrons produits sont réduits, « craqués » dans la zone à haute température.

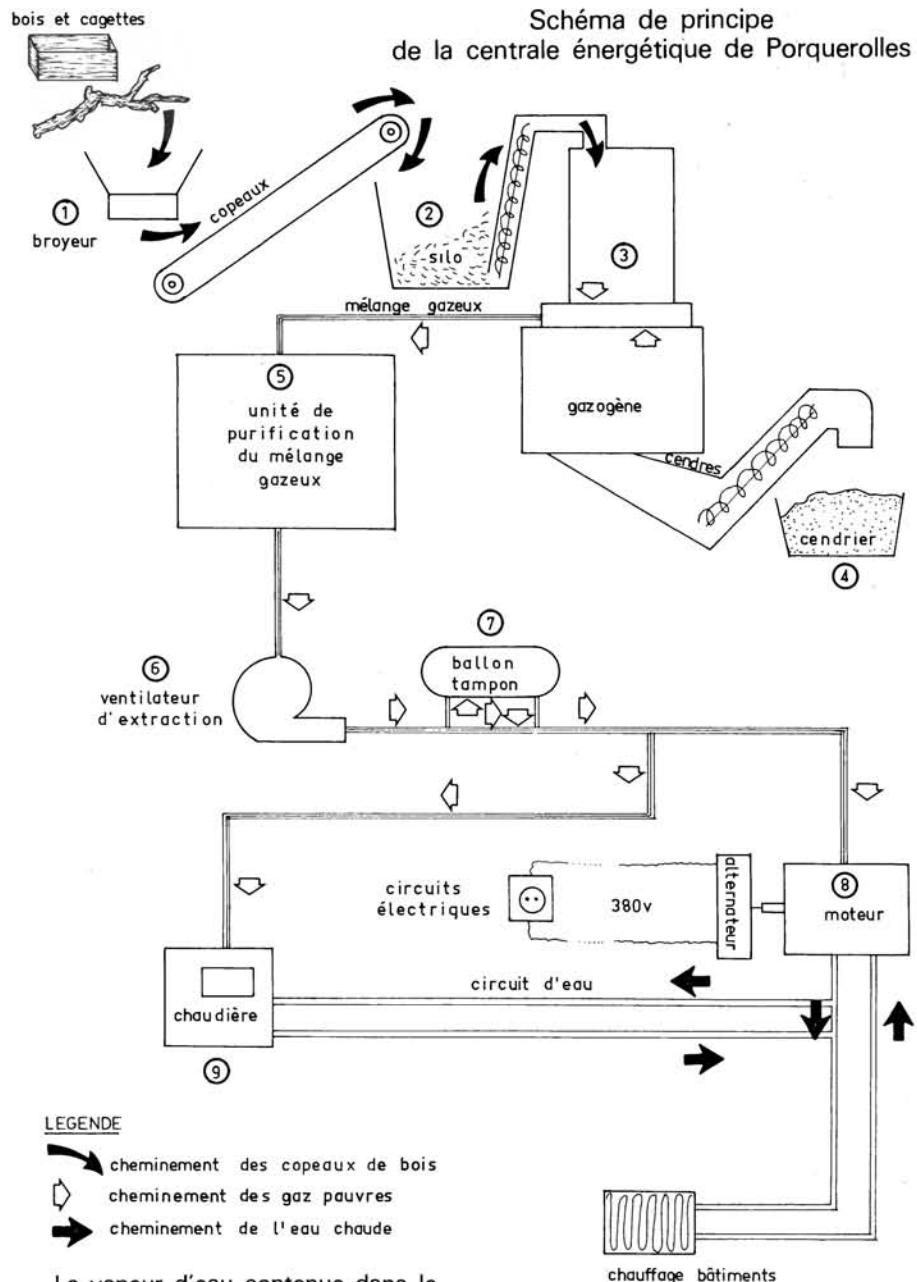
Le mélange de gaz obtenu a la composition approximative suivante :

Hydrogène (H ₂)	10 %
Oxyde de carbone (CO)	20 %
Hydrocarbures (CH ₄ , etc.)	5 %
Gaz carbonique (CO ₂)	10 %
Azote	55 %

Malheureusement, la forte teneur en azote de ce mélange le rend quasiment incompressible.

3.2. – Affinage du mélange gazeux

Au sortir du gazogène, le mélange de gaz est refroidi et purifié. Il passe successivement dans un premier refroidisseur, un dépoussiéreur, un deuxième refroidisseur et un dégoudronneur 5.



La vapeur d'eau contenue dans le mélange est éliminée par le passage dans un condensateur. Le mélange gazeux est alors prêt à être utilisé.

Pour pallier les risques inhérents à tout prototype, cet éventail de précautions a naturellement paru indispensable. Seule l'expérience pourra guider les améliorations ou les simplifications à apporter.

Dans tous les cas, il convient d'éliminer du mélange de gaz toute trace de goudrons, de poussière ou d'eau qui pourraient encrasser ou corroder les moteurs ou en perturber le fonctionnement.

3.3. – Conversion en énergie

Les gaz une fois purifiés sont aspirés et refoulés par le ventilateur d'extraction 6 pour être dirigés :

- soit dans un ballon tampon 7 qui tout en assurant la sécurité de l'utilisation, régularise la pression;

- soit directement dans le moteur 8 ou dans la chaudière 9.

Ces deux utilisations demeurent possibles ou bien séparément ou bien de façon concomitante :

- le moteur couplé à un alternateur d'une puissance nominale de 100 kW produit de l'électricité;
- la chaudière utilisant directement les gaz pauvres permet le chauffage des bâtiments.

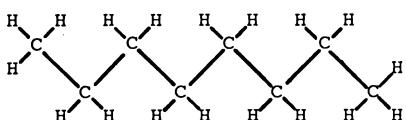
Les calories perdues dans le refroidissement du milieu sont elles-mêmes récupérées à travers un échangeur et utilisées elles aussi à des fins de chauffage.

Cette centrale énergétique à gazogène permet donc à Porquerolles une valorisation de la biomasse, une utilisation optimale de son énergie en correspondance avec les besoins du Hameau Agricole.

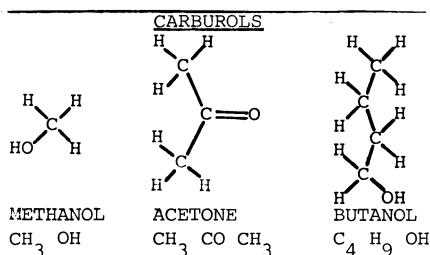
André MANCHE

Le plan carburol

CARBURANTS PÉTROLIERS



Exemple : OCTANE C₈ H₁₈



Le secteur TRANSPORT ROUTIER consomme actuellement en France environ 30 millions de tonnes de super, gasoil et essence, soit 30 M.T.E.P. environ. L'effort entrepris pour réduire notre dépendance vis-à-vis du pétrole se développe dans plusieurs directions : l'une d'elles consiste à vouloir substituer progressivement à une partie des carburants pétroliers, des carburants nouveaux, les CARBUROLS, produits à partir de matières premières nationales.

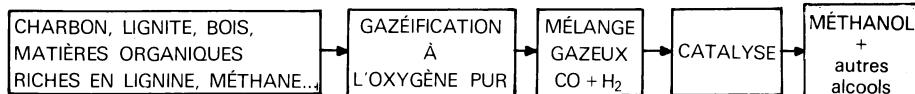
Dans l'état des connaissances scientifiques, des coûts des matières premières disponibles, des techniques mises en œuvre pour les transformer, deux « filières » seulement sont actuellement retenues pour la production de carburols : la filière « méthanol » et la filière « acétonobutylique » résumées ci-dessous, mais ces choix ne sont pas figés.

Rappelons que les carburants pétroliers sont constitués de carbone C et d'hydrogène H : ce sont des hydrocarbures.

Les carburols actuellement fabriqués sont constitués de carbone et d'hydrogène, mais également d'oxygène O (tableau).

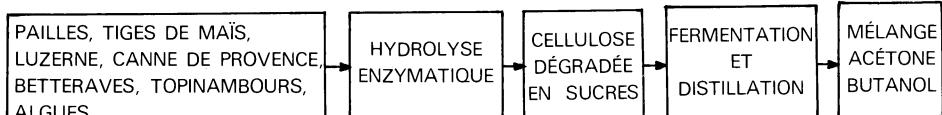
1. – Comment et à partir de quoi fabrique-t-on les carburols ?

– La filière « méthanol »



Le méthanol, ou alcool méthylique, autrefois appelé alcool ou esprit de bois, est vendu dans le commerce sous le nom d'alcool à brûler. Le bois et d'une manière générale toute biomasse ligneuse, peut servir de matière première à la préparation du méthanol.

– La filière « acétono-butylique »



Outre l'acétone, produit commercial bien connu, le mélange contient un alcool, le butanol ou alcool butylique qui apporte des caractéristiques de combustion très intéressantes. On notera l'importance de la biomasse et des technologies microbiologiques dans cette filière.

2. – État actuel des deux filières

	FILIÈRE MÉTHANOL	FILIÈRE ACÉTONO-BUTANOL
Ressources en matières premières tirées de la biomasse.	Concurrence pour le bois avec la papeterie, le bois de feu, etc. ↓ Augmenter la production forestière.	Concurrence pour les surfaces agricoles avec les cultures alimentaires. ↓ Sélection d'espèces plus productives.
État de la technologie pour l'emploi de la biomasse.	Stade industriel possible en 1984.	Recherches en cours pour l'hydrol-enzym; pilote en 1982.
Rendements attendus.	1 T biomasse sèche ≈ 0,5 T méthanol ≈ 0,25 T.E.P.	1 T biomasse sèche ≈ 0,2-0,3 T mélange ≈ 0,2-0,3 T.E.P.

3. – Développement du programme carburol

Il est prévu d'introduire les **carburols** en deux étapes successives dans les carburants :

- **Première étape** : un pourcentage de 10 % maximum de carburol est introduit dans le super, soit environ 1,5 M.T.E.P. de carburol par an. Le nouveau mélange aura les mêmes qualités que le carburant habituel, sans modifications mécaniques.
- **Seconde étape** : un réseau de distribution d'un mélange à 25 ou 50 % de carburol est mis en place à la disposition de voitures mécaniquement adaptées.

Il n'est pas possible dans ce court résumé de développer tous les problèmes techniques posés par la recherche et l'accroissement de nouvelles ressources de matières premières, leur conversion en carburants liquides et l'utilisation partielle de ces **carburols** sans modification des moteurs du parc automobile actuel.

Filières microbiologiques

Le compostage des déchets ligneux

Les expériences sur le compostage des broussailles forestières (J. PAIN) abondamment commentées depuis plusieurs années, ont suscité beaucoup d'espoirs de valoriser les déchets de coupe, de taille, de débroussaillage et d'élagage abandonnés ou brûlés, en forêt pour les uns, sur les décharges pour les autres.

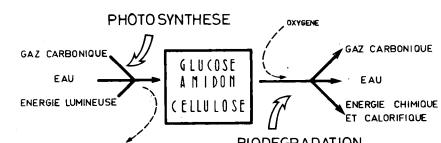
Des particuliers et des entreprises ont souhaité passer à une échelle industrielle de fabrication de « compost forestier » en broyant des branches et des rémanents de fort diamètre (jusqu'à 10 cm) et en élevant des tas de l'ordre de 1 000 m³.

Les difficultés techniques et économiques soulevées par ce changement d'échelle justifient une réflexion sur la valeur de la filière « compost » et conduisent à la réexaminer sur des bases plus scientifiques.

Le compostage

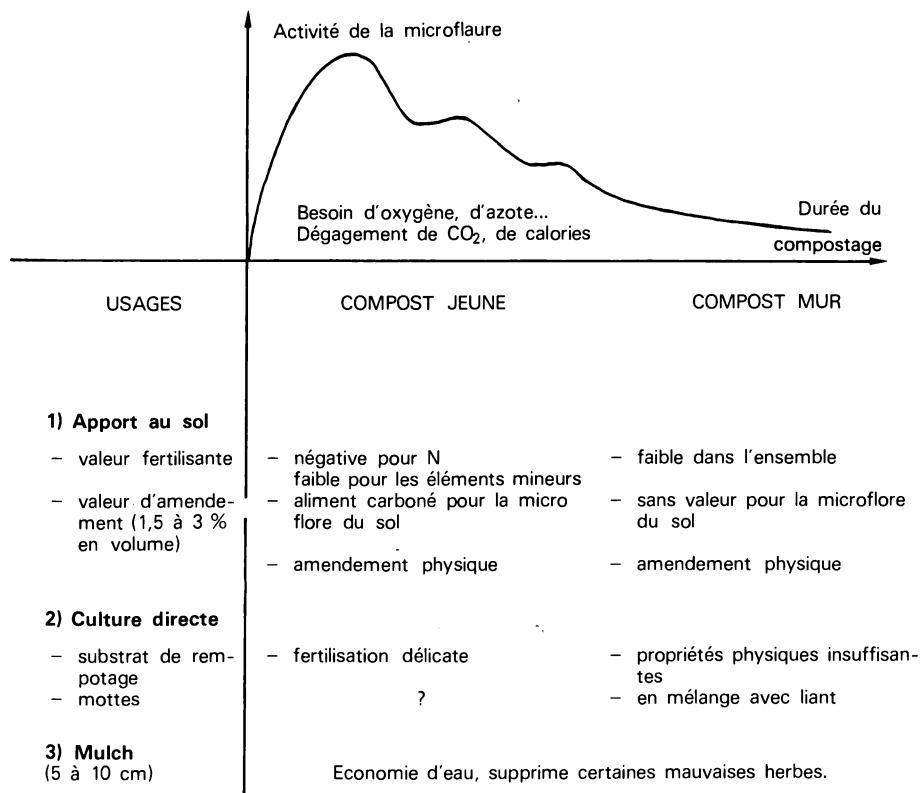
Le compostage est une dégradation partielle de la matière organique végétale par une microflore naturelle très riche, de bactéries et de champignons saprophytes (= se nourrissant de tissus morts) et pour la plupart aérobies (= vivant en milieu aéré).

Cette « biodégradation » conduit à la disparition progressive des constituants les mieux assimilés par cette microflore et à leur transformation, pour l'essentiel, en gaz carbonique et en eau : c'est, en somme, l'inverse de la photosynthèse :



Ce schéma simple décrit les transformations des composés les plus importants en poids (70-75 %) de la matière végétale : les polysaccharides, mais il est incomplet : une partie des polysaccharides reste dans les corps microbiens, de même que les protéines végétales également assimilées. Enfin, la lignine peut aussi être attaquée par certains champignons.

Plus le compostage s'avance, plus le compost perd sa valeur nutritive pour la microflore : il s'est enrichi en composés humiques, de couleur brun foncé, mélanges complexes de lignine dégradée et de résidus microbiens. Les éléments minéraux et l'azote se sont concentrés, en principe, dans la proportion de la perte de poids totale.



Les déchets ligneux

1) Le terme « Ligneux » désignant tout ce qui a trait au bois, on nommera ici déchet ligneux : 1 - Toute broussaille, tout rejet, branchage, toute tige, coupés en forêt dans un but d'éclaircissement, de protection contre l'incendie, etc. 2 - Tout branchage, feuillage élagué en zone urbaine ou sur le réseau routier... et qui, ne trouvant pas actuellement d'utilisation effective, est abandonné ou brûlé.

2) Ces deux catégories sont distinguées des déchets de l'industrie du bois (écorces, délinquances...) pour deux raisons principales :

– Ils sont dispersés (sauf les élagages urbains) tandis que les déchets industriels sont par principe concentrés sur les sites des usines avec un coût de transport déjà amorti.

– Leurs conditions de compostage sont mal connues tandis que celles des écorces, par exemple, a fait l'objet de nombreux travaux, à l'étranger et en France.

3) La composition botanique des déchets ligneux est variée, de même que les souches microbiologiques qu'ils apportent avec eux.

Leur composition biochimique varie avec l'âge, l'espèce et la saison de coupe. Certaines espèces contiennent des substances phytotoxiques (= toxiques pour la végétation) dont on connaît mal la biodégradation pendant le compostage.

Les conditions optimales du compostage

Ces conditions dépendent en partie de la nature du déchet à composter et de l'usage qu'on veut faire du compost.

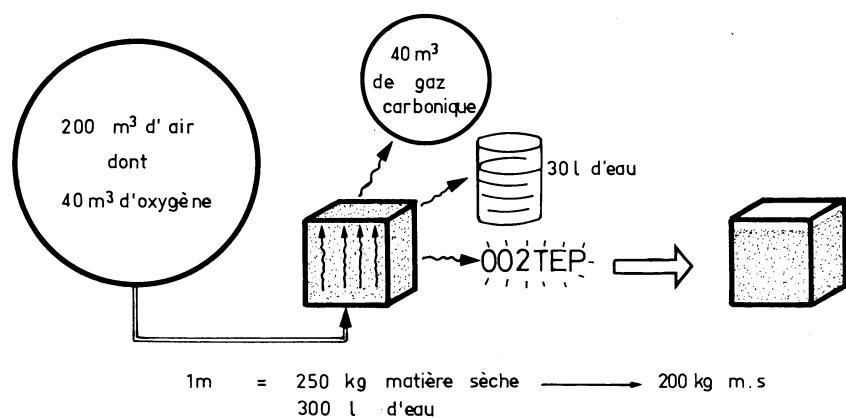
Mais dans tous les cas, il est important que la plante cultivée ne se trouve pas en compétition avec une forte activité de la microflore saprophyte, vis-à-vis des éléments minéraux nutritifs, et en particulier de l'azote, que l'une comme l'autre absorbent sous les mêmes formes.

Le compostage conduit à une perte de matière sèche : il semble que pour les déchets de bois, 20 %

soit un ordre de grandeur satisfaisant. Le bilan de cette perte se traduit par une consommation d'oxygène, donc un besoin d'air important, et par un dégagement de chaleur et de gaz carbonique. En voici les ordres de grandeur pour 1 m³ de compost en activité :

La chaleur dégagée (ici 0,02 TEP au total) élève la température de la masse à un degré qui dépend de la dimension du tas et, somme toute, du rapport entre la production et l'évacuation des calories.

La maîtrise de la température est, avec celle de l'aération de l'humidification et de l'apport d'azote, l'un des quatre facteurs essentiels de la conduite du compostage à l'échelle d'une production industrielle.



Energie récupérable par fermentation des composts forestiers

Lorsqu'on dispose en tas des déchets forestiers réduits en copeaux pour les faire fermenter, la température du tas s'élève pendant plusieurs mois à environ 60°C par l'action combinée d'un assez faible dégagement de chaleur provenant essentiellement de la transformation de la cellulose en gaz carbonique et vapeur d'eau et d'une bonne isolation thermique réalisée par la couche périphérique des tas, en général plus sèche : il y a équilibre entre production et perte.

Si l'on introduit dans le tas un échangeur (cuve ou tuyauterie) dans lequel circule un débit d'eau froide ou tiède, on rompt l'équilibre précédent ; si le débit est faible, l'extraction de calories pourra être supportée, voire « compensée » par la population de bactéries et un nouvel équilibre pourra être atteint, le plus souvent à une température sensiblement inférieure à la précédente, mais supérieure toutefois à environ 50°C. Si, au contraire, le débit est trop important, la température du tas diminue progressivement à un niveau beaucoup plus bas (ainsi que la température de l'eau à la sortie de l'échangeur), les fermentations sont ralenties et la circulation de l'eau doit être arrêtée pour permettre une remontée en température.

Plusieurs expériences faites en vraie grandeur ont permis d'estimer à **30 watts/tonne** la puissance récupérable avec ce procédé, chiffre qui confirme les calculs que l'on peut faire en appliquant les lois de la thermodynamique et en appréciant la perte en poids de cellulose au cours de la fermentation (de l'ordre de 15 % de la masse initiale).

Des rendements sensiblement meilleurs pourraient certainement être obtenus avec des systèmes de récupération mieux adaptés : par exemple échangeur en forme de cuve plate de type capteurs plan solaire placé au-dessus du tas et non pas à l'intérieur. On peut toutefois affirmer avec certitude que les puissances récupérables seraient néanmoins d'un ordre de grandeur comparable.

Le système est donc très peu performant et très mal adapté à la quasi totalité des besoins actuels : pour chauffer une habitation de 150 m² habitables soit un volume de 400 m³, exigeant une puissance de l'ordre de 20 kW, il faudrait mettre en œuvre un tas de près de 700 tonnes, soit un volume de 2 800 m³ (7 fois plus important que la maison), ce qui représente une immobilisation d'environ 350 000 F (la moitié du prix de la maison).

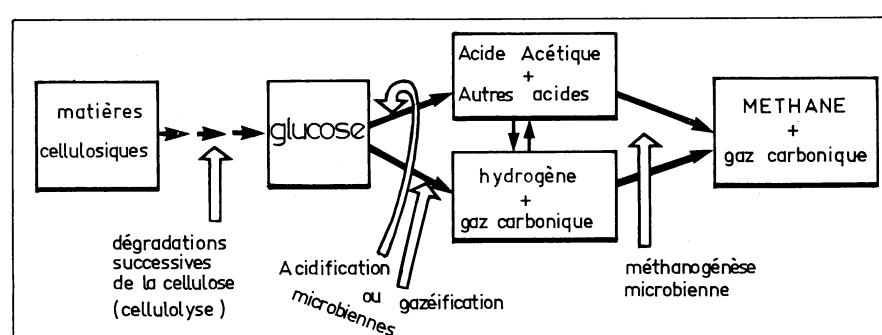
Le biométhane

Le méthane produit par voie biologique, se forme partout dans la nature : c'est le fameux « gaz des marais », qui provient de la décomposition à l'abri de l'air (anaérobiose) des résidus végétaux : cette forme de décomposition est d'ailleurs plus importante, dans la nature, que la décomposition aérobie.

Il y a plus d'un siècle, on construisait en Inde la première installation de production de méthane à partir du fumier : ce « gaz de fumier » devait servir à chauffer une léproserie.

Ce n'est pourtant que depuis peu que l'on commence à bien connaître les principales réactions de transformation qui conduisent au méthane et les souches microbiennes qui les réalisent.

Voici, en résumé, la succession des réactions qui s'effectuent en milieu anaérobiose :



4. - Problèmes du stockage et de l'équilibre entre la production de gaz et les besoins

Les conditions de température (30-35°) rendent le fonctionnement plus coûteux en hiver (une partie du méthane servant au chauffage de la cuve) au moment même où les besoins domestiques sont les plus grands. Il faut préciser que pour un éleveur, le choix de cette technique d'épuration est motivé en bonne partie par le désir d'une indépendance énergétique de son exploitation.

Toutefois, cette technique exige un investissement initial élevé, notamment par rapport à la technique d'épandage et des efforts technologiques sont entrepris pour en abaisser le montant.

Expérience de M. Michelin, viticulteur

Tout d'abord, je tiens à préciser que je ne suis pas technicien, mais un praticien, qu'à ce jour je n'ai reçu aucune aide, ni conseil des services publics. D'autre part, je ne prétends donner aucune solution.

Viticulteur à Saint-Rémy-de-Provence, ma présence à ces journées de la Forêt Méditerranéenne peut vous étonner. Je travaille mes vignes en culture biologique, méthode LEMAIRE-BOUCHER, depuis 1969. J'essaie de mettre, tous les ans, 10 t/ha de compost. La surface du vignoble étant passée de 10 à 40 ha, il faudrait que je mette, actuellement, 400 t par an.

Si je mets du compost, ce n'est pas pour augmenter mes rendements, car mon premier souci est de limiter ce rendement au pied à environ 40 hl/ha. En effet, à mon avis, les difficultés de la viticulture sont en grande partie dues à la course au rendement. Au delà de 50 hl/ha, les vins ne sont plus que des dilutions, sans couleur ni saveur (l'alcool, s'il en est besoin, étant apporté par chaptalisations ou concentration).

Avant la mécanisation, la densité par ha était d'environ 6 000 p.; maintenant elle est rarement supérieure à 3 500 p., et les rendements hl/ha ont doublé = les maxima d'autrefois sont les minima d'aujourd'hui. Les rendements au pied sont donc pratiquement multipliés par 4. Or chaque pied de vigne a un potentiel en arôme et en matière colorante limité.

Pourquoi faire du compost ? Essentiellement pour garder un sol vivant. La vigne est une culture de sol pauvre, mais pas de sol mort, tué par les engrains et les désherbants. Dans un sol vivant, les maladies de la vigne et les carences disparaissent, donc moins de traitements sont nécessaires.

Une solution : le Mulching, produit en interligne, en culture associée de légumineuses (vesce, pois fourrage, féverole). Cela pose de gros problèmes à cause du climat et de la concurrence en eau, imposant de tenir l'été un sol biné pour éviter l'évaporation. J'ai réussi ce genre d'association avec de la vesce seigle, les années pluvieuses, et cela a beaucoup multiplié la faune (coccinelles, etc...); mais depuis 2 ans, il fait trop sec pour appliquer cette méthode. L'arrosage, interdit en terrain classé, n'est pas une solution car la vigne n'a plus alors tendance à s'enraciner profondément.

J'ai bien conscience qu'un domaine comme le mien, en monoculture, est une anomalie. Il me faudrait une superficie suffisante pour produire ma paille et avoir un élevage de moutons, afin de réaliser le compost sur place.

Le compost LEMAIRE-BOUCHER est trop cher pour la viticulture. Les composts d'ordures ménagères semblent intéressants, quant au prix et quant à l'analyse, mais la présence de matières plastiques broyées et leur odeur désagréable m'ont conduit à ne pas les utiliser. Par ailleurs, j'ai pu constater des exemples inquiétants de leur utilisation (Champagne).

J'ai fait mes premiers composts, en 1970, avec de la paille et du fumier, et un peu de marc de raisin. J'ai obtenu de bons résultats quand j'ai laissé au moins 6 mois la paille mouillée et tassée, avant de la mélanger au fumier dans un épandeur afin de faire un andain aéré de 2 m de base sur 2 m de haut. A ce moment là, la température s'élève très rapidement, et en 30 ou 40 jours, vous avez un très bon compost. Mais la paille est devenue hors de prix dans notre région. Il faudrait aller la chercher en Crau ou en Camargue, sur le terrain, au moment de la moisson. Or il y a un tel problème de circulation à cette période de l'année, que j'y ai renoncé.



C'est la principale raison qui m'a fait essayer le compost de broussaille, auquel seul Jean PAIN, à ce moment là, s'intéressait. Au début, j'ai suivi sa technique à la lettre. J'ai débroussaillé une partie du bois que j'ai sur mon terrain et fait venir un entrepreneur avec un broyeur. Je me suis très vite rendu compte que le compostage était très long et que des problèmes se posaient :

- Difficulté de mouiller cette matière première.
- Etait-il préférable de choisir un broyage en copeaux (ERJO) ou un broyage beaucoup plus fin (broyeur Jean PAIN) ?
- Le compostage, pouvant durer un an, avec reprise du tas périodiquement, reste aléatoire.



Une chose est certaine : il faut mélanger les essences – broyage de sous-bois, de platanes, de peupliers, d'écorces de pins (j'en ai eu 300 t gratuites à la Cellulose). Depuis 3 ans, je mélange moitié broyage, moitié fumier de cheval très pailleux ; ce dernier accélère beaucoup la fermentation.

Je rentre environ 4 t par semaine de fumier de cheval, soit environ 200 t par an – à un prix intéressant de 70 F la tonne rendu – ayant un accord avec deux clubs hippiques, l'un à Saint-Rémy, l'autre à Eygalières, soit 30 chevaux en box.

Je prends aussi des déchets de grainetiers de Saint-Rémy (thym, romarin). J'ai fait des coupes de romarin avec mon broyeur Nicolas équipé d'une remorque en grillage pour récupérer le broyage.

La principale source de broyage de bois se situe chez les entrepreneurs de débroussaillage et élagage qui, jusqu'à présent, considéraient cette matière sans valeur. Elle était souvent jetée à la décharge, ces entreprises trouvant leur rémunération dans le débroussaillage. Maintenant, les prix montent : 80 F le m³, et l'on parle d'utiliser le broyage pour le chauffage urbain ou pour faire marcher des moteurs au gazogène !



Cet usage me semble très préjudiciable pour l'agriculture et la conservation du sol où le manque d'humus devient inquiétant : il suffit de voir la quantité de tourbe utilisée par les serristes pour essayer de redonner une meilleure texture à leurs terres.

Quel est le prix de revient du compost ?

Il est très difficile à établir. Tout dépend du prix des apports de matière, le compostage n'étant pas cher par lui-même : deux hommes font 30 à 40 t par jour avec un chargeur et un épandeur. Le prix de revient est d'environ 25 F la tonne, mais si l'on prend le tas pour affinage, le coût s'élève à environ 40 F la tonne.

Le prix du compost ne devrait pas dépasser de 100 à 150 F la tonne, mais à quelle hygrométrie ? On peut, en effet, doubler le poids d'un compost fini, en l'arrosoant !

Je n'ai jamais pu établir exactement le poids de 1 m³ de broyage transformé en compost.

Le broyage de bois : même en récupérant des branches gratuitement et sans transport, cela semble peu rentable. Avec un bon broyeur et trois hommes, on fait 12 m³ à 15 m³ par jour, soit environ 90 F le m³, sans compter le transport jusqu'à l'aire de compostage. On trouve actuellement du broyage à 100 F le m³ rendu, mais pour combien de temps ?

Qualités du compost

Je n'ai jamais fait analyser celui que je produis (mes seuls « contrôles » sont mes yeux et mon nez...), je ne connais ni le pH ni le rapport carbone-azote. Employé en jardinage, il est efficace. Employé en viticulture, son action ne peut être évaluée qu'à long terme. Je compte poursuivre cette façon de travailler, mais suis inquiet pour les approvisionnements en matière première.

Conclusion

Ma conclusion paraîtra paradoxale : en effet, il me semble que les rémanents de forêt devraient rester en forêt, broyés sur place, où ils se décomposeraient, protégeant le sol et conservant l'humidité. En aucun cas ils ne devraient être brûlés, ce qui est la plus mauvaise solution.

Pourquoi ne pas envisager (cela existe en Belgique) la récupération de toute matière organique (taille de fruitiers, de haies) dans des centres de broyage-compostage ?

L'on ne devrait plus voir une fumée dans la campagne française. Le feu étant « la solution définitive » ! Je vous parle en connaissance de cause, ayant vécu 15 ans en Afrique, en zone de savane, où tous les ans toute la brousse brûle ! créant le désert par la diminution de la forêt et le changement du climat.