

# ECOLE POLYTECHNIQUE FEDERALE DE LAUSANNE INSTITUT DU GENIE DE L'ENVIRONNEMENT **COURS POSTGRADE 1979**

4.2.

# ETUDE DES UTILISATIONS DE LA VEGETATION DES MARAIS DE LA RIVE SUD DU LAC DE NEUCHÂTEL

TRAVAIL DE RECHERCHE POSTGRADE

J-P. GIROD BIOLOGISTE E. RUEGG ING. AGRONOME

## Table des matières

- 1. Introduction
  - 1.1 Généralités
  - 1.2 Importance de la végétation riveraine
  - 1.3 Entretien
  - 1.4 Buts et limites du travail
  - 1.5 Récolte de la matière végétale
- 2. La vágétation riveraine
  - 2.1 Description
  - 2.2 Importance et productivité des principaux groupements végétaux
- 3. Utilisations
  - 3.1 Le compost
    - 3.1.1 Généralités
    - 3.1.2 Aptitude au compostage de la végétation riveraine
    - 3.1.3 Possibilités de compostage
      - 3.1.3.1 Compostage sur place
      - 3.1.3.2 Prise en charge par l'agriculture
      - 3.1.3.3 Prise en charge par les usines de compostage
    - 3.1.4 Conclusions
  - 3.2 La litière
    - 3.2.1 Géméralités
    - 3.2.2 Valeur de la végétation riveraine comme litière
    - 3.2.3 -Commercialisation
  - 3.3 Le biogaz
    - 3.3.1 Généralités
    - 3.3.2 Valeur de la végétation de marais pour la production de biogaz
    - 3.3.3 Essai
    - 3.3.4 La ptoduction de biogaz
      - 3.3.4.1 Dans les exploitations agricoles
      - 3.3.4.2 Avec des ordures ménagères
      - 3.3.4.3 Traitement séparé de la végétation riveraine
    - 3.3.5 Conclusions
  - 3.4 Le combustible
    - 3.4.1 Généralités
    - 3.4.2 Pouvoir calorifique de la végétation riveraine
    - 3.4.3 Installations
    - 3.4.4 Utilisations potentielles
    - 3.4.5 Equivalences
    - 3.4.6 Conclusions
  - 3.5 Le tissage

- 3.6 Divers
  - 3.6.1 Mulch
  - 3.6.2 Fourrage
  - 3.6.3 Pâte à papier

#### 4. Conclusions

- 4.1 Tableau récapitulatif des utilisations
- 4.2 Solutions envisageables
- 4.3 Recommandations

#### 5. Annexes

- 5.1 Analyse chimique des végétaux
- 5.2 Conditionnement et transport 5.2.1 Conditionnement
  - 5.2.2 Transport de la végétation
- 5.3 Le compostage
  - 5.3.1 Définition
  - 5.3.2 Paramètres agissant sur le compostage
  - 5.3.3 Technique
  - 5.3.4 Intérêt du compostage
- 5.4 La production de biométhane
  - 5.4.1 Généralités
  - 5.4.2 La conception des digesteurs
  - 5.4.3 Paramètres importants pour la formation de biogaz
- 5.5 Adresses utiles
- 5.6 Carte au 200'000 du lac de Neuchâtel

Remerciements

# 1. <u>Introduction</u>

La première correction des eaux du Jura vers 1870 abaissa le niveau moyen du Lac de Neuchâtel de 2,75 m.

Les travaux avaient pour but d'assécher et de rendre cultivables les marais du Seeland et ceux de la plaine de l'Orbe. Ils eurent aussi pour conséquence d'exonder tout le long de la rive Sud du lac une bande de terrain représentant quelques 2000 hectares et dont le sol est constitué en grande partie par les matériaux arrachés à la falaise de molasse par l'érosion.

Ces terrains furent colonisés par une végétation pionnière formée en majorité de roseau (Phragmites communis) et de joncs (Juncus sp).

Une évolution rapide conduit à la végétation actuelle qui sera décrite plus bas et qui est déterminée principalement par le niveau de la nappe phréatique. Cette évolution est un phénomène naturel qui s'observe dans toutes les zones humides. Sur la rive du lac, les stades suivants se succèdent aussi bien dans le temps : série évolutive, que dans l'espace : végétation aquatique, roselière, prairie à laîches, buissons et enfin le climax, stade ultime de l'évolution, qui est la forêt.

On assiste actuellement à une grande extension de la zone de croissance des buissons et de la forêt humide constituée principalement d'aulnes noirs (Alnus glutinosa) et de pins sylvestres (Pinus silvestris) et à la disparition des étangs se trouvant derrière la dune l'ittorale; ceci a pour cause l'élévation du niveau du sol par rapport à la nappe phréatique. En effet, la végétation des zones humides, disposant de beaucoup d'eau et de beaucoup de lumière est caractérisée par une grande productivité. Une grande quantité de matière organique arrive chaque année sur le sol et s'y décompose, provoquant l'atterrissement.

Ce processus se déroule naturellement à l'échelle géologique. Deux facteurs d'origine humaine semblent l'accélérer :

- l'eutrophisation des eaux du lac et principalement l'augmentation de leur teneur en phosphates et en composés azotés favorisent la croissance des végétaux et augmentent la production de matière organique.
- la deuxième correction des eaux du Jura qui a supprimé les crues saisonnières qui limitaient la croissance des espèces ne supportant pas les sols inondés trop longtemps et, principalement, des buissons.

# 1.2. Importance de la végétation riveraine

La rive sud du lac de Neuchâtel a été reconnue zone d'importance nationale (CPN 2.14) et la conservation de la rive dans son état naturel déclarée d'importance européenne.

La flore et la faune y sont d'une grande richesse et comprennent de nombreuses espèces rares (voir les travaux sur la rive sud du lac de Neuchâtel).

La région a également une grande importance ornithologique pour le grand nombre d'espèces qui y résident, comme refuge d'étape indispensable pour les oiseaux migrateurs et comme région d'immigration (estivale ou hivernale).

# 1.3. Entretien

La valeur écologique de la région et le désir de la maintenir à un stade déterminé de son évolution avec la diversité des milieux qui la caractérise ont incité la ligue suisse pour la protection de la nature à étudier les mesures d'entretien qui devaient être prises (Rapport général 1977). L'une d'entre elles est le fauchage et l'enlèvement de la matière végétale en établissant un cycle de trois ans qui permette de déranger le milieu le moins possible.

# 1.4. But et limites du travail

La présente recherche se propose d'étudier les différentes possibilités d'emplois de la matière végétale qui serait fauchée en fonction des espèces qui la composent, de la forme sous laquelle elle serait récoltée, de son état de sécheresse et de l'époque de l'année à laquelle se feraient les fauchages.

Elle a également pour but de faire une estimation des quantités qui pourraient être affectées à chaque utilisation.

# 1.5. Récolte de la matière végétale

En nous basant sur les expériences réalisées par les agri-

culteurs qui fauchent la végétation à l'heure actuelle, sur les essais exécutés en 1979 (Roullier 1979) et sur ce qui se pratique en Suède (S. Björk 1972), il nous semble que trais méthodes peuvent être envisagées en fonction de la nature du terrain et de la végétation.

1) Dans les zones les plus sèches, (prairies à petites laîches) et pour autant que le fauchage se fasse assez tôt dans la saison, l'emploi des machines agricoles traditionnelles est techniquement possible. En pourrait même dans certains cas prévoir un bottelage sur le champ, pour autant que l'on ne dispose pas de machines spéciales.

Ceci concerne principalement la région de Cudrefin, où la végétation est encore utilisée comme litière tout au moins les années sèches où sévit une pénurie de paille.

Certaines régions embroussaillées ne fourraient pas être traîtées de cette manière lors du premier passage mais fort probablement lors des passages suivants, une fois les buissons éliminés.

- 2) Dans les zones plus humides, le fauchage au moyen du Terratrac et le ramassage au moyen d'une autochargeuse tels qu'ils ont été pratiqués pendant les essais mis sur pied en 1979 sont envisageables (Roulier 1979).
- 3) Il semble par contre que pour les zones très humides et très difficiles d'accès, l'emploi d'une machine spécifique pourrait être plus rationnel. De telles machines sont utilisées entre autres en Suède pour faucher les roseaux (Björk et al.1978. Leur avantage principal est que les roues sont remplacées par de gros rouleaux qui diminuent beaucoup la pression sur le sol, les risques d'en lisement, et qui rendent la machine amphibie.

#### Littérature

Björk S.	1972	Swedish lake restoration program gets results Ambio, Vol.1 No 5.
Björk S.	1978	Energy reeds and the environment Ambio,
et Granelli W.		Vol. 7, No 4.
Roullier C.	1979	Essais de fauchage des prairies à laiches
E   Seef		de la rive sud du lac de Neuchâtel.
		Plan de protection des rives du lac
		de Neuchâtel, Etude No 5, LSPN.
Rapport général	1977	cf p. 9.

# 2. <u>La végétation riveraine</u>

# 2.1. Description

Au sens de la Loi fédérale sur la protection de la nature et du paysage du ler juillet 1966, le terme de végétation riveraine regroupe les associations végétales dont la principale zone d'enracinement est influencée par la nappe phréatique pendant au moins une partie de l'année. Elle comprend ainsi les forêts riveraines, les buissons, les prairies à litière, les marais, les roselières et les étangs.

Ces types de végétation se retrouvent plus ou moins fréquemment le long de la rive Sud du lac de Neuchâtel, comme on peut le voir sur la figure l.

# Figure 1

#### Légende :

Lac,étangs		Prairie à pe- tites laiches
Roselières	* * * *	Buissons
Roselières atterries	XXXX	Plantations de peupliers
Prairies à laiche élevée	00	Autres feuillus
Prairies à marisque	***	Pinèles

Etangs de Champittet, coord: 541,4;182,2-182,4 . Prairies de Châble-Perron, coord: 542,6;182,6. Roselière de la baie d'Yvonand, coord: 547;183.7-183,9 . Réserve de Cheyres, prairies ouvertes, coord: 550,8;186,2-186,5. Etangs de Chevroux, coord: 559,8;194,1-194,5. 120 m. Est de la Motte, Cudrefin, coord: 565,4;198,8-199,2.

Tiré de: Antoniazza 1979

Sur un plan plus systématique, la végétation riveraine a été classée en 5 unités phytosociologiques (rapport général 1977) :

- l'Unité O: comprend les étangs et autres surfaces d'eau libre situées à l'intérieur de la végétation; dans la rive sud du lac de Neuchâtel, les éléments les plus importants de cette unité sont les étangs de Champittet et de Chevroux; ces surfaces sont très localisées et en voie d'atterrissement.
- l'Unité l regroupe les roselières lacustres et intérieures; les premières forment la zone de contact entre le lac et les marais; on y trouve avant tout du roseau (Phragmites communis); soumises à l'action des vagues et endommagées par l'eutrophisation des eaux, leur régression est forte et on ne les trouve plus que de manière discontinue: elles restent bien développées entre Chevroux et Portalban par exemple.

Les reselières intérieures entourent les étangs et sont plus riches en espèces : elles sont bien représentées à Champittet, dans la réserve de Cheyres et autour des étangs de Chevroux.

La durée annuelle d'inondation des roselières est de 28 semaines : leur productivité est très élevée. En plus de leur valeur comme abri pour de nombreuses espèces, elles sont un élément important du paysage lacustre ; les roseaux sont encore utilisés par quelques fabricants de matériau d'isolement ou de coffrage ainsi que pour le tissage des claies.

- l'Unité 2\* comprend les pseudoroselières, moins inondées que les vraies, ce qui permet l'implantation d'espèces moins hygrophiles ; elle fait souvent suite à la roselière lacustre et précède la prairie à grandes laîches. Elle se rencontre partout où une dure littorale s'est formée et est absente là où la roselière lacustre est bien développée.
- l'Unité 2 contient les prairies à grandes laîches que l'on peut classer en deux associations de structure très différente:
  - a) la prairie à marisque (Cladietum marisci) où cette plante se développe avec une telle vigueur qu'elle occupe presque toute la surface.
  - b) la prairie à laîches élevées (Caricetum elatae)

où l'espèce dominante la plus importante (Carex elata) forme des touradors; on y retrouve le plus souvent également du roseau.

Elle est inondée en moyenne 10 à 20 semaines par année. Sa productivité est très importante. Elle est bien représentée le long de la rive.

- l'Unité 3 regroupe les prairies à petites laîches qui rassemblent elles-mêmes plusieurs associations comme la prairie à choin pouvant recouvrir de grandes surfaces et représentant généralement l'intermédiaire entre la prairie à grande laîche et la forêt buissonnante; le choin (Schoenus nigricans et Schoenus ferrugineus) occupe en général le sol de manière très dense. La prairie à canche bleue (Molinia coerulea) se trouve principalement dans la réserve de Cudrefin. La prairie à petites laîches (Carex hostiana et C. panicea) fait également partie de cette unité. Ces trois associations se trouvent souvent mélangées ou en mosaïque sur le terrain. Elles sont inondées de 5 à 15 semaines par an.

Les unités 2, 2\* et 3 ont une grande importance comme biotope refuge pour la flore et la faune. Elles étaient autrefois utilisées comme source de litière pour le bétail.

# 2.2. Importance et productivité des principaux groupements végétaux

# 1. Répartition

Les marais de la rive sud du lac de Neuchâtel occupent une surface de 784 ha, sur une largeur moyenne de 185 m.

Les groupements végétaux y sont répartis ainsi (Antoniazza 1979):

- étangs et eaux libres : 17 ha (1%)
- roselières: 178 ha (23 %) dont 14 ha en mélange avec des prairies à grandes laîches.
- pseudoroselières : 33 ha (4 %)
- prairies à grandes laîches : 349 ha (44 %) dont le tiers, soit environ 110 ha sont occupés par la prairie à marisque et les 230 ha restant par le Caricetum elatae.
- prairies à petites laîches : 210 ha (27 %) dont 54 en mélange avec les prairies à granles laîches.

Figure 2 : répartition des différents groupements végétaux le long de la rive SE du lac de Neuchâtel.

Largeur moyenne des marais : 185 m. Surface totale des marais : 784,2 ha

Etangs et eaux libres

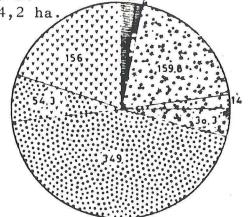
Roselières

Pseudoroselières

Prairies à grandes laiches

Prairies à petites laiches

Antoniazza 1979



Cette répartition est en constante et sensible évolution. L'atterrissement progressif des marais amène une expansion des prairies à grandes laîches et des pseudoroselières au détriment des roselières et surtout des étangs. Le fauchage régulier de ces surfaces influencera également la composition botanique. On sait par exemple qu'il fait régresser la marisque, alors qu'il peut favoriser la formation d'une prairie à canche bleue et que le roseau y est relativement insensible (Keller 1969).

Selon les indications non-publiées de M. Burnand, écologiste à Zurich, la productivité annuelle des groupements végétaux peut être estimée ainsi:

- petites laiches 10 20 30 q/ha
- grandes laiches 40 70 100 g/ha
- roseaux 70 120 200 q/ha

(les chiffres soulignés correspondent aux productivités les plus vraisemblables).

Ces estimations s'appuient sur les ouvrages suivants : Stebler 1848, Ellenberg 1952, Klapp 1956, POST 1978 ainsi que sur des communications orales de MM. Klötzli et Meier de l'Institut de géobotanique de l'EPFZ.

En 1978, la fauche de 12 ha de prairies à choin dans les environs de Cudrefin a permis à un agriculteur de récolter environ 225 quintaux de litière, ce qui équivaut à une productivité moyenne de 19 q/ha.

De notre côté, nous avons pu récolter le 13 septembre 1979 dans des prairies non-fauchées depuis 3 ans, situées dans les grèves de Cudrefin, les quantités suivantes :

- prairies à choin : 28q/ha (sur  $2200 m_2^2$ )

- pseudoroselières : 80q/ha (sur 410 m²)

A l'aide de ces données, nous pouvons évaluer la productivité annuelle des surfaces qui nous intéressent de la façon suivante :

- roselières et pseudoroselières (211 ha) : 148C - 2530 - 4220 t/an - grandes laiches (349 ha) : 1400 - 2440 - 3500 t/an - petites laiches (210 ha) : 210 - 420 - 630 t/an Total (770 ha) : 3090 - 5390 - 8350 t/an t = tonne

On projette actuellement de faucher chaque année le tiers de la surface totale, soit 260 ha environ. Nous avons admis comme hypothèse une récolte annuelle totale de 1800 tonnes. Il est possible que ce chiffre soit sous évalué, puisqu'on récolterait ainsi le résultat de la croissance des végétaux durant trois ans.

La densité de la végétation que nous avons réceltée dans une prairie à choin et une pseudoroselière s'élevaient dans tes 2 cas à quelques 35 kg/m³. On peut donc estimer que le volume brut de la végétation fauchée chaque année se chiffrera autour de 50 000 m³.

# Littérature

Antoniazza M.		Les oiseaux-nicheurs des marais non-boisés de la rive sud-est du lac de Neuchâtel, travail de licence, inst. de zoologie, Université de Neuchâtel.
Ellenberg	1952	Wiesen und Weiden und ihre standörtliche Bewertung, Ulmer, Stuttgart.
Waller I	1060	Thules des manuscrite misitanu de la misure

Keller L. 1969 Etudes des groupements végétaux de la réserve de Cheyres; Bulletin de la Société fribourgeoise de sciences naturelles Vol. 59.

Klapp E. 1956 Wiesen und Weiden, eine Grünlaudlehre, Paul Parey, Berlin.

POST

1978 Naturwissenschaftliche und gesellschaftliche
Bedeutung von Naturschutz und Erholungsgebieten, Projektarbeit, Projektorientiertes
Studium, Geobotanisches Institut, EPFZ.

Rapport général adjoint à la carte de la végétation et de l'impact de l'homme, étude réalisée sur mandat de la Division de la protection de la nature et du paysage de l'Inspection fédérale des forêts, par les Universités de Neuchâtel, de Lausanne, et l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich, 1977.

Stebler F.G. 1898 Die besten Streuepflanzen, Schweizerisches Wiesenpflanzenwerk, vol. IV, Wyss, Berne.

# Utilisations

# 3.1. Compost

3.1.1 Généralités cf annexe 5.3.

3.1.2 Aptitude au compostage de la végétation riveraine. La végétation de marais présente les caractéristiques suivantes:

- rapport C/N relativement élevé.

roseau 49
marisque 35
choin 64
carex 52 (cf annexe 5.1)

Si'l'on tient à un compostage assez rapide de la matière, il convient d'équilibrer ce rapport et de l'amener aux environs de 30. Une partie de l'azote manquant peut toutefois être fixée à partir de l'air.

- pH bas, ce qui freine l'activité des bactéries et des actinomycètes; l'acidité de cette végétation peut être compensée à l'aide de chaux, par exemple.
- faible teneur en eau.

  Carex et roseau < 20 %, marisque et choin environ 40 %.

  Afin d'assurer un taux d'humidité favorable (~ 45 %),

  il convient de mouiller les tas de compost assez régulièrement; l'apport d'azote sous forme liquide (purin,

  boues de STEP par exemple) est donc doublement positif,

  à la condition de prendre garde à l'écoulement du jus.
- forte teneur en silice.
   roseau 28 à 40 g de Si/kgMS (Stebler) 1898
   carex
   elata 18 g de Si/kgMS

Cet élément agissant sur le pH de la plante, peut selon certains (Stebler 1848 par exemple) en ralentir la décomposition. Notons que la paille est également très riche en silice.

- structure rigide; le roseau et peut-être la marisque doivent être broyés afin de faciliter l'action des microorganismes; le broyage a également l'effet de multiplier la surface d'attaque.

Nous disposons à ce sujet du résultat de quelques expériences:

Des végétaux de marais ont été entassés sans autre traitement par une entreprise de fabrication de terreau de Chevroux; après quelques années, la décomposition n'a pas abouti à la formation de compost mûr.

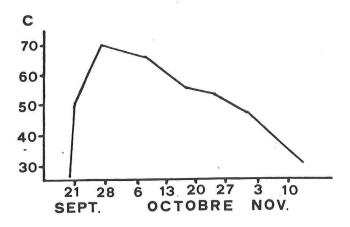
Les tas entreposés près d'Yverdon, d'Yvonand et de Font, à la suite d'essais de fauchage effectués en février 1979, ont peu évolué : les végétaux sont encore aisément reconnaissables et restent très coriaces; on peut observer de nombreuses zones absolument sèches et où aucune décomposition n'est intervenue. On remarque principalement une réduction de volume de moitié environ.

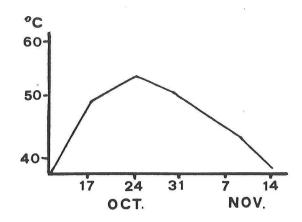
L'institut de recherche pour l'agriculture biologique d'Oberwil (BL) a procédé en été 1979 au compostage d'une tonne de roseau en mélange avec un poids égal de lisier; on a observé lors de la décomposition une réduction de poids de 50 % environ (60 % de celui du roseau, 40 % de celui du lisier); les résultats sont satisfaisants mais il se pose le problème de l'humidification du roseau, la structure de celui-ci permettant difficilement la rétention de liquides.

A partir de 20 m<sup>3</sup> de végétation riveraine contenant 40 % de choin, 30 % de roseau et 30 % de marisque, nous avons fait effectuer à l'usine de compostage d'ordures ménagères de Bienne (MURA) l'essai suivant:

tas 1: formé le 20 septembre 1979
arrangement en sandwich (couches de 10 cm
d'épaisseur) avec un volume égal de compost d'ordures, adjonction le 21 septembre de 90 l de boues de STEF (apport
d'azote et de microorganismes).

# Evolution de la température :





La durée d'observation des ces tas est très courte; le résultat final de ces essais ne sera connu que dans plusieurs mois; l'adjenction d'un volume égal de compost d'ordure permet mal de dégager des conclusions; on peut toutefois mettre en évidence les éléments suivants :

- le retournement des tas (qui n'a pas été effectué a Bienne à cause d'an manque de place) parait s'imposer puisqu'après une période de deux semaines environ la température (et denc l'activité des microorganismes) a faibli.
- la température extérieure et les pluies fréquentes dès la mi-octobre ont un effet assez important sur le déroulement du compostage (le deuxième tas, formé plus tard, n'a jamais à atteint les températures optimales).
- la formation de couches homogènes (tas 1) a permis la création, à l'intérieur des "tranches" végétales. de zones sèches, compactes, imperméables à l'effet du compost d'ordures et où les plantes ne se sont quasiment pas décomposées. Bien qu'ayant commencé plus tard et n'ayant pas été le siège d'une activité microbienne intense, le compostage qui s'est déroulé dans le tas No 2 a permis une décomposition bien plus forte de la végétation. Le mélange est donc préférable ici à la formation de couches; la hausse de température observée durant les premiers jours dans le premier tas est sans doute en majeure partie dût à l'activité des microorganismes dans les couches de compost d'ordure.

à notre demande, l'usine de compostage de Penthaz a procédé au traitement séparé de roseaux (broyés) et de choin, mélangés à 50 % à du compost d'ordures. Les tas ont été formés au début du mois d'octobre. Ici également le processus est loin d'être terminé; cet ossai apporte néabnoins les enseignements suivents:

- les tas ayant été retournés, la végétation est mioux décomposée qu'à Bienne.
- ce compostage plus avancé provient également du fait que l'on a employé à Penthaz du compost d'ordure ensore en pleine fermentation et recelant de ce fait un spectre plus large et un nombre plus grand de microcrganismes.

- après 6 semaines, le choin s'est généralement un peu mieux décomposé que le roseau broyé; la marisque "(non-broyée) devrait se situer entre deux. Pour le directeur de l'entreprise, ce "pré-essai" apporte des résultats tout à fait favorables.

On estime que le compostage sera terminé en 9 à 10 mois. Cette durée peut certainement être réduite par un retournement fréquent des tas.

Ces observations, bien que fragmentaires, permettent d'affirmer qu'un compostage en quelques mois de la biomasse fauchée dans les marais exige un traitement assez intensif; il est vain d'espérer obtenir rapidement un compost de qualité par un simple entassement des végétaux.

# 3.1.3 Possibilités de compostage

# 3.1.3.1 Compostage sur place

La solution la plus simple (seul entassement de la matière en vrac) est peu réalisable pour deux raisons principales:

- la lenteur de la décomposition obligerait à stocker d'énormes quantités de végétation; le simple fait de traîter la biomasse en 2 ans, amène à doubler le volume de compostage; si l'on admet un délai, probable, de 4 à 5 ans pour l'obtention de compost commercialisable, et que l'on désire employer à cette fin l'ensemble de la végétation fauchée annuellement (environ 50 000 m³ cf 2.2), on constate la nécessité d'un volume de stockage avoisinant les 150 000 m³ (en tenant compte de la réduction de volume qui s'opère en cours de décomposition); ceci correspondrait à un tas de 3m de haut et de 220m de côté.
- la forte teneur en matière organique des jus de percolation et des eaux de ruissellement (cf annexe 5.3) risquerait fortement de polluer la nappe phréatique.

Ces deux éléments obligent à envisager la création d'une véritable installation de compostage comprenant les éléments suivants :

- une aire bétonnée rendant possible le passage de véhicules et le recueillement des jus d'écoulement (donc nécessitant le raccordement à un système d'épuration).

- un broyeur permettant le hachage de la biomatse en vue de la réduction de son volume et surtout de l'accélération de sa décomposition.
- une machine à retourner les tas.
- la possibilité d'arroser les tas.
- une surface couverte pouvant abriter le compost des intempéries.
- une chaîne de conditionnement pour la vente du compost.

Tout ceci négessite bien entendu de considérables investissements. Selon M.O. Schnyder, ingénieur à Pully, et un dirigeant de la Mura, il faut compter 80.— par tonne de compost et par an pour les frais d'investissement et de fonctionnement d'une telle installation (le responsable de l'usine de Penthaz les estime quant à lui bien plus considérables). Il est évident que ce chiffre dépend fortement du volume de production. Selon M. Bühler, constructeur de machines à Uzwil, il ne faut pas compter rentabiliser une usine de compostage avec une production annuelle inférieure à 10 000 tonnes. Il faut également rappeler que les usines existantes équilibrent leurs comptes en prenant en charge les ordures contre paiement d'une taxe. En parallèle, on peut citer les prix de vente tels qu'ils sont pratiqués par la Mura:

Il n'apparaît donc pas absolument exclu d'espérer rentabiliser une telle entreprise en mettant sur le marché du compost d'excellente qualité; toutefois, à côté de l'effort que nécessiterait un tel investissement, il faut souligner l'aspect contraignant d'une solution de de genre : l'éventuelle remise en question de la fauche des marais serait incompatible avec l'obligation d'amortir et donc de faire fonctionner et d'alimenter en végétaux frais l'installation une fois créée.

# 3.1.3.2 Prise en charge par l'agriculture locale

a) Agriculture traditionnelle

Dans ce secteur, les amendements organiques s'effectuent généralement sous les formes suivantes : déjections

animales (purin, lisier, fumier), enfouissement des résidus de récolte (paille, cannes de maîs p.ex.) ou des déchets de taille (branches, sarments), engrais vert, apport de tourbe, de boues d'épuration ou de compost. Alors que l'utilisation de compost d'ordures en viticulture commence à se développer, la préparation de compost par le paysan lui-même ou la pratique de compostage en surface, malgré les avantages qu'elles présentent (cf chap. 3.6.2 et annexe 5.3) sont encore peu répandues.

Ces techniques peuvent toutefois rencontrer un écho favorable auprès d'agriculteurs pratiquant des cultures intensives (vigne, arboriculture, maraîchage), grandes consommatrices d'humus et qui, représentant souvent la seule branche d'exploitation, ne trouvent pas au domaine-même les sources d'humus traditionnelles (paille, déjections animales). Ces cultures, ayant un haut rapport financier par unité de surface, sont souvent les seules à justifier l'achat et l'apport de tourbe, de compost d'ordures ou de fumier déshydraté.

Occupant une bande de 7 à 14 km de largeur le long de la rive sud du lac de Neuchâtel, les districts vaudois d'Yverdon, Payerne et Avenches, fribourgeois de la Broye ont un secteur agricole présentant les caractéristiques suivantes:

Districts	Nombre d'exploi- tations	Possesseurs de bovins	Surface agricole utile (ha)	Surface (ha) des cultures spéciales (vigne, arbo- riculture, cult: maraîchères)
	1	2	3	4
Avenches	292	192	3590	61
Broye	994	747	11080	68
Payerne	513	413	7742	10
Yverdon	613	449	10491	181
TOTAL	2412	1801 ( = 75% de 1)	32903	320 ( = 1% de 3)

(Source: Bureau fédéral des statistiques 1976, Recensement fédéral des entreprises 1975, Agriculture vol. 1 et 3.) Comme on le constate, la surface affectée aux cultures intensives est relativement faible; le nombre des exploitations ayant plus de 25 % de leur surface occupée par de telles cultures s'élève à 155 (soit 6,6 % du nombre total d'exploitations agricoles de la région), ce qui est également peu considérable. D'autre part, la proportion d'agriculteurs possédant du bétail est importante. On peut donc s'attendre à ce que l'offre et la demande en matière organique soient bien équilibrées et que l'agriculture de la région soit en mesure de couvrir elle-même ses besoins dans ce domaine. Dans les circonstances actuelles, les agriculteurs locaux ne voient pas un grand intérêt à la prise en charge de végétation riveraine, ce qui nous a été confirmé par les vulgarisateurs de l'endroit.

# b) Agriculture biologique

Renonçant à l'emploi de fertilisants minéraux de synthèse artificielle, les paysans biologiques ont de grands besoins en matière organique. Les possibilités de son utilisation sont très variées et vont du compostage en tas à l'épandage frais en vue du compostage en surface, en passant par plusieurs systèmes de semi-compostage.

Nous avons pris contact avec une association romande regroupant une vingtaine d'agrobiologistes (Progana: produits garantis naturels). Ceux-ci se heurtent actuellement à des problèmes d'approvisionnement en matière organique; ils ne disposent généralement pas de source régulière et doivent se ravitailler par exemple auprès d'élevages de chevaux ou acheter de la paille. Ce manque constitue actuellement le principal obstacle cultural au développement de ce type d'agriculture. La possibilité d'utiliser la biomasse fauchée dans les marais du lac de Neuchâtel permettrait de résoudre, en partie du moins, ce problème et rencontre, semble-t-il, un accueil des plus favorables.

Les 22 exploitations faisant partie de Progana regroupent 210 hectares; les besoins en compost peuvent être évalués à 30 tonnes par hectare et par an, soit à plus de 6000 tonnes pour les 210 hectares. Ceci est une estimation purement théorique; les surfaces occupées par des prairies ne devraient pas figurer dans ce calcul; d'autre part, il faut tenir compte des autres matières entrant dans le compostage.

Afin d'apprécier plus exactement les possibilités d'utilisation existant ici, nous avons pris en considération 6 de ces exploitations situées à Molondin, Villeneuve, Middes, Lentigny et Eissy. Elles se trouvent à une distance de 10 à 20 km du lac de Neuchâtel et occupent 75 ha, dont un peu plus de la moitié (40 ha environ) en terres ouvertes, donc susceptibles de bénéficier d'un apport de compost. Elles pourraient absorber ensemble 1200 tonnes de compost par an. Préparée comme pour l'essai effectué à Oberwil, à l'aide d'un poids égal de lisier et de végétaux, et perdant en cours de fermentation 50 % de son poids initial, cette qualité de compost nécessiterait l'adjonction de 1200 tonnes de végétation riveraine.

L'emploi de végétation pure, pas ou peu décomposée, comme couverture nourricière permettrait l'utilisation de volumes plus important.

Pour faciliter le transport et pour supprimer ce travail aux agriculteurs, il serait favorable de broyer la biomasse avant son chargement.

Le prix de transport de cette matière s'établirait entre 30.- et 50.- la tonne, soit 3.- à 5.- le m³ (cf annexe 5.2); les agriculteurs seraient disposés à payer jusqu'à 2.- par m³, ce qui, dans le meilleur des cas, pourrait couvrir une bonne partie des frais de transport.

Cette solution nous paraît mériter l'attention puisque, à côté d'un coût relativement peu élevé, elle permettrait de soutenir un groupe expérimentant des méthodes mieux intégrées à notre environnement et à une conception globale de la société que celles pratiquées par l'agriculture classique; de plus, ce secteur pourrait absorber une partie relativement importante de la végétation fauchée.

- 3.1.3.3 Prise en charge par des usines de compostage
- a) Entreprise de fabrication de terreau de Chevroux:
  Cette usine a fait, il y a quelques années, un essai de compostage de roseaux; n'ayant vraisemblablement pas fait l'objet de soins suffisants, l'essai s'est avéré négatif. Son directeur actuel n'est pas disposé à le renouveler. La capacité de l'installation est pleinement utilisée et on y semble le plus intéressé par le mélange de matériaux directement utilisables (engrais, tourbe par exemple) que par le compostage de matières brutés.

Bien que située favorablement, cette entreprise n'est pas disposée actuellement à prendre en charge la végétation des marais. b) Etablissement de tissage de roseaux Stroba de Kempttahl Désirant composter les déchets de fabrication de claies et autres produits manufacturés à l'aide de roseaux, cette firme a besoin d'une biomasse supplémentaire pour rentabiliser cette opération. Elle se déclare intéressée à faire venir depuis la région du lac de Neuchâtel une certaine quantité de végétation riveraine. Afin que les coûts de transport par train entre Estavayer et Kempttahl (400.- par wagon de 50 m³) soient couverts, il lui faudrait disposer de 2500 m³ au moins chaque année.

La Stroba souhaite recevoir la matière bottelée ou broyée; il faudrait donc compter, en plus du cammionnage entre le lieu de fauchage et Estavayer, avec des frais de conditionnement allant jusqu'à 30.- par tonne environ.

- c) Usines de compostage de Bienne et Penthaz
- Bienne: produisant annuellement 20 000 tonnes de compost chaque année, la Mura pourrait se charger du traitement d'une partie de la végétation. Afin d'en mesurer l'aptitude au compostage, on y a procédé à un essai avec 20 m³ de biomasse; le résultat final n'en est pas encore connu, le responsable du secteur s'est toutefois dit intéressé à tenter d'incorporer dans la chaîne de production un volume plus important (environ 100 m³) en début d'été 1980; la matière que nous leur avons amenée a en effet été traîtée de manière artisanale, il serait important de voir son comportement dans le processus industriel de compostage.
- Penthaz: l'essai commencé cette année s'est déjà avéré, selon les termes du responsable de cette usine, tout à fait concluant; ce dernier est pret à prenare 2 à 3 centaines de tonnes de végétation riveraine dès 1930.

L'adjonction de tels végétaux à des tas de compost d'ordures permettrait, semble-t-il, d'en améliorer la constitution; leur structure rigide devrait assurer un apport d'air plus régulier dans les tas. (ceci est surtout valable pour le roseau, même broyé en tronçons de 4 à 5 cm de longueur) et donc de restreindre le nombre d'opérations de retournement nécessaires.

Les entreprises ont conscience de remplir un service en favorisant le recyclage de la matière organique, considérée jusque là comme déchet; ils la prennent en charge contre paiement (dans le cas des ordures méragères) ou au mieux gratuitement (écorces, fumiers de champignonières). Les responsables de la fauche auraient donc à subvenir au conditionnement (broyage souhaité) et au transport de la végétation. Celui-ci coûterait, par camion, de 30.- (bottelé) à 50.- ou 90.- (broyé) la tonne. Le transport de la matière broyée par chemin de fer entre Estavayer et Penthaz reviendrait à une trentaine de francs la tonne (cf annexe 5.2). La Mura étant trop éloignée de la gare de Bienne, le transport par chemin de fer vers cette ville n'a pas été envisagé.

#### 3.1.4 Conclusions

Le compostage de la végétation riveraine présente les avantages suivants :

. la matière n'a pas besoin d'être récoltée sèche, elle peut donc être fauchée en toute saison;

 le compostage permet un véritable recyclage de la végétation;

. il rencontre un grand intérêt dans l'agriculture biologique

. cette technique va probablement prendre de l'importance à plus ou moins long terme.

Par contre, cette utilisation se heurte à ces difficultés:

- . la végétation riveraine ne peut être compostée extensivement sur place;
- . aucune des possibilités d'écoulement ne permet de couvrir les frais de conditionnement et de transport.

Parmi les possibilités d'écoulement énumérées ci-dessus, la fourniture de végétation aux agriculteurs biologiques nous paraît particulièrement intéressante; les autres issues envisageables (livraison aux usines de compostage) doivent à nos yeux être conçues dans les circonstances actuelles comme "solutions de secours" permettant l'évacuation de végétaux ne se prêtant pas à d'autres formes de mise en valeur.

#### Littérature

Bureau fédéral des statistiques 1976,

Stebler F. G. 1898

Recensement fédéral des entreprises 1975, Agriculture vol 1 et 3.

Die besten Streuepflanzen, Schweizerisches Wiesenpflanzenwerk vol IV, Wyss, Berne

# 3.2 Litière

#### 3.2.1 Généralités

Les marais ont longtemps été utilisés comme source de litière pour le bétail.

Pleinement exploitées à cette fin durant la 2<sup>ème</sup> Guerre mondiale, les prairies à litière ont été peu à peu délaissées ces dernières années. En 1978, seuls 36 hectares ont étés fauchés dans ce but (Roulier 1979).

Les causes de ce désintéressement résident dans l'accroissement de la culture céréalière qui permet de disposer de quantités de pailles plus importantes et dans l'amélioration pour la Suisse des termes d'échange, ce qui facilite les importations de paille. Enfin, le fauchage des marais nécessitait une main d'oeuvre agricole importante qui fait aujourd'hui de plus en plus défaut.

Lors d'années exceptionnellement sèches, le besoin de litière se fait de nouveau sentir; en 1976, par exemple, de nombreux agriculteurs se sont intéressés à la fauche des rives du lac.

Il est assez étonnant de relever qu'à la fin du siècle dernier, suite à l'effondrement du prix des céréales qui a poussé massivement les paysans à se tourner vers l'élevage, ce qui a simultanément créé une hausse de la demande et une baisse de l'offre de litière, celle-ci faisait cruellement défaut, en Suisse orientale notamment. Ce manque était tel qu'on préconisait la transformation de surfaces fourragères en prairies à litière; on peut relever dans certains manuels des conseils pour la plantation de roseaux ou le semis de carex (Stebler 1886 et 1827). Inutile de souligner que de tels propos vaudraient aujourd'hui un internement rapide à leurs auteurs!

# 3.2.2 Valeur de la végétation riveraine comme litière

Les plantes utilisées comme litière doivent présenter les caractéristiques suivantes :

- fournir aux animaux une couche sèche et tendre;
- permettre l'absorption et le mélange des déjections liquides et solides;
- être facilement décomposables;
- apporter des éléments nutritifs au sol lors de l'épandage du fumier.

Les espèces à faible croissance (choin, carex, canche bleue (Molinia coerula)) répondent au premier critère, alors que le roseau et la marisque sont plus rudes.

Le pouvoir absorbant du roseau (253 % du poids initial), de la grande laîche (300 %) et de la canche bleue (280 %) est relativement bon (paille de seigle : 320 %), tandis que celui du choin et de la maris ue surtout est faible. Signalons ici que le jonc (Juncus obtusifolius) se caractérise par un pouvoir d'absorption de 400 %.

Pour les raisons déjà mentionnées au chapitre 3.1, ces végétaux se décomposent relativement difficilement; les excréments des animaux abaissent toutefois sensiblement le rapport carbone-azote (C/N du lisier : 11, Wirz 1980) et ont tendance à neutraliser le pH.

Globalement, la végétation riveraine est plus riche que la paille en azote, magnésium et calcaire, alors que leurs teneurs en potassium et phosphore sont semblables; le Carex elata a un taux de potassium particulièrement intéressant (cf annexe 5.1 et Stebler 1898).

Sur la base de ces critères, deux auteurs ont évalué la valeur comme litière de quelques espèces :

		Stebler 1898	Ellenberg 1952	
roseau ·	ι.	. bonne	faible	
grande laîche		très bonne	bonne	
marisque		faible	bonne	
choin		faible	bonne	
jone		très bonne		
canche bleue		très bonne		

Les divergences que l'on peut relever dans ces évaluations proviennent sans doute de l'évolution de l'importance que l'on attribue à chaque critère. Au siècle dernier, le pouvoir absorbant des végétaux déterminant la quantité de litière à étendre était probablement décisif, alors qu'aujourd'hui on attache plus d'importance à la finesse et à la rapidité de décomposition des espèces.

On peut mentionner les expériences actuelles suivantes :

- l'office pour la protection de la nature (Fachstelle für Naturschutz) du canton de Zurich fauche chaque année 120 hectares de prairies à litière; la biomasse est prise en charge par des paysans; ceux-ci rechignent à prendre des lots trop riches en marisques ou en roseaux;

- M. Bonny, agriculteur à Grandcour, pratique le tissage de roseaux; il utilise les déchets de tissage (roseau pur) comme litière pour ses vaches et s'en déclare satisfait; il ne signale aucun problème sanitaire ou de propagation de semence de roseau dans les champs;

- M. Burla, agriculteur à Cudrefin, emploie ainsi de la végétation fauchée dans des prairies à choin; selom lui, il convient de l'étendre en moins grandes quantités que de la paille; par contre sa vitesse de décomposition est plus lente; il en vend également une partie à un prix (12.- par quintal) avoisinant celui de la paille (15.-/q).

Au vu de ce qui précède, nous estimons que la végétation fauchée dans les prairies à grandes et petites laîches (sauf celles à marisques) et éventuellement dans une partie des roselières serait utilisable comme litière. On disposerait ainsi d'une quantité annuelle d'environ 650 tonnes, correspondant à la production de 150 hectares (cf chapitre 2.2) employable de cette manière.

La végétation devrait être récoltée, séchée puis bottelée afin d'en faciliter le transport. Ceci pose des exigences quant à la période de fauchage, qui devrait se situer en septembre, au début octobre ou éventuellement en mars.

La végétation riveraine étant très tardive en général (floraison du roseau en août-septembre par exemple), il convient de prendre garde à ne pas faucher trop tôt si l'on ne veut pas risquer de détruire certains peuplements végétaux. Stebler, quant à lui, conseille de ne pas faucher les marais avant la mi-septembre (Stebler 1898, Ellenberg 1952).

Cette utilisation peut donc poser des problèmes de compatibilité avec les impératifs de sauvegarde du milieu.

#### 3.2.3 Commercialisation

Les régions de montagne sont traditionnellement vouées à l'élevage, ce qui implique de gros besoins en litière. Comme, pour d'évidentes raisons climatiques, la culture des céréales ne peut s'y développer, ces zones doivent importer de grandes quantités de paille, notamment à partir du Plateau suisse. C'est ainsi que la plaine vaudoise contribue au ravitaillement en litière de la Gruyère, du Pays d'Enhaut, du Simmental et de l'Emmental.

Cette fourniture vaudoise est assurée au tiers environ par des entreprises privées et aux deux tiers par l'UCAR (Union des coopératives agricoles romandes) dont le siège est à Lausanne. On peut l'évaluer à quelques 7500 tonnes par années. L'UCAR achète la paille 10.-le quintal au producteur et la revend 15.- à l'éleveur, la différence couvrant les frais de transport.

Jugeant avantageux que l'UCAR, qui dispose d'un marché important et d'une bonne expérience dans le domaine, assure la commercialisation de la litière fauchée dans les marais de la rive sud du lac de Neuchâtel, nous en avons amené une quinzaine de bottes au gérant du dépôt d'Yverdon, afin qu'il les propose à quelques uns de ses clients. Les intempéries ont malheureusement empêché le départ d'un chargement, il faudra donc se préoccuper vers le début de 1980 des résultats de l'expérience. A première vue, on peut espérer intéresser les paysans de montagne en offrant cette marchandise à un prix inférieur d'à peu près 4.— à celui de la paille; elle pourrait sinsi être prise en charge, bottelée, à 6.— les 100 kg.

Au siège central de l'UCAR, on s'est déclaré favorable à la mise sur le marché, à titre expérimental, de quelques tonnes de litière de marais; ces essais pourraient déjà se dérouler en 1980. Selon les personnes interrogées.

la quantité de 650 tonnes qui serait destinée chaque année à cette utilisation ne poserait pas de problèmes d'écoulement, pour autant, bien entendu, que sa qualité corresponde à l'attente des paysans. Il semble même envisageable qu'une partie des roseaux soit bottelée puis proposée aux engraisseurs de bétail pratiquant la stabulation libre.

Les quantités fauchées en septembre pourraient rapidement être prises en charge, ce mois correspondant à la période de plus grande demande de litère, les paysans désirant compléter leurs réserves avant l'hiver. Il ne devrait donc pas se poser de problèmes de stockage.

L'opération aurait également l'avantage d'être légèrement bénéficiaire : en se basant sur un prix de vente à l'UCAR de 60.-/tonne et sur des frais de bottelage de 30.-/tonne (cf annexe 5.2), on obtient un bénéfice de 30.-/tonne, soit pour une quantité de 650 tonnes, une somme annuelle de 19°500.- qui pourrait être affectée à la fauche.

En conclusion, cette utilisation aurait le mérite de correspondre à un besoin actuel et de laisser un certain bénéfice. Elle exige par contre des périodes de fauche précises. Elle permettrait d'écouler le tiers de la végétation fauchée correspondant à la production des trois quarts de la surface entretenue.

Il conviendrait de mettre sur pied en 1980 des essais de bottelage qui permettraient également à l'UCAR de tenter la commercialisation à petite échelle de la litière.

## Littérature

- Ellenberg H. 1952, Wiesen und Weiden und ihre standörtliche Bewertung, Ulmer, Stuttgart
- Roulier C. 1979, Essai de fauchage des prairies à laîches de la rive sud du lac de Neuchâtel, Groupe de travail "rives du lac de Neuchâtel, LSPN, étude n° 5
- Stebler F.G. 1886, Anlage von Streuewiesen, tiré du "Landwirt" n° 48 et 49
- Stebler F.G. 1887, Ueber Anlage und Behandlung von Streuewiesen und die Beschaffung von Streuematerial, Meyer, Lucerne
- Stebler F.G. 1898, Die besten Streuepflanzen, Schweizerisches Wiesenpflanzenwerk Vol IV, Wyss, Berne

# 3.3 Biogaz

- 3.3.1 Généralités (cf annexe 5.4)
- 3.3.2 Valeur de la végétation de marais pour la production de biogaz

Le pH est bas et nécessite des corrections importantes. Le rapport carbone-azote (cf annexe 5.1) se situe audessus de 30 qui est considéré comme la valeur la plus favorable; on peut y remédier en laissant une partie des boues produites au cours de la digestion précédente. Le temps de dégradation de la matière est relativement long mais peut probablement être raccourci par un broyage fin de la végétation.

Utilisée broyée en mélange avec du purin ou des boues de STEP, celle-ci serait certainement une source de carbone augmentant la productivité de leur digestion.

## 3.3.3 Essai

Avec la collaboration de MM Jacquier et Lack (adresses cf annexe 5.5), nous avens mis sur pied un essai de production de biogaz dans leur installation d'Yvonand à partir de végétation fauchée 6 mois auparavant dans la réserve de Champittet, composée de marisque et de laîche éleyée. Cette matière a subit un précompostage, ce qui facilite l'attaque bactérienne.

L'installation de digestion comprte un bac isolé thermiquement et maintenu à une température de 34°C contenant les cuves de fermentation. Le gaz produit passe par un compteur puis est stocké dans un gazomètre.

Déroulement de l'essai :

- 2.10.79 Début de l'essai, une cuve est remplie avec 5 kg de matière végétale hâchée à l'aide d'une ensileuse, 57 l d'eau froide, 20 g d'actizyme (ensemencement de microorganismes);
- 3.10.79 Le pH est de 5.5, 20 g d'actizyme et 0.4 l de lait de chaux sont rajoutés;
- 4.10.79 Le pH est de 6.5, adjonction de 20 g d'actizyme;
- 5.10.79 Le pH est redescendu à 5.5, nouvel apport de 20 g d'actizyme et de 0.4 l de lait de chaux;
- 6.10.79 Le pH est de 12, on ajoute 20 g d'actizyme et 2 l de vinaigre;

7.10.79 Le pH est de 11, incorporation de 2 kg de végétation broyée et de 20 g d'actizyme;

19.10.79 PH à 5.5, adjonction de 0.4 l de lait de chaux;

20.10.79 Le pH est de 7, on rajoute 20 g d'actizyme.

On a donc mis dans l'installation:

- 7 kg de matière végétale,

- 57 1 d'eau,

- 140 g d'actizyme,

- 1.2 l de lait de chaux

- 2 1 de vinaigre

La production de gaz débute le 29.10.79, soit 27

jours après le début de l'essai.

On assiste par la suite à une augmentation progressive de la production de gaz qui se stabilise enfin à 10-15 l par jour.

Le gaz, selon une analyse effectuée le 9.11.79,

contenait environ 20% de CO.

Le 23.11.79, la production totale s'élevait à 220 l, soit une moyenne de 6.5 l par jour depuis le début de la production de gaz.

Le gaz produit brûle très bien.

Les conclusions que l'on peut tirer à ce jour sont les suivantes :

Il a fallu un temps relativement long pour observer une production de gaz. Ceci est probablement dû à l'acidité de la matière organique rendant difficile l'obtention du pH optimum; le broyage aurait pu être plus fin.

Cet essai apportera les renseignements supplémentaires suivants :

- temps de décomposition total,
- volume total de gaz produit.

# 3.3.4 La production de biogaz

## 3.3.4.1 Dans les exploitations agricoles

La production de biogaz de fumier est, dans la région qui nous occupe, en train de sortir du stade expérimental pour passer aux réalisations pratiques. On peut prévoir que le nombre des installations réalisées dans des exploitations agricoles va augmenter rapidement. L'Etat de Fribourg a par exemple pris la décision de subventionner la création d'une dizaine d'installations productrices de biogaz (comm. pers. de M. Lancoud, vulgarisateur agricole à Grangeneuve FR).

La végétation riveraine pourrait représenter une source de carbone appréciable dans les cas où le rapport carbone-azote de la matière à disposition serait trop bas; il est de 10 environ pour du lisier

ou du purin par exemple.

Son utilisation dans des digesteurs à alimentation continue pourrait cependant se heurter à des problèmes techniques; la matière organique doit en effet y être introduite sous forme pratiquement liquide; pour obtenir cet état, il faudrait envisager un précompostage suivi d'un broyage fin.

Dans le cas de digesteurs en discontinu, ce problème ne se poserait pas, la matière organique étant chargée en une fois. En Suisse, on semble plutôt préconiser la construction de systèmes du premier type.

#### 3.3.4.2 Avec des ordures ménagères

Des essais sont actuellement en cours dans le canton de Neuchâtel pour déterminer la possibilité d'utiliser les ordures ménagères comme source de biogaz. (comm. pers. Prof. Aragno, Université de Neuchâtel)

Si cette éventualité devait se concrétiser et se généraliser, le traitement simultané de la biomasse fauchée pourrait être envisagé. Il ne faut cependant pas espérer trouver là une utilisation de la végétation de marais à court terme; les essais n'en sont qu'à leurs débuts.

# 3.3.4.3 Traitement séparé de la végétation riveraine

La construction d'un digesteur dans la région en vue de traiter l'ensemble de la végétation fauchée nous semble encore moins justifiée que celle d'une aire de compostage. L'investissement serait très important, la production du gaz sans doute assez lente et soumise à des imperfections techniques pas encore résolues. De plus, l'évacuation et l'écoulement du liquide résiduel (représentant environ dix fois le volume de la biomasse méthanisée) poserait de sérieux problèmes.

#### 3.3.5 Conclusions

Les possibilités d'utilisation de la végétation de marais pour la production de biogaz dépendent de l'évolution de la situation dans ce domaine. Actuellement, la construction de grandes installations se heurte encore à certains problèmes comme celui de l'importance des investissements nécessaires et celui de l'étanchéité des cuves pas encore garantie à long terme, ce qui peut entrainer une mauvaise digestion de la biomasse, voir même des risques d'explosion. D'autre part, la question de la valeur agricole des liquides résiduels n'est pas encore définitivement éclaircie; les essais en cours à la station fédérale de Liebefeld permettront peut-être de la résoudre.

Une évolution favorable de la situation permettrait certainement qu'un tonnage non négligeable de la biomasse fauchée soit utilisé dans les installations de méthanisation comme source de carbone. Il est toutefois encore trop tôt pour avancer des chiffres précis quant à la demande en végétation riveraine qui pourrait se manifester.

## Littérature :

Chareyre R. 1979, La maison autonome, Ed. Alternatives et Parallèles, Paris Ducellier et Sauze, Le méthane biologique, Ed. CLEODE Mouchet P.A. 1979, Le biogaz, oui mais..., Service romand de vulgarisation agricole

#### 3.4 Combustible

#### 3.4.1 Généralités

Un des grands problèmes actuels est celui de notre approvisionnement énérgétique et en particulier de notre

dépendance à l'égard du pétrole.

Des études ont été entreprises en Suède afin de déterminer la valeur comme combustible du roseau et la possibilité de transformer une certaine surface de prairies à laîches en roselières qui seraient ensuite fauchées annuellement pour cet usage.

Signalons que la fauche des roselières s'effectue dans ces régions à l'aide de machines amphibies pouvant contenir 30 m de roseaux en gerbes et exerçant alors sur le sol

une pression de 100 gr/m<sup>2</sup>.

Les Suédois prévoient le broyage des roseaux qui seraient ensuite utilisés comme combustible. (Björk et al. 1978)

Nous avons déjà évoqué la possibilité d'utiliser la matière végétale comme litière.
Les conditions requises quant à son état pour pouvoir l'employer comme combustible sont sensiblement les mêmes.
Elle doit être sèche, c'est à dire contenir moins de 30 % d'eau. Elle peut être bottelée ou broyée en vue du transport et du stockage.

L'utilisation comme combustible a l'avantage d'être possible, spécialement sous forme broyée, pour toute la végétation, y compris les buissons et les arbustes.

Des systèmes de chauffage à la paille ou à l'aide de bois broyé sont déjà bien répandus. Du bois dont l'épaisseur dépasse 1.5 cm nécessite l'emploi de déchiqueteuses spéciales. La firme Schmid SA à Pully possède une telle installation montée sur camion et commercialise des systèmes de chauffage fonctionnant au bois broyé.

## 3.4.2 Pouvoir calorifique de la végétation riveraine

Les résultats des analyses faites en bombe calorimétrique (cf annexe 5.1) montrent que les espèces possèdent un pouvoir calorifique variant entre 3600 et 4500 kcal par kilo de matière sèche, c'est à dire se situant entre celui de la paille (3550 kcal/kg) et celui du bois (4500 kcal/kg).

On remarque que celui du roseau, difficilement utilisable en litière, est le plus élevé.

2.5 à 3 kg de végétation riveraine ont le même pouvoir calorifique que 1 kg de mazout, 2.2 kg de bois ou 1,8 m de biogaz.

#### 3.4.3 Installations

Il existe actuellement de nombreuses entreprises fabriquant des chaudières polycombustibles qui permettraient l'utilisation de la végétation aquatique.

Trois modes seraient possibles:

- 1. La chaudière est remplie directement avec les bottes. Une botte peut brûler pendant l à 5 heures.
- 2. Une alimentation en continu comprend un broyeur dans lequel on met la matière bottelée.
- 3. La matière broyée est stockée dans des silos et est utilisée avec alimentation en continu.

Généralement l'installation est complétée par un stock d'eau chaude bien isolé qui permet de régulariser les apports de chaleur et un brûleur à mazout fonctionnant au cas où l'installation ne fournit pas assez de chaleur.

Exemples d'installations proposées par la fabrique danoise Passat : c.f. page suivante.

#### 3.4.4 Utilisations potentielles

1. Par les agriculteurs.

Les agriculteurs qui disposent déjà eux-mêmes d'une certaine quantité de matière organique utilisable comme combustible sous forme de bois, sarments, paille etc, pourraient venir chercher la végétation aquatique dans le but de se rendre indépendants des combustibles fossiles

2. Pour de grandes installations.

La caserne de Moudon va être dotée d'une installation de chauffage au bois et en utilisera une quantité estimée à 120 stères par an.

Le pouvoir calorifique de cette quantité de bois équivaut à celui de 62 000 kg de végétation aquatique soit environ 850 m<sup>3</sup> broyée.

Coûts comparatifs:

Transport du bois sur 30 km à 25.- la tonne

1200.-

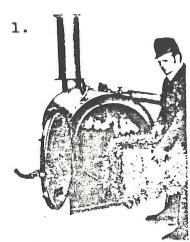
120 stères à 40.-

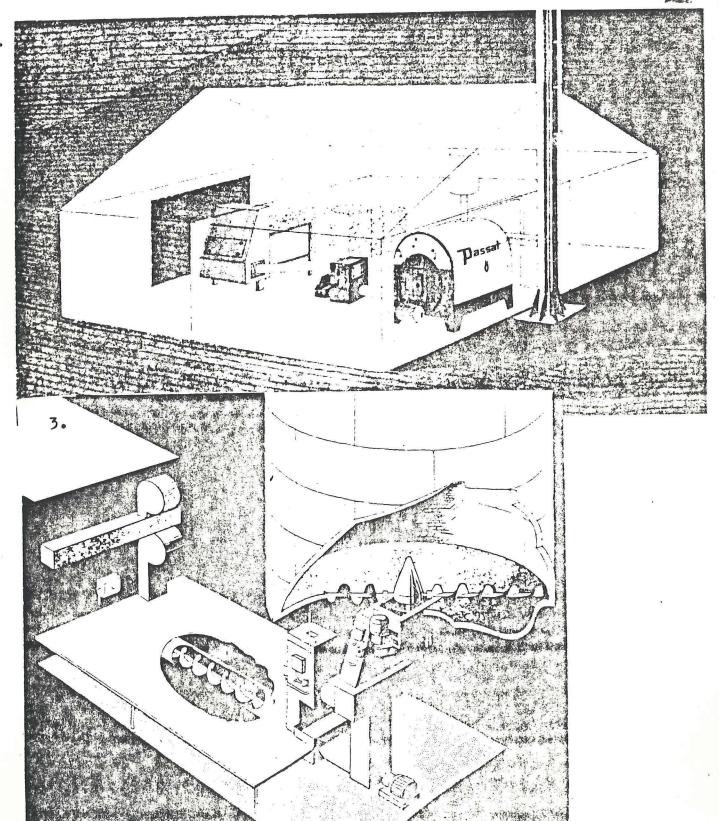
480C.-

TOTAL 6000.-

Exemples d'installations de la maison PASSAT

- 1. Erulé en bottes.
- 2. Bottes broyées, alimentation en continu.
- 3. Matière broyée: convient aussi pour le bois.





Transport des 62 tonnes de végétation aquatique 1550.Prix du bettelage 1860.3410.-

Il resterait théoriquement pour effectuer le fauchage

6000.-- 3410.-

2590.=

scit 41, 5 par torne

# 3.4.5 Equivalences

A partir des données suivantes :

- pouvoir calorifique du roseau: 4480 cal/g

(cf annexe 5.1)
- production de biogaz à partir de roseau : 0.31 m /kg M.S.
(Ducellier et al.)

- pouvoir calorifique du biogaz : 5500 kcal/m<sup>3</sup> (tables)
- densité du roseau en vrac : 0.03 (cf chapitre 2.2)
- densité du roseau broyé : 0.075 (réduction : 2.5x)
- pouvoir calorifique du mazout : 10°CCO cal/3 (tables)

On peut établir : 1) 100 kg de roseau, soit 3.3 m<sup>3</sup> en vrac, 1.3 m<sup>3</sup> broyé ou 6.6 bottes de 15 kg

. dégagent en combustion directe 371°840 kcal, soit l'équivalent de 37.2 l de mazout; 3

soit l'équivalent de 37.2 l de mazout; produisent, après méthanisation, 25.7 m de biogaz, soit 141°515 kcal ou l'équivalent de 14.2 l de mazout

- 2) Si l'on utilise pour le chauffage 1000 kg de mazout, il faudra, pour obtenir le même nombre de calories, brûler 2690 kg de roseau (35 m broyé ou 180 bottes). Si l'on fabrique du biogaz, on aura besoin de 1818 m de gaz, produits par 7 tonnes de roseau; 1m de digesteur fonctionnant en continu pouvant fournir environ l m de gaz par jour, on aura besoin d'une installation de 59 m.
- 3) Pour la cuisson et la production d'eau chaude, il faut compter 0.6 m de gaz par jour et par personne, soit 2.33 kg de roseau; à l'année ceci correspond à un besoin 850 kg de roseau par personne, soit 11.2 m de broyat.

## 3.4.6 Conclusions

Cette utilisation aurait l'avantage de ne pas demander d'installations spéciales, les chaudières pouvant fonctionner avec tous les combustibles solides. Un apport constant de végétation riveraine ne serait donc pas indispensable; elle pourrait être remplacée par de la paille, du bois ou du charbon par exemple.

Les calories obtenues par combustion directe sont 2 à 3 fois plus nombreuses que dans la production de biogaz, pour un poids égal de matière (cf 3.3.4).

Les cendres ne représentent que de 3 à 6 % de la matière fraîche, soit de 1860 à 3720 kg dans notre exemple de la caserne de Moudon. Elles pourraient être utilisées comme engrais.

Le plus grand problème est celui du stockage, qui demanderait, pour les grandes installations, des silos ou des abris pour les bottes importants.

Références :

Sven Björk

Sven Björk and Wilhelm Granéli

Buderus

Ygnis Kessel Ag Luzern ØRum Passat Sønderlyng D.K. Swedish Lake Restoration program Gets results Ambio, Vol. No5 1972

Energy Reeds and the environment Ambio Vol. 7 No 4 1978

Handbuch für Heizung und Klimatechnik Weitzlar 1975

Caractéristiques des combustibles Zentralheizungkessel für feste Brennstoffe und öl

# 3.5. Utilisation des roseaux pour le tissage

Les tiges des roseaux sont utilisées depuis fort longtemps dans la construction sous forme de nattes pour la fabrication des plafonds en particulier.

Si cette utilisation a tendance a être abandonnée, les nattes de roseaux sont encore très demandées pour la fabrication de coffrages, pour la déccration de murs et par les horticulteurs pour protéger les plantes.

Une surface de roselière de 15 ha environ est encore fauchée chaque année pour cet usage en particulier par Mr Bonny de Grand-cour.

Cette surface lui fournit environ le 1/3 de la matière première qu'il utilise. Le reste est importé en particulier en provenance des pays de l'Europe de l'est. Si les corditions le permettaient Monsieur Bonny serait très favorable à l'idée de n'utiliser que du roseau provenant du lac de Neuchâtel.

Nous avons également pris contact avec la maison Stroba à Kempttahl qui fabrique également des nattes de roseau. Cette firme importe à l'heure actuelle la plus grande partie de sa matière première, mais préférerait dans la mesure du possible utiliser du roseau indigène et désirerait également valoriser les déchets de sa production et les autres types de végétation aquatique en fabriquant du compost (voir le chapitre 3.1).

Les prix payés actuellement pour les roseaux propres au tissage par Stroba S.A. sont les suivants :

Pour des gerbes ayant 1 m de diamètre à la base :

#### Hauteur :

1 m 65 : 5.1 m 85 : 6.2 m 05 : 7.2 m 25 : 8.2 m 45 : 9.-

(Ces prix rendent certainement l'opération rentable. Les frais de main d'oeuvre, fauchage et triage ainsi que ceux dûs aux machines varient énormément selon les conditions atmosphériques et l'état de la roselière. Il est difficile de chiffrer le bénéfice éventuel que laisserait une telle opération).

On peut en conclure que le marché est assez important pour utiliser tous les roseaux qui pourraient être fauchés.

Cette utilisation se heurte néanmoins à deux problèmes majeurs. Le premier est celui de la main d'oeuvre. Monsieur Bonny nous dit trouver de moins en moins de gens disposés à travailler dans la roselière à l'époque des grands froids. Ce problème pourrait probablement être en partie résolu par l'utilisation d'une machine amphibie spécifique du genre de celles qui sont actuellement utilisées dans les grandes roselières de Suède, du Danemark, du Neusiedler See en Autriche et du delta du Danube ne particulier (Björk et al 1978). L'utilisation d'une telle machine aurait également l'avantage de permettre une récolte plus rapide et de pouvoir ainsi profiter au maximum des périodes où le temps est favorable.

Le deuxième problème est celui de la qualité des roseaux. Pour être utilisables pour le tissage ceux-ci doivent être exclusivement ceux qui ont poussé dans l'année. Ce qui implique que la surface concernée doit avoir été fauchée également l'année précédente. Les surfaces fauchées actuellement chaque année ont été étudiées du point de vue ornithologique et l'on a remarqué que de nombreuses espèces d'oiseaux les délaissaient (Antoniazza 1979).

Dans quelle mesure pourrait-on sacrifier de ce point de vue les régions où l'atterrissement est très rapide et les faucher chaque année ? Il semble que pour ne pas nuire à l'équilibre naturel ces surfaces devraient de toute manière être assez réduites et réparties en mosaïque.

Dans quelle mesure pourrait-on prévoir des cycles faisant alterner quelques fauchages consécutifs avec des périodes de repos ?

Vaut-il mieux ne consacrer à cet usage que les parcelles qui sont déjà utilisées actuellement ? Ces questions restent à étudier.

## Littérature

Antoniazza M., 1979

Les oiseaux nicheurs des marais non-boisés de la rive SE du lac de Neuchâtel Travail de licence, Inst. de Zoologie, Université de Neuchâtel

Björk S.,

Swedish lake restoration program gets results, Amboi, Vol. 1 No 5

## 3.6. Utilisations diverses

1972

#### 3.6.1 Mulch

Le mulching est un procédé consistant à étendre sur le sol, entre les plantes, une couche protectrice isolante; cette couche peut être végétale (paille, herbe) ou non (pierres, plastique). La fonction du mulch est d'une part de soustraire le sol à l'effet de choc de la pluie et donc de réduire l'érosion due à l'eau, et de l'autre de réduire les pertes par évaporation (l'économie de l'eau peut aller de 50 - 80 %). En dehors de cet effet de protection physique, les agrobiologistes mettent l'accent sur l'action favorable du mulch végétal sur l'activité biologique du sol: il protège le développement des microorganismes contre le rayonnement solaire, il constitue un apport de matière organique, favorise l'activité de la microfaune du sol, atténue les variations de température et facilite la formation d'aggrégats grumeleux, structure du sol optimale. Plutôt que celui de mulch, les agrobiologistes préfèrent le terme de couverture nourricière et l'assimilent à un compostage en surface, qui permet d'éviter l'action défavorable sur la rhizosphère de la décomposition de matière organique enfouie.

Cette méthode est couramment utilisée dans les régions arides. En Camargue, il était d'usage de recouvrir les sols au moment des semis avec de la paille ou des joncs.

> (Deloge et al 1958, Hénin et al 1969, Simon et al 1977, Rusch 1972)

En plus de l'agriculture biologique, dont nous avons déjà signalé l'intérêt pour le compostage de la végétation des marais,

celle-ci pourrait trouver un débouché dans la viticulture. Elle connaît en effet des problèmes d'érosion, dûs à la raideur des pentes et au fait que le sol reste nu durant toute l'année en viticulture traditionnelle. Ceci amène un lessivage important de fertilisants et certainement de produits phytosanitaires et d'autre part un surcroît considérable de travail puisqu'il faut "remonter la terre" à chaque automne.

Comme on recommande par exemple l'emploi de 10 à 15 tonnes de paille par hectare (Henin et al 1969), les vignobles de la rive nord du lac de Neuchâtel, occupant quelques 650 hectares, pourraient offrir d'intéressantes possibilités d'utilisation.

On se heurte toutefois aux difficultés suivantes :

- la viticulture traditionnelle pratique deux opérations importantes de travail du sol : le labourage en automne et le débuttage au printemps ; après un laps de temps de 6 mois, le mulch devrait donc pouvoir être enfoui ; ceci n'est pas assuré vu la vitesse relativement lente de décomposition de nos végétaux, cette pratique devrait faire l'objet d'essais approfondis, la possibilité d'accélérer ce processus à l'aide d'un apport d'azote devrait notamment être testée.
- le précompostage dans l'exploitation de la végétation afin de supprimer ce problème entre rarement en ligne de compte, la surface des exploitations viticoles était de manière générale assez restreinte.
- l'épandage du mulch dans les vignes est techniquement assez problématique vu l'importance des quantités à amener ; il conviendrait sans doute d'équiper les domaines de souffleries et d'une tuyauterie telles qu'on en utilise parfois pour l'épandage de compost urbain.
- les distances minimales (10 km entre les marais d'Yverdon et Bonvillars, 25 km entre Cudrefin et Auvernier) sont déjà trop importantes pour que les viticulteurs viennent chercher eux-mêmes une matière aussi volumineuse.
- la tendance actuelle est à l'augmentation de l'écartement des rangées de vigne et à l'engazonnement des surfaces, ou même à la plantation en lignes perpendiculaires à la pente ; ces techniques permettent de résoudre à la source le problème de l'érosion et vont probablement se développer fortement dans le vignoble neuchâtelois.

Ces raisons expliquent le peu d'intérêt envers cette utilisation que nous avons pu constater chez plusieurs vignerons, dont le directeur de la Station fédérale de recherches viticoles d'Auvernier. Il n'est toutefois pas exclu que cette attitude change après une sérieuse campagne d'essais, mise par exemple sur pied en collaboration avec la station de recherches agronomiques de Changins.

## Littérature

Deloge M. et Rebour H. 1958

La conservation de la fertilité des sols - La Maison rustique Paris

Hénin S., Gros R. et Monnier G. 1969 Le profil culturel - Masson, Paris

Simon J.J., Schwarzenbach J., Mischeler M., Eggenberger W. et Koblet W. 1977

Viticulture, - Payot, Lausanne

Rusch H.P. 1972

La fécondité du sol - Le courrier du livre, Paris

#### 3.6.2 Fourrage

Au siècle dernier, la partie supérieure des roseaux était fauchée au mois de juin, puis affouragée aux chevaux (Stebler 1848).

Durant la deuxième guerre mondiale, des paysans de la région du lac de Neuchâtel broyaient de la végétation de marais, puis la donnaient comme fourrage à leur bétail.

Ces deux faits permettent d'envisager l'utilisation de la végétation riveraine pour l'alimentation animale.

Une étude plus récente (Ellenberg 1952) lui attribue toutefois une mauvaise valeur fourragère, qu'elle soit employée fraîche ou sèche.

De manière très simplifiée, la valeur d'un fourrage dépend des facteurs suivants :

- teneur en éléments minéraux; les résultats de l'analyse chimique des végétaux (cf annexe 5.1) permettent de constater qu'ils sont en général moins riches que l'herbe ou le foin (sauf en ce qui concerne le manganèse).
- valeur énergétique : le pouvoir calorifique mesuré à l'aide d'une bombe calorimétrique (cf annexe 5.1) ne permet pas d'estimer le potentiel énergétique réel des végétaux; on ne connaît pas en effet la part d'énergie assimilable par le bétail; la paille, qui est l'aliment sans doute le plus comparable à nos végétaux, contient 0,88 Mcal d'énergie digestible par kilo de matière séche, pour un pouvoir calorifique inférieur de 3,5 Mcal/kgMS. De l'herbe en floraison contient 2,2 Mcal d'énergie digestible /kg de MS, le foin de bonne qualité 2,1 Mcal/kgMS; ces teneurs sont assez faibles en comparaison des 3,8 Mcal/kgMS contenus dans des pommes de terre ou du maïs (Helferich et al 1972).
- teneur en protéine : les 47 à 90 g/kgMS de protéines brutes relevés dans nos végétaux représente une valeur très limitée par rapport à celle des pellets d'un mélange d'herbe et de légumineuses analysés (173 g/kgMS) (cf annexe 1). Du trèfle rouge peut contenir jusqu'à 170 g/kgMS de protéines digestibles, sans parler d'aliments spécifiquement protéiques comme du tourteau de soya ou de la farine de viande pouvant en receler respectivement 530 et 720 g/kgMS (Helferich et al 1972).
- certains fourrages grossiers sont utilisés comme ballast, en vue de la saturation mécanique des animaux; le

principal facteur repose sur les fibres brutes dont les végétaux des marais sont bien pourvus. (roseau 32 %); ceci pourrait en constituer la seule "valeur" fourragère.

On peut corcevoir deux types d'utilisation de la végétation riveraine comme fourrage:

- prise en charge directement par les paysans; ceux-ci disposent cependant de nombreuses seurces de ballast provenant en général de la ferme même (paille, foin); le plus souvent, les animaux couvrent leurs besoins en fibres brutes à partir de la litière sans qu'il soit indispensable d'affourager spécialement du ballast; la plus grande teneur en matière azotée de nos végétaux n'a actuellement pas grande importance, vu la richesse de l'éventail d'aliments riches en protéines à disposition à bon prix.
- séchage et mouture puis utilisation par une usine fabricant des mélanges fourragers; à ce sujet, nous avons procédé à un essai de séchage de choin dans une installation d'Orbe, puis fait parvenir un échantillon à la firme Lactina de Puidoux-Chexbres; cette farine ne soulève actuellement pas d'intérêt, sa valeur comme ballast s'élève au maximum à 20.- le quintal, alors que les frais de séchage seuls montent déjà à 40.-; de plus, cette firme redoute des problèmes d'appétence.

En conclusion, il nous semble que cette utilisation n'entre pas actuellement en ligne de compte. La transformation industrielle engloutit d'énormes quantités d'énergie et d'argent; les paysans n'ont quant à eux pas un grand besoin de source de ballast supplémentaire pour leur bétail.

#### Littérature

Ellenberg 1952

Wiesen und Weiden und ihre Standörtliche Bewertung, Ulmer, Stutgart.

Helferich B. et Gütte S.O. 1972 Tierernährung in Stichworten, Hirt,

Stebler F.G. 1898

Die besten Streuepflanzen, Schweizerisches Wiesenpflanzenwerk, Vol. IV, Wyss, Bern.

3.6.3 Utilisation des roseaux pour la fabrication de pâte à papier

Les pâtes à papier sent fabriquées à partir de végétaux que l'on peut classer en trois catégories :

- 1 Les plantes à textiles : lin, chanvre et jute.
- 2 Les bois
- 3 Les plantes à croissance rapide: paille et alfa qui sont de moins en moins utilisées. Bagasses (canne à sucre) (Porter 1966), bambous et roseaux dont l'utilisation va en augmentant (Martin 1970).

En fait tous les végétaux ayant un taux de fibres suffisant : cellulose, hémicelluloses et lignine pourraient être utilisés pour la fabrication de la pâte à papier.

A l'heure actuelle, seules sont fabriquées en Suisse les pâtes de bois et les pâtes de récupération. Bien que le roseau soit utilisé dans de nombreux pays et que les papiers qu'il permette de fabriquer soient de bonne qualité, un certain nombre de raisons s'opposent à l'heure actuelle à son utilisation dans la région qui nous occupe:

- La fabrication de la pâte qui consiste à dissocier les agglomérats cellulosiques liés par la lignine et à faire apparaître les fibres à l'état individuel peut se faire mécaniquement ou au moyen de divers réactifs chimiques.

Le procédé le plus efficace pour le traîtement des roseaux est celui qui utilise la soude. Il a l'inconvénient de poser de grands problèmes d'odeur et de pollution; le liquide résiduel étant difficile à épurer.

- Les quantités de roseaux qui seraient récoltées ne suffiraient pas à justifier la mise en place des installations nécessaires.

Les papeteries de la région ne sont pas équipées pour traiter ce genre de matériel. Il est toutefois certain qu'une augmentation du prix du bois ou des difficultés d'approvisionnement pourraiert rapidement modifier la situation actuelle et rendre cette utilisation possible.

## Références

J. E. Porter

Une usine indienne de pâte et papiers fins 100 % Bambou La papeterie No 11 1966

G. Martin

Le papier "Que sais-je" No 84 Presses universitaires de France 1970

## 1. Conclusions

# 4.1 <u>Tableau récapitulatif des diverses utilisations.</u>

	Espèces préférables	Récolte de vététation	Condition- nement	<u>Intérêt</u> <u>actuel</u>	Aspect financier
Compost	toutes	sèche ou humide	broyé	grand, surtout chez les agrobiol.	déficitai re
<u>Litière</u>	choin Carex évt. roseau	sèche	pottelé évt. proyé	grand	bénériciai re après bottelage
<u>biogaz</u>	toutes	sèche ou humide	brové	faible peut se développer	<b></b>
Compus- tible	surtout roseau, évt. marisque	sèche	broyé ou bottelé	grand	bénéfici- aire anrès condition- nement et transport
<u>Tissage</u>	roseau de l'année	sèche ou humide	en gerbes	¿rand	
Fourrage,	tou†es	sèche	broyé ou bottelé	faible	défici- taire
Mulch	toutes	sèche ou humide	broyé	chez les agrobiolo.	défici- taire
Pâte à Dapier	roseau	sèche ou humide	broyé	faible	

## 4.2 Solutions envisageables.

A l'heure actuelle, nous considérons comme réalisables les solutions suivantes :

- A Solution "applicable à court terme" (dès 1981)
  Toute la végétation est transformée en compost. L'application de cette proposition nécessite (En 1980 par exemple) des essais de compostage à plus grande échelle (environ 10 tonnes à la Mura, Bienne).
- A<sub>1</sub> Les usines de compostage de Bienne et Penthaz prennent en charge l'ensemble de la biomasse.
- A2 Les usines de compostage de Bienne et Penthaz et les agrobiologistes traitent chacun la moitié de la biomasse.
- A3 Les agrobiologistes prennent en charge l'ensemble de la biomasse.
- B Solution "applicable à moyen terme" (dès 1982). Une partie des végétaux (choin, carex) est utilisée comme litière, le reste est composté.

Ceci implique, en plus des expériences mentionnées cidessus, des essais de commercialisation de litière par l'UCAR. Cette solution exigerait la fauche des prairies à grandes et petites laîches en période sèche.

C Solution "financièrement la plus favorable".

La plus grande partie de la végétation (roseaux, broussailles, marisque éventuellement) est utilisée comme combustible ou comme matériau de tissage (roseaux de l'année seul); le reste (choin, carex) est employé comme litière ou composté (végétation mouillée, marisque).

- C<sub>1</sub> le choin et le carex, éventuellement le roseau sont utilisés comme litière.
  - le roseau et la broussaille, éventuellement la marisque sont employés comme combustible.
  - la végétation récoltée en hiver et la marisque sont compostés.
- C2 idem avec en plus :
   le roseau de l'année est utilisé pour le tissage.

Ces solutions sont comparées dans un tableau figurant à la page suivante.

Ces estimations financières, bien que très schématiques, permettent de conclure qu'à l'heure actuelle, seules les utilisations  $C_1$  et  $C_2$  permettent de retirer un bénéfice pouvant couvrir, en partie du moins, les frais de fauchage. Leur réalisation nécessite toutefois la mise sur pied d'une campagne d'information vi-

- 11		utilisation	quantité	surface	condition- nement	coûts de transport et transformation (cf 5.2)	prix de vente
A 1	Usines de compostaçe	compost	1800 t	260 ha	broyé evtl.batt.	108000 1)	-•-
A 2	Usines Paysans bios	compost compost	900 t 900 t	130 ha 130 ha	broyé/bott. broyé	54000 1) 36000 1)	18000
A 3	Paysans bios	compost	1800 t	26o ha	broyé	72000 1)	36000
В	Choin + carex Reste livré aux agrobios	litière compost	63o t 112o t	150 ha 110 ha	bottelé brové	20100 2) 44800 1)	40800 22400
C 1	Choin + carex loseau	litière combus - tible	63o t 85o t	15o ha 7o ha	bottelé bottelé ou broyé	20400 2)  (différence : +	40800  35000 3))
	Marisque livrée aux agrobios	compost	27o t	40 ha	broyé	10800 1)	5100
C 2	Choin + carex Roseau de l'an Marisque livrée aux a{robios	litière tissage compost	630 t 850 t 270 t	150 ha 70 ha 40 ha	bottelé en gerbes broyé	20100 2) 4) 10800 1)	40800 4) 5400

- 1) Les coûts de broyase sont calculés sans les frais de main d'oeuvre ni de carburant
- 2) Transport pris en charge par l'UCAR
- 3) Estimation avec un transport de 60 km AR et des prix comparables à ceux du bois (cf 3.4)
- 4) La fauche et l'écoulement pourraient être directement pris en charge par Mr Bonny de Grandcour. (cf 3.5)

sant l'expansion de systèmes de chauffage à l'aide de combustibles solides.

Cette solution implique également la fauche en période sèche, ce qui peut aller à l'encontre des exigences écologistes. L'acquisition d'une machine fauchant et récoltant rapidement la végétation pourrait s'avérer indispensable pour l'application de B, C1 et C2.

Il nous semble qu'à titre expérimental et didactique, la création d'installations d'utilisation de la végétation de marais au Château de Champittet près d'Iverdon, acquis dernièrement par la LSPN, serait d'un grand avantage. Cela pourrait contribuer à la prise de conscience, particulièrement dans l'agriculture régionale, de l'importance et de l'intérêt de la prise en charge de la végétation riveraine.

#### 4.3 Recommandations:

#### 1. Autres utilisations

Nous n'avons pas étudié certaines possibilités éventuelles. Entre autres :

- utilisation avec les boues de stations d'épuration suivi ou non d'un compostage et utilisé comme engrais.
- utilisation dans l'industrie et le bâtiment en particulier comme isolant.
- utilisation comme combustible dans une installation d'incinération.
- en cas de frais de transport trop élevés, brûlage sur place; cendres utilisées comme engrais

#### 2. Essais

Les essais qui ont été mis sur pied pour cette étude seront suivis jusqu'à leur terme et feront l'objet d'un rapport complémentaire.

Ce sont : essais de compostage : Mura à Bienne

Fertisol à Penthaz

essais de biogaz : Monsieur Jaquier à

Yvonand.

Certains essais seraient en outre utiles pour avoir une meilleure connaissance du problème.

Ce sont : A. essais de fauchage avec une machine spécifiquement construite pour les zones humides.

B. essais de bottelage et de broyage des différents types de végétation.

- C. étude pour déterminer les moyens de transport les moins onéreux.
- D. essais d'utilisation par les paysans biologiques.
- E. essais de compostage industriel à la Mura.
- F. étude à plus grande échelle des possibilités du marché pour l'utilisation comme litière avec la collaboration de l'UCAR.
- G. étude des possibilités d'utilisation comme combustible dans des installations existantes ou à créer.
- H. essais de production de biogaz dans une installation en continu.

Il nous semble que les points B. C. D. E. et F. seraient à traiter en priorité.

## 3. Agriculture

L'utilisation de la matière végétale fauchée par les agriculteurs de la région est une solution à encourager.

Pour cela, il faudrait une campagne d'information sur la valeur des produits à disposition : litière, mulch, compost et en particulier la diffusion du résultat des essais et un étroit contact avec les services de la vulgarisation agricole.

Les vulgarisateurs de la région MM. Chatelanat et Lancord (voir 5.5) seraient heureux d'assister aux essais à venir.

## 5. Annexes.

## 5.1 Analyse chimique des végétaux

Nous avons procédé à l'analyse de quatre espèces parmi les plus représentées dans les marais de la rive sud du lac de Neuchâtel, ainsi qu'à celle d'une farine de choin et roseau, et à titre comparatif de pellets de maïs et d'un mélange herbager.

L'analyse a été effectué dans les laboratoires ACEPSA d'Oulens. L'azote a été déterminé selon Kjeldahl et les autres éléments minéraux à partir de l'extraction totale des cendres.

Certaines données ont été calculées comme suit :

$$P_2O_5 = P \times 2,285$$
 $K_2O = K \times 1,205$ 
Protéines brutes = N × 6,25
 $C = \text{Matière organique} \times 0,56$ 

Les analyses concernant le pourcentage de fibres brutes par rapport à la matière fraîche ont été menées par les laboratoires de la Station fédérale de recherches pour la production animale de Grangeneuve (FR).

#### Matières analysées :

- roseau (Phragmites communis), diamètre de base de 5 mm, récolté le 17 septembre.
- marisque (Cladium mariscus), fraîche, 180 cm de longueur récolté le 17 septembre.
- choin (Schoenus niger, récolté le 17 septembre
- carex (Carex elata), récolté le 17 septembre
- mélange contenant 85 % de choin, 12 % de roseau et 3 % de marisque, séché dans les installations de l'UCAR à Orbe, récolté et séché le 13 septembre.
- pellets de maïs (plante entière) obtenus aux mêmes séchoirs.
- pellets d'herbe (mélange trèfles-graminées) obtenus aux mêmes séchoirs.

Dans la littérature nous avons obtenus des indications au sujet des substances suivantes :

- paille de blé d'automne.
- foin de prairie naturelle.
- herbe de prairie naturelle en début de floraison.

La farine de choin a également été testée quant à sa teneur en PCB. Celle-ci se situe en dessous des limites de détection de l'appareillage dont dispose l'institut de Génie de l'Environnement de l'EPFL.

Les pouvoirs calorifiques inférieurs ont été établis à l'aide d'essais en bombe calorimétrique à partir de plantes récoltées le ler octobre.

## Littérature

Stebler F.G. 1898

Die besten Streuepflanzen, Vol IV, Schweizerisches Wiesenpflanzenwerk, Wyss, Berne.

Wirz 1976

Landwirtschaftliches Handbüchlein, Wirz, Aarau.

Helferich B. et Gütte S.O. 1972

Tierernährung in Stichworten, Hirt, Kiel

## Analyse chimique des végétaux : résultats

	roseau - 1	marisqu⊕ )	choin	Ca	arex	naille de blé 2)	foin 2)	herbe 2)	pelle mais	ts . herbe	farine choin
Matière sèche	83.2	57.3	56.9	82.4		88	86	15	90.9	92.8	95.9
(% de la mat. fra Mat. orçanique (même %)	77.0	54.3	51.7	76.4		82.4	79		87.5	79.3	88.4
Cendres (même %)	6.2	3.0	5.2	6.0		5	7		3.4	13.5	7.4
Fibres brutes (même %)	32.1			į		45.3	30	4		22.7	32.9
N (g/kg MS)	10.0 1	0.5 14.4	7.5	9.5	14	4.8	1.8	2.7	11.5	27.8	8.6
i <sub>2</sub> 0 <sub>5</sub> ("")	1.7	2.3 4.4	0.7	1.2	2.2	2.3	6.9	7.3	4.8	12.7	1.2
6 <sub>2</sub> 0 ( " " )	4.5	8.2 12.2	4.9	20.1	20.4	9.6	26.5	32.5	9.9	65.6	6.1
Ca ("")	3.9	2.9 5.6	7.8	5.0	8.3	2.2	9.0	8.0	3.3	8.7	6.7
Mg ("")	0.8	3.5 1.3	1.0	1.3	2.1	0.7	2.3	2.0	1.7	2.1	1.0 🛧
Fe ( ppm )	72	72	133	71			200	220	168	228	456
Na ( " )	239	541	178	390			700	600	382	721	246
Mn (")	190	166	40	192			110	8 <b>o</b>	21	27.4	42
Cu ( "·)	1.1	2.7	3.3	3.6					5	11.4	2.5
Pb (")	7.3	3	28	9					2	14	12.7
Zn ( " )	18.3	34.5	30.4	20.4			28	25	28.4	33.7	25.8
Ni (")	6.6	6.8	6.5	1.8					4.2	_4.4	6.1
C/N	49	. 35	64	52		108	**	-	45	16	57
Protéines brutes (g/kg MS)	62.5	90	47	59		37.5	11.6	17	72	173	54
Pouvoir calorifiq inférieur (cal/g		3610	3670	4320		3550 (3))	4000	(3))			*

<sup>1)</sup> Stebler 1898

<sup>2)</sup> Wirz 1976

<sup>3)</sup> Helferich et al. 1972

## Conditionnement et transport

#### 5.2.1 Conditionnement

Comme on l'a vu, l'utilisation ou la transformation sur place de la végétation fauchée n'entre à l'heure actuelle guère en ligne de compte. Les investissements seraient en effet considérables (installations de compostaçe, usine à biogaz, fabrique de pâte à papier); d'autre part, la nécessité d'amortir les investissements obligerait à faire fonctionner les installations et donc à les alimenter en biomasse; la fauche des marais devrait donc probablement se poursuivre, même si son opportunité était remise en question. Les possibilités d'écoulement dans l' agriculture locale font actuellement défaut.

Il est donc nécessaire d'envisager le transport

de la vésétation fauchée.

Le problème principal qui se pose ici est la faible densité de la matière (environ 30 kg/m² selon nos évaluations); son transport en vrac serait très onéreux; il convient donc probablement de la conditionner afin de réduire son volume.

Ce traitement peut s'envisager sous trois formes

principales:

- précompostage : en laissant en tas durant quelques mois la matière fauchée, on abtient une réduction importante de son volume; un tas de marisques entreposé près d'Yverdon a ainsi diminué de moitié en 6 mois; ce mode de faire présente les avantages suivants :

. pas de nécessité d'achat de machines supplémentai-

res, donc faible cout;

. pas d'urgence de prise en charge;

. déjà en décomposition, la végétation se composterait ou se méthaniserait plus facilement;

il pose toutefois certains problèmes :

. risque de pollution de la nappe phréatique par les jus de percolation;

. difficulté de trouver des lieux de stockage (cf expériences faites lors d'essais de fauchage au début 1979 par le groupe de travail de la LSPN);

. réduction des possibilités d'utilisation

(emploi comme litière, combustible ou matériau

de tissare impossible)

- broyage : cette méthode permet de réduire la biomasse au tiers de son volume initial environ, selon les indications de marchands de machines agricoles; afin d'en évaluer le coût, nous avons pris en considération les machines suivantes :

récolteuse hâcheuse à disque : fonctionnant sur la prise de force d'un tracteur, elle possède un dispositif de chargement (pick-up) permettant de l'alimenter manuellement ou en la tractant le long d'un andain;

 broyeur à paille, également entraîné par une prise de force, qu'il conviendrait de charger à la main, éventuellement à l'aide d'un

tapis roulant;

moulin à marteau présentant à peu près les mêmes caractéristiques que la machine précédente, mais broyant la vérétation plus finement et pouvant fonctionner indépendament d'un tracteur;

Les deux premières machines disposent d'un système de soufflerie permettant, le cas échéant, de charger directement des camions ou des wagons.

Voici les principales particularités de ces machines et de leur élément moteur :

	puissance	puissance exigée	valeur neuve	rendement horaire	côut horaire
récolteuse hâcheuse		35 CV	10000	lo t	64
moulin à marteaux		50 CV	6600	8 t	46
broyeur '		55 CV	5800	4 t	23.50
tracteur	35 CV	2	18000		13
tracteur	50 CV		22000		14.50
tracteur	55 CV		27000		17

Ces chiffres sont fournis par la Station fédérale de technique agricole de Tänikon et sont cités par Wirz 1980 et Jakob et al. 1976. Les coûts de revient horaire sont calculés sans tenir compte des frais de main d'oeuvre et de carburant.

Les combinaisons que l'on peut retenir sont les suivantes :

- a) tracteur 35 CV et récolteuse-hâcheuse prix de revient horaire total : 77.prix de traitement de la tonne : 7.70
- b) tracteur 50 CV + moulin à marteaux prix de revient horaire total : 60.50 prix de traitement de la tonne : 7.50
- c) tracteur 55 CV + broyeur à paille prix de revient horaire total : 40.50 prix de traitement de la tonne : 10.10

Les coûts des différentes installations sont comparables; afin de les déterminer avec plus de précision, il conviendrait de mettre sur pied des chantiers de broyage. Ceux-ci permettraient également de connaître les besoins de main d'oeuvre (sans doute l à 2 personnes) et de carburant.

L'emploi d'un moulin peut s'avérer problématique : un préhâchage de la végétation serait probablement nécessaire, la finesse du broyage pourrait poser des problèmes d'utilisation (formation de zones anaérobes dans les tas de compost). A première vue, la première machine nous paraît la plus intéressante du fait de son rendement (lo à 20 tonnes par heure selon sa fiche technique).

Le broyage présente l'avantage d'être un préliminaire favorable à l'utilisation comme compost, mulch ou biogaz; il n'est pas incompatible avec l'emploi comme litière ou combustible (Jakob et al. 1976); de plus il ne pose pas de condition quant à l'état de la matière à traiter (humidité); la présence de branches de faible épaisseur ne devrait pas poser trop de problèmes.

- bottelage: ce procédé permet de presser la biomasse à haute densité, en bottes pesant généralement 15 à 25 kg pour un volume de o.2 m; on obtient ainsi une réduction de volume semblable à celle qui s'opère lors du broyage. Les botteleuses possèdent pour la plupart un dispositif de chargement semblable à celui de la récolteuse-hâcheuse décrite plus haut.

Voici quelques renseignements sur deux de ces machines :

	puissance exi <sub>l</sub> ée		rendement horaire		coût par tonne
1)		14500	4 t	90	22.50
2)	20-30 CV	30000	20 t	N A	or .

On admet généralement, en tenant compte de la main d'oeuvre, de l'énergie et des autres matières nécessaires (ficelle), un prix de revient du bottelage de 30.- par tonne.

Le bottelage apparait donc comme plus coûteux cue le broyage. Pour des raisons techniques (fonctionnement de la presse, qualité des bottes), la végétation doit absolument être ramassée sèche. Si l'on désire la botteler, il faudrait donc la faucher en septembre, éventuellement durant la première quinzaine d'octobre ou en mars.

Une machine permettant de récolter les végétaux sans qu'ils entrent en contact avec l'eau autoriserait le fauchage puis le bottelage lors de périodes de bise noire assez fréquentes en février.

Cette technique laisse ouvert l'éventail des possibilités d'utilisation, seul le tissage étant ensuite impossible. La litière se commercialise et s'emploie d'habitude sous cette forme, la plupart des systèmes de chauffage à la paille que nous avons relevé prévoient la combustion de bottes; il convient de signaler que la longueur des bottes est réglable, ce oui permet une adaptation aux ouvertures de chaudières.

## 5.2.2 Transport de la végétation

(les chiffres servant de base aux calculs présentés ici nous ont été fournis par les entreprises régionales de transports dont on trouve l'adresse en annexe 5.5)

- sous forme broyée : le transport de la végétation sous cette forme, en vue de son compostage, peut être envisagé dans les conditions suivantes :
  - a) livraison aux a riculteurs biologiques de la région (exploitations situées à Molondin, Villeneuve p/Payerne, Middes, Lentigny et Eissy):

. distance à couvrir : entre 20 et 40 km aller-retour (30 km en moyenne)

durée d'un trajet AR (y compris chargement et déchargement à l'aide d'une pince hydraulique, d'un tapis roulant ou d'une soufflerie): l h 30 à 2 h 30

frais horaires de camionate: 70.contenance des camions: 20 m à 60 m
(env. 2t) (6t)

- . frais de camionnage : 50.- à 30.- la tonne
- b) livraison aux usines de compostage (Bienne à partir de l'est d'Estavayer, sinon Penthaz):

. distance à couvrir : Estavayer - Penthaz : 50 km Yverdon - Penthaz : 30 km Estavayer - Bienne : 50 km Cudrefin - Bienne : 30 km

distance AR moyenne: 80 km

. durée d'un trajet AR : 2 h 30 à 4 h

. frais de camionnage : 70.-/heure ou 50.à 90.-/tonne

- sous forme bottelée : le transport des bottes de l'itière nouvant probablement être pris en charge par l'UCAR, nous avons considéré les frais de convoyage de bottes vers Bienne ou Penthaz :
  - . distance moyenne : 80 km AR
  - . durée d'un trajet : 4 h (2 h de chargement)
  - . charge des camions : lo tonnes
  - . frais de camionnage : 75.-/heure ou 30.-/tonne

La livraison de végétation bottelée aux navsans biologiques coûterait environ 23.- nar tonne, ils devraient toutefois la broyer ensuite eux-mêmes; les usines de compostage préféreraient également recevoir la matière déjà hâchée.

Les chargements pouvant être plus importants, le bottelage est, sur le plan du transport, plus avantageux que le broyage. Dans l'intérêt des utilisateurs (agrobiologistes en particulier), on peut toutefois préférer dans certains cas acheminer la biomasse déchiquetée

- le transport par train entre Estavayer et Cossonay (gare distante de 2km de l'usine de compostage3 de Penthaz) dans des wagons de 4o ou 7o m reviendrait à 21. ou 3o. la tonne; resterait toutefois à nayer et organiser le chargement et le déchargement de la végétation et le camionnage vers et depuis les gares;
- le transport par péniches entre Estavayer et Bienne par exemple est à l'heure actuelle difficilement concevable : il serait très onéreux et les installations portuaires font défaut;

## Tableau récapitulatif

Phase de travail	Volume ou poids du chargement	Rendement horaire	Coût * par tonne
Broyage		4-lo t	7.5 a lo
Bottelafe	e .	4-20 t	30
Transport, broyé aux agrobios	20 m <sup>3</sup> 60 m <sup>3</sup>		50 30
Transport, broyé aux usines	20 m <sup>3</sup> 60 m <sup>3</sup>		90 50
Transport, bottelé aux usines	lo t		30
Transport, bottelé aux agrobios	lo t		23
Transport par train Estavaver-Penthaz	40 m <sup>3</sup> 70 m <sup>3</sup>		30 21

<sup>\*</sup> sans main d'oeuvre ni carburant

Des essais de conditionnement et de transport à metite ou moyenne échelle mermettraient de mréciser nos estimations; ils devraient à nos yeux constituer un volet important des expériences mratiques que le groupe de travail "rive sud du lac de Neuchâtel " a l'intention de mener en 1980.

## Littérature

Jakob P et Jakob R 1976 Les propriétés des litières traitées par broyage, paru dans "Technique agricole "n° 13/16

Wirz 1980 Landwirtschaftliches Handbüchlein, Wirz, Aarau

#### 5.3. Le compostage

#### 1. Définition

La matière organique peut se décomposer en présence ou en absence d'air; en anaérobie, le processus est plus lent, moins intense, et permet la formation de substances intermédiaires comme l'hydrogène sulfuré qui représente un poison pour beaucoup d'espèces vivantes (Braun 1959). Le compostage doit donc viser la décomposition aérobie de la matière organique; il aboutit principalement à la formation d'humus stable, à la production d'eau, de gaz carbonique, à la minéralisation de l'azote et à un dégagement de chaleur.

Ce processus peut être schématisé ainsi :

Matière organique + 
$$O_2$$
  $\longrightarrow$  Matière organique +  $CO_2$  +  $H_2O$  brute +  $NH_4$ + ou  $NO_3$ 

(Andrews 1971)

Cette décomposition s'effectue sous l'action de divers microorganismes qui profitent de la chaleur produite. Dans un premier temps, des organismes mésophiles (champignons et bactéries acidifiantes) s'attaquent aux hydrates de carbone et aux protéines facilement décomposables; dans cette phase on atteint des températures avoisinant 40° C.

Après 2 à 3 jours, le compostage atteint un stade thermophile où les températures peuvent s'élever jusqu'à 80° C. La microfaune se compose alors de bactéries dégradant les graisses, les hémicelluloses et les protéines, d'actinomycètes dont une espèce est à même de décomposer la cellulose et de champignons cellulolytiques. C'est à ce stade que la décomposition est la plus rapide; la température optimale pour la décomposition de matière organique en CO<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O se situe entre 60 et 70° C, au-delà, de nombreux microorganismes disparaissent et la minéralisation est trop rapide, ce qui diminue la valeur du compost fini; par ailleurs, la décomposition à 60 et 70°C permet la destruction de la plupart des graines de mauvaises herbes et des microbes pathogènes; leur développement est également inhibé par d'autres microorganismes thermophiles. (Poincelot 1972)

#### 2. Paramètres agissant sur le compostage

- le rapport carbone-azote; indispensable aux microorganismes pour la synthèse de leurs protéines, l'azote peut-être un facteur limitant dans un tas de compost; toute carence de cet élément freine la croissance des microbes et amène un ralentissement de la décomposition de la matière organique. Inversément, un rapport C/N trop bas entraîne une perte d'azote sous forme d'ammoniac; s'il est inférieur à 20 au début du processus, la production de chaleur est faible, le compostage est ra lenti.

Les auteurs (Poincelot 1972, Spohn 1975, Ibrahim 1968) établissent le C/N optimal à 30 ou du moins dans une fourchette de 26 à 35. Il n'est pas à exclure que, comme le soutiennent certains agrobiologistes, un rapport C/N excessif puisse être équilibré par les microorganismes eux-mêmes, ces microorganismes puisant l'azote nécessaire dans l'atmosphère. (Rusch 1972)

- le pH: les microorganismes sont très sensibles à l'acidité du substrat. En général, les champignons sont plus tolérants à un pH bas que les bactéries et les actynomycètes (McCalla 1960). Un pH trop élevé amène une transformation accrue d'azote en ammoniac (Poincelot 1972).
- l'aération: l'oxydation de la matière organique consomme de 270 à 500 litres d'air par kilo de matière volatile et par jour (Poincelot 1972). Afin d'assurer cet apport, il convient de retourner souvent les taş, d'y créer une structure favorable (adjonction de branchages par exemple si les 'tas sont trop compacts), ou d'amener de l'air artificiellement (introduction de tubes métalliques criblés, emploi de souffleries).
- l'humidité: l'activité des microorganismes cesse avec une humidité du substrat inférieure à 40 %. Au dessus de 60 %, on a une apparition de zones anaérobies, ce qui amène la putréfaction partielle du substrat. Le compost doit donc avoir une humidité comprise entre 40 et 50 % (Braun 1959), il doit être humide "comme une éponge pressée" (Spohn 1975). Il est assez difficile de trouver un compromis entre l'aération et la maintien d'une humidité suffisante: des procédés amenant un apport trop violent d'air (souffleries) se sont avérés défavorables à cause de leur effet desséchant sur le compost (essai mené à la Mura, Bienne).
- la température : son évolution à l'intérieur du tas traduit l'activité des microorganismes. On peut avoir des différences de température corsidérables entre l'intérieur et les couches externes du compost (10° C entre le milieu et une couche située à 5 cm sous la surface). La température ambiante exerce un effet sur la progression de la décomposition ; si le tas est

suffisamment grand, cet effet est relativement peu marqué.

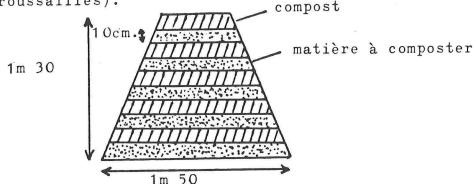
- la surface d'attaque : le broyage du substrat facilitant l'attaque des microorganismes en détruisant certaines structures protectrices et en multipliant la surface, en permet une décomposition plus rapide; la différence est sensible surtout en phase thermophile. (Poincelot 1972).

## 5.3.3 Technique

Le substrat, éventuellement broyé, est déposé en tas. Les dimensions de ceux-ci doivent d'une part permettre de maintenir un taux d'humidité suffisant et d'éviter une trop grande influence de la température extérieure et d'autre part, assurer la pénétration de l'air le plus près possible du centre. On admet généralement une largeur de base de 1 m 50 à 1 m 80 pour une hauteur de 1 à 1 m 30 (Spohn 1975).

Il convient de régler au début du processus le pH et le rapport C/N; l'azote peut-être apporté sous forme de purin, de lisier, d'u-rée ou de boues d'épuration par exemple.

Des substances difficilement décomposables peuvent être mises en sandwich entre des couches de compost en fermentation (compost d'ordures par exemple); cette méthode est fréquemment employée dans les usines de compostage afin de traiter des déchets végétaux (écorces, broussailles).



Cet arrangement permet l'inoculation de la matière en début de compostage à l'aide des microorganismes contenus dans le compost jeune; cet effet est encore plus grand si l'on mélange les deux substances.

Sur l'aire de compostage, il faut avoir la possibilité d'arroser les tas en cas de sécheresse et de les mettre à l'abri lors d'intempéries durant la mauvaise saison. Il convient également de les retourner selon leur évolution.

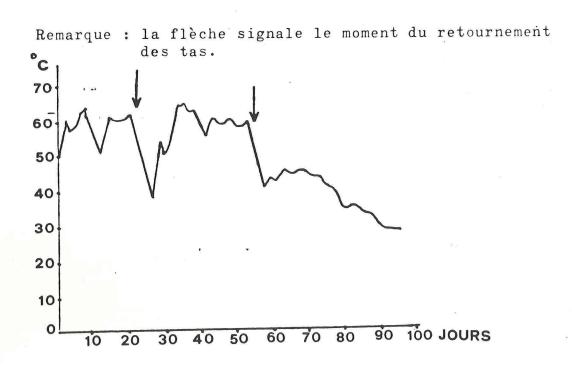
L'usage de machines nécessite le bétonnage de l'aire de compostage: celui-ci permet également l'écoulement des eaux de pluie et surtout de recueillir les jus de percolation des tas; au cours du compostage, ces jus se chargent rapidement et progressivement en matière organique:

l'analyse d'un jus s'écoulant d'un tas de marisque entreposé à Yverdon depuis 8 mois a permis de déceler une oxydabilité de 1412 mg de KMnO<sub>4</sub>/l, alors que celle d'un liquide ruisselant d'un tas de compost d'ordures à Penthaz a indiqué une oxydabilité de 5925 mg de KMnO<sub>4</sub>/l; ces chiffres sont assez impressionnants si on les compare à la moyenne de l'oxydabilité des eaux usées traitées par la STEP de Morges en 1976 qui s'élevait à 269 mg de KMnO<sub>4</sub>/l.

Certains auteurs estiment indispensable de laisser le compost en contact avec le sol, ceci afin de permettre le passage des microorganismes. (Seiffert 1971). Quoiqu'il en soit, il est évident qu'une base solide et i perméable est indispensable à partir d'un certuin tonnage nécessitant l'emploi de machines et risquant de polluer la nappe phréatique.

L'activité des microorganismes est mesurable en suivant l'évolution de la température dans les tas. Tout d'abord en hausse, elle se maintient autour de 60 à 70°C durant quelques jours lorsque le compostage s'effectue normalement; elle baisse par la suite, ce qui signifie que la matière organique "accessible" dans les conditions environnantes a été décomposée; il convient alors de retourner les tas, notamment afin de mettre en contact avec l'air d'autres parties du tas. Le retournement effectué, la température augmente à nouveau. Chaque cycle dure 20 à 30 jours. Le compost peut être considéré comme mûr lorsque la température n'augmente plus après retournement du tas.

Figure 3 : courbe de température dans un tas de compostage.



Au cours de la fermentation, la matière organique oxydable est transformée en substance humique difficilement décomposable. La perte de poids résultant de ce processus peut s'élever à 56 % pour de la paille d'avoine après 4 mois de compostage, à 52 % pour de la paille de seigle après 7 mois, à 51 % pour de la paille de blé après 2 mois. (Poincelot 1972)

Le rapport C/N descend aux environs de 10-12. La maturité du compost peut être examinée à l'aide de tests biologiques (consommation  $d'O_2$ ; comptage de microorganismes, tests de germination) ou chimiques (C/N), absence d'ammoniac ou de sulfides).

En plus de problèmes de conditionnement (la décomposition se poursuit de manière anaérobe dans les emballages de plastic), l'emploi de compost insuffisamment mûr en agriculture peut créer des difficultés. Le compostage se termine dans le champ; l'azote qui y est nécessaire (C/N encore élevé) est prélevé aux dépens des cultures qui subissent alors des retards de croissance. cf NB En cas de décomposition anaérobe, l'émission de substances toxiques peut nuire directement aux plantes (Spohn 1975).

Cette théorie, admise généralement en agriculture conventionnelle, est contestée par les tenants de l'agriculture biologique qui soutiennent que, du fait que l'azote "est disponible dans l'air en grandes quantités, il suffit que les processus biologiques en aient besoin pour qu'ils puissent s'en procurer" (Rusch 1972).

## 5.3.4 Intérêt du compost

Le maintien dans les terres d'un taux d'humus favorable par l'apport de matière organique a un triple intérêt (Stickelberger 1971, Gros 1969).

- physique: agissant sur la structure du sol (agglomération des particules en aggrégats de taille moyenne, ce qui permet une bonne circulation de l'air et de l'eau ainsi qu'une pénétration favorable des racines), l'humus donne du corps aux terres légères et ameublit les terres fortes; il contribue donc à la prévention de l'érosion due à l'eau ou au vent, à la rétention de l'humidité du sol en saison sèche, à la perméabilité du sol en période pluvieuse.
- chimique: l'humus est une source et une réserve d'aliments pour la plante; il facilite l'absorption des éléments fertilisants et accroît la capacité d'échange des ions. En ce qui concerne le compost, il convient de relever que sa composition dépend de celle du substrat et que le compostage ne la modifie pas sensiblement (sauf en ce qui concerne l'azote en cas de décomposition dans des conditions défavorables) (Poincelot 1971).
- biologique : l'humus sert de support à la microfaune du sol. Le compost est particulièrement riche en organismes végétaux et animaux dont le rôle dans la fixation et l'absorption des éléments nutritifs par les plantes apparaît de plus en plus évident.

Par rapport aux autres sources d'humus (fumier, purin, paille), le compost présente l'avantage d'être déjà décomposé et donc rapidement utilisable par les plantes; il est généralement exempt d'agents pathogènes et de graines de mauvaises herbes, grâce aux températures élevées qu'il a subies durant sa formation; la décomposition anaérobe n'atteint pas les mêmes températures (environ 40°C) et ne peut apporter ces garanties. Sa richesse en microorganismes permet selon certains d'accroître la fertilité du sol; quelques auteurs estiment que, utilisé à la place d'engrais minéraux, il contribue au rétablissement de l'équilibre biologique du sol et prévient les attaques parasitaires tout en permettant des productivités et des qualités incomparables. (Seiffert 1971).

Il convient d'ajouter que la tourbe, fréquemment employée en viticulture, est en voie de raréfaction, ce qui laisse prévoir une hausse de son prix à plus ou moins long terme.

Les besoins en matière organique sont principalement élevés dans des cultures intensives comme la viticulture, l'arboriculture et le maraîchage qui consomment beaucoup d'humus, ne peuvent pas pour les deux premières être inclues dans une rotation des cultures et constituent souvent la seule branche d'exploitation des domaines où elles sont pratiquées.

	Consommation d'humus (t/ha·an)	Besoins théo- riques en com- post (t/ha·an)
arboriculture	3,2	21
viticulture	3,2	21
cult. maraî- c ières	6,2	41
pépinières	4,6	140

von Hirscheydt

Pour des raisons de manutention principalement, les viticulteurs préfèrent encore souvent l'emploi de tourbe, bien qu'il s'agisse là d'une matière "inerte", lente à décomposer et ayant un effet moins favorable que le compost sur la structure du sol.

L'utilisation de compost d'ordures ménagères se développe

toutefois, de même que le broyage et l'épandage des déchets de taille (sarments, branches en arboriculture).

Les cultures sarclées (mais, pomme de terre) emploient également beaucoup de matières organiques; elles sont toutefois généralement inclues dans le plan d'assolement d'exploitations pouvant restituer l'humus sous forme de paille ou de fumier.

Les exploitations traditionnelles, c'est-à-dire pratiquant l'élevage et l'agriculture proprement dite, subviennent généralement elles-mêmes à leurs besoins en matière organique.

## Littérature

Andrews J.F. et Kambhu K. 1971 Thermophilic aerobic digestion of organic solid waste, Clemson

University, Clemson, South Caro-

lina

L'utilisation des ordures ména-Braun R. 1959

gères et des boues d'épuration à l'aide de compostage, communication de l'EAWAG, Zurich

Gros A. 1969 Engrais, guide pratique de la fertilisation, La Maison rus-

tique, Paris

Von Hirscheydt

Wieviel Kompost darf man verkaufen ? ANS Mitteilungen Nr 21, München

McCalla T.M. 1960

Microorganisms and the breakdown of organic material Compost science Nr 2 p. 12-18

Poincelot R.P. 1972

The biochemistry and methodology of composting. The Connecticut agricultural experiment station

Newhaven.

Seiffert A. 1971 Gärtnern, Ackern ohne Gift, Biederstein, München.

Spohn E. 1975 Selberkompostieren für Garten und Schnitzer Verlag Feld St Georgen Schwarzwald.

Stickelberger D. 1971 Survey of solid wastes management practices WMO, International Reference centre of Wastes Management, Dübendorf (non-publié.)

Rusch H.P. 1972

La fécondité du sol Le courrier du livre, Paris

## 5.4 La production de biométhane

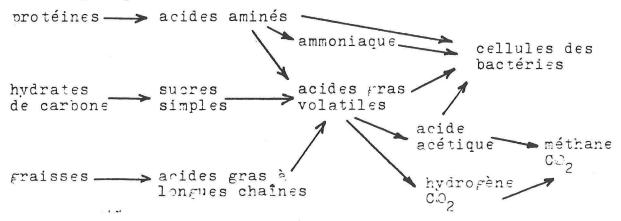
#### 5.1.1 Généralités

La matière organique peut être décomposée par des bactéries aérobes comme c'est le cas dans les processus de compostage ou par des bactéries anaérobes, c'est à dire n'utilisant pas d'oxygène.

Le résultat de cette décomposition est la formation de méthane, appelé aussi gaz de marais, et de gaz carbonique.

La dégradation se fait en plusieurs étapes :

Mat. or anique



liquéfaction

formation d'acides

formation de méthane

tiré de Meynell .

Dans une première étape, la matière organique est liquéfiée par les enzymes produits par des bactéries pouvant être aérobes ou anaérobes.

téries pouvant être aérobes ou anaérobes.
Les macromolécules composant la matière or anique sont réduites en composés plus simples qui sont soluples dans l'eau ambiante.

Dans une deuxième étape, les bactéries produisent des acides et consomment toutes les traces d'oxygène qui empêcherait les bactéries méthanogènes de se développer. On a également à ce stade une libération d'hydrogène et de gaz carbonique.

Dans la dernière phase, on a formation de méthane et de saz carbonique par les bactéries méthanosènes à partir des acides, de l'hydrosène et du gaz carbonique.

Equation globale pour la cellulose :

$$C_{6}H_{10}\eta_{5} + H_{2}J \longrightarrow 3 CO_{2} + 3 CH_{4}$$

Décomposition des acides aminés :

CH<sub>2</sub>NH<sub>2</sub>COOH → CH<sub>3</sub>COOH + NH<sub>3</sub>

glycine

 $CH_3CHNH_2COCH \longrightarrow CH_3COOH + NH_3 + H_2 + CO_2$ 

CH<sub>3</sub>COOH → CH<sub>4</sub> + CO<sub>2</sub> CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub> → CH<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O

En fin de processus, il reste les boues diférées formées en grande partie des corps bactériens et comparables aux boues de stations d'épuration.

Elle peuvent également être utilisées comme engrais, mais il n'est pas exclu que les fermentations anaérobies entraînent la formation de toxines. Les essais sont actuellement en cours à la Station fédérale de Liepefeld pour déterminer l'action de ces boues sur la végétation.

### 5.4.2 Conception des difesteurs

On neut en distinguer deux tynes :

- les digesteurs à alimentation continue rour lesquels la matière organique doit se présenter sous forme liquide; elle est introduite dans la partie supérieure des cuves de fermentation par siphonage ou pompage; les boues digérées sont soutirées à la base; selon les modèles, le sommet de la cuve peut être mobile et faire office de gazomètre; un inconvénient de ce sustème est la formation d'écume à la partie supérieure du liquide qui nécessite une aditation fréquente ou la recirculation du gaz.
- les diresteurs à alimentation discontinue :
  dans ce système, les cuves sont remplies de
  matière organique, fermées hermétiquement
  et maintenues à la bonne température jusqu'à la
  fin de la production de gaz; si l'on désire
  une production de gaz assez régulière, il faut
  prévoir au moins quatre cuves se trouvant
  à des stades de fermentation différents; ce système
  est moins délicat à régler que le premier, le
  chargement et le déchargement des cuves demandent
  cependant plus de travail.
- 5.1.3 Paramètres importants pour la formation du bio; az

Ces paramètres sont très semblables à ceux influencant la formation du compost.

a) rapport carbone - azote
le rapport optimum se situe autour de 30;
si le carbone est en excès, la matière organique se décomposera plus lentement car la
prolifération des bactéries sera entravée par

le manque d'azote; si l'azote est en excès, on aura formation et accumulation d'ammoniacue inhibant le dévelopmement des bactéries méthanogènes;

- b) l'acidité
  le pH opimum se situe entre 7 et 8; au début
  de la direstion, il a tendance à baisser;
  ceci est dû à la formation d'acides, puis,
  au fur et à mesure que ces acides sont
  transformés en méthane, il a tendance à
  remonter; une autre cause de l'aurmentation
  du pH est la formation d'ammoniaque qui se
  dissoud dans l'eau sous forme de NH4OH;
  une troisième cause est la présence bicarbonate dû à la dissolution du gaz carbonique
  dans l'eau;
- c) la température la température est un facteur très important; l'opimum se situe vers 30°C; cette température assure la meilleure croissance des bactéries et un temps de direstion plus court; sous nos climats, le maintien de cette température consomme une importante partie du gaz produit

## Littérature

Meynell J. P., Methan, planning a digester Of 3.3

#### 5.5 Adresses utiles

Compost: Fertisol S.A. 1349 Penthaz M. Rasch

MURA Portstr. 4o 253o Dienne

M. Hoffman

Usine de compostage 8200 Schaffhausen

M. Kohler

Stroba S.A. 831o Kempttahl

M. Baltensberger

Progana Association de producteurs biologiques

M. Rime 1751 Middes

Litière: UCAR - FVAV Jordils 3 loo6 Lausanne

Haldimand 99 1400 Yverdon M. Corthésy

M. Burla Jean agriculteur 1588 Sudrefin

Biogaz: MM Jacquier et Lack Les Goilles 1462 Yvonand

SRVA Service romand de vulgarisation agricole

Pavement 3o lol8 Lausanne M. Mouchet

Combustible :

M. H.Seissbühler garde-forestier 1581 Constantine

Schmidt S.A. loo8 Prilly

M. Lagnaz

Ørum Passat Ap S DK 8833 Ørum

neprésentant pour la Suisse : Neue Safiz AG

Bahnhofstr. 34 858o Amriswil

Tissage: MM n. et u. Bonny Les Claies 1531 Grandcour

Stroba S.A. 8310 Kempttahl

M. Baltensberger

Mulch: Station fédérale de recherches agronomiques

Changins 1250 Nyon

M. Rod

Station fédérale de recherches viticoles

2012 Auvernier M. Humbert-Droz

Fourrage:

Lactina Suisse Panchaud S.A. 1604 Puidoux

Mr Ruchet

Machines:

Compost: Geb. Bühler A.G. 9240 Uzwil

Broyage et bottelage:

Favre R. S.A. machines agricoles Rte de Corcelles 5 1530 Payerne

Agriculture: Institut agricole de l'Etat de Fribourg

1725 Grangeneuve

Mr Lancoud

Mr Chatelanat E. conseiller agricole

1531 Granges-sous-Trey

S.R.V.A. Rte du Pavement 80 1018 Lausanne

Mr Mouchet

Mr Burla Jean agriculteur 1588 Cudrefin

Camionnase:

Cand-Landi Ch. Grandsonnet 10 1422 Grandson

Catellani Oswald 1523 Granges-près-Marnand

Cherbuin Marcel transports 1511 Rossenges

Roulin Frères S.A. transports 1038 Bercher

## Remerciements

Nous tenons à remercier pour leur aide précieuse:

Mr Antoriazza M., biologiste à Yvonand Mr Baltensberger, directeur de Stroba AG, Kempt+ahl Mr de Blaireville A., garde forestier à Grandcour Mr Bonny H., agriculteur à Grandcour Mr Bühler H., directeur de Bühler AG Uzwil Mr Burla J., agriculteur à Cudrefin Mr Burgnat, vigneron à Colombier Mr Burnand J., écologiste à Zürich Les Cartonnerie et Paneterie de Moudon SA Mr Catellani O., transports à Granges-Marnand Mr Chatelanat E., conseiller agricole à Trey Mr Cherbuin M., transports à Rossenges Mr Corthésy M., gérant UCAR à Yverdon Mlle Egger B., Institut de géobotanique EPFZ Mr Erbe, inspecteur des forêts à Payerne Mr Fallet et le personnel des laboratoires ACEPSA à Oulens

Mr Favre, machines agricoles à Payerne
Mr Gachen, voyer des eaux à Payerne
Mr Gasser, vieneron à Boudry
Mr Geissbühler M., garde forestier à Constantine
Mr Gysi, Station Fédérale de recherches agronomiques

à Wädenswil

Mme Hertenlendy, EAWAC Dübendorf

Mr Hoffmann de la MURA Bienne

Mr Humbert-Droz, Station fédérale de recherches viticoles

à Auvernier

Mr Jaquier, enstructions métaliques, Yvonand Mr Keel A , Fachstelle für Naturschutz, Zürich

Mr Kessler, O.F.I. Berne

Mr Kobel, Station rédérale de recherches a ronomiques à Wädenswil

Mr Kohler, directeur de l'usine de compostage de Schaffhouse

Mr Lack M., architecte à Neuchâtel Mr Lancoud, conseiller agricole à Belfaux

Mr Lebeau, O.F.I. Berne

Mr Luthy, africulteur à Lully

Mr Meisterhans K., écologiste à Hittnau

Mr Mouchet SRVA Lausanne

Mr Monnier P. agriculteur à Champvent

Mr Müller V., Stroba AG Kemptthal

Mr Ctt., Institut de recherches pour l'agriculture biologique Oberwil

Mr Rasch, directeur de Fertisol SA Penthaz

MF Rime, agriculteur à Middes, président de Progana

Mr Roulier C., biologiste à Cuarny Mr Roullin, transports à Bercher

Mr Ruchet directeur de Lactina SA Puidoux

Mr Schnyder O., in énieur à Pully

La maison Sulzer SA à Lausanne

Mr Welsel F., stagiaire en agriculture à Champvent

Notre gratitude va tout particulièrement à nos conseillers de recherches MM. P. Goeldlin et M. Rollier ainsi qu'à Mlle M. Benoit qui a bien voulu se charger de la dactylographie de ce travail.

Ce document est le résultat d'un travail de recherche postgrade d'une durée de trois mois effectué par Messieurs Ruegg et Girod pour l'obtention du certificat postgrade du Génie de l'Environnement de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
Les raisonnements et conclusions de ce document n'engagent que leurs auteurs.