

Office fédéral de l'énergie

**Codigestion
de déchets organiques industriels**

biol conseils s.a.

mai 1998

CODIGESTION DE DECHETS ORGANIQUES INDUSTRIELS

TABLE DES MATIERES

RESUME

SUMMARY

1. Introduction	1
2. Méthode	3
2.1. Consultations	3
2.2. Critères de sélection	3
3. Résultats	4
3.1. Enquête préliminaire	4
3.2. Sélection de déchets envisagés pour la codigestion	8
3.2.1. Généralités	8
3.2.2. Déchets de fabrication de condiments	9
3.2.3. Contenus de panses	9
3.2.4. Marc de raisin	10
3.2.5. Marcs de fruits	11
3.2.6. Petit lait	13
4. Conclusion	16
ANNEXES	17

CODIGESTION DE DECHETS ORGANIQUES INDUSTRIELS

RESUME

La présente étude s'inscrit dans le cadre du programme Energie 2000 et a pour but de contribuer à une augmentation de la production de biogaz en Suisse par la codigestion de déchets organiques d'origine industrielle. Elle vise à sélectionner les déchets les plus intéressants du point de vue énergétique, déchets pour lesquels les filières d'élimination sont peu satisfaisantes et dont la codigestion est mal connue. Les déchets retenus seront caractérisés en vue de tester leur codigestion en laboratoire avec des boues de station d'épuration ou des purins.

La sélection de ces déchets a été effectuée principalement selon des critères de digestibilité, de degré de connaissance de leur digestion, de leur taux de matière sèche, de leur quantité produite et de leur filière d'élimination. Les données ont été récoltées à partir d'enquêtes, de recherche dans la littérature et de contacts avec des spécialistes et des producteurs.

Quinze types de déchets ont été examinés, dont 7 ont fait l'objet d'investigations plus approfondies. Parmi cette dernière sélection, cinq n'ont pas été retenus pour la suite de l'étude :

- la digestion des épluchures ou des légumes abîmés est bien connue et les eaux de lavage des procédés de fabrication sont souvent trop peu chargées;
- le marc de café, car les filières d'élimination actuelles ou celles envisagées sont satisfaisantes (principalement par incinération);
- les déchets de fabrication de condiments, car ils sont appelés à disparaître dans un proche avenir, les procédés industriels allant être modifiés;
- les contenus de panses de bovins, car leur codigestion est bien connue et la résolution des problèmes techniques qui peuvent subsister ne peut se faire que dans des digesteurs pilotes ou industriels;
- le marc de raisin, pour lequel des essais de laboratoire ne permettraient pas non plus de résoudre des problèmes techniques (raffes).

Par contre, les marcs de fruits de même que le petit lait constituent des matériaux dont la codigestion avec des boues de STEP ou des purins mérite d'être approfondie, pour les raisons suivantes :

- les proportions de mélange de marcs de fruits ainsi que les limites de charge à respecter pour optimiser leur codigestion des points de vue biologique et énergétique sont mal connues;
- le petit lait représente un potentiel énergétique important en Suisse. Si actuellement il ne pose pas de problème d'écoulement, il pourrait en poser à moyen terme. Pour les résoudre, la codigestion n'est généralement pas envisagée alors que différents essais montrent des résultats positifs et qu'une valorisation énergétique dans les fromageries serait la bienvenue. Des essais de laboratoire et la publicité faite autour des résultats obtenus permettraient de relancer l'intérêt pour une filière énergétique.

CODIGESTION OF ORGANIC INDUSTRIAL WASTE

SUMMARY

This study takes place within the Swiss program of "Energy 2000" and its purpose is to stimulate interest in the production of biogas from the process of codigestion of industrial organic waste. The study aims to select the most interesting waste from its potential energy value, waste for which the ways of elimination are unsatisfactory and among which the codigestion is not well known yet. The waste products selected will be analysed to their codigestion in laboratory with purification station sludges or with liquid manure.

The selection of these waste products has been made principally following the criteria of digestibility, of degree of knowledge of their digestion, of their rate of dry material, of their product quantity and of their way of elimination. The information has been collected from inquiries, research in literature and from contacts with specialists and manufactures.

Fifteen types of waste products have been examined, from which seven have been studied more deeply. Among these, five have not been retained for further study :

- the digestion of peelings or of spoilt vegetables is well known and the washing water of processing are often too lightly charged;
- the coffee-grounds, because the actual way of elimination or the one envisaged are satisfactory (mainly by incineration);
- the waste from the manufactory of condiments, because they are going to disappear in a near future (the industrial process will be modified);
- the contains of cattle paunch, because their codigestion is well known and the solution of technical problems that exist can only be made in pilot or industrial digesters;
- the Marc of grapes, because laboratory tests could not solve the technical problems.

The two remaining waste products, the Marc of fruits as well as the whey are constituting materials whose codigestion with purification station sludges or liquid manures are worth further study for the following reasons :

- the proportions of blending of fruits' Marc as well as the limits of charges to respect in order to optimise their codigestion as biological and energy points of view are not well known;

-
- the whey represents an important energetic potential in Switzerland. If for today it doesn't give any problem of elimination, it could give some in a middle term. In order to solve them the codigestion is usually not envisaged although several tests are showing positive results and the potential energy value could be interesting to the cheese manufactures. Laboratory tests and publicity made around it could stimulate interest in its potential energy value.

CODIGESTION DE DECHETS ORGANIQUES INDUSTRIELS

1. Introduction

La codigestion des déchets constitue une voie encore relativement peu utilisée pour produire du biogaz à partir de sous-produits organiques souvent disponibles en quantités insuffisantes sur un site pour justifier la construction d'installations spécifiques de méthanisation.

Les digesteurs des stations d'épuration peuvent, dans certaines conditions, accepter des déchets organiques et ainsi nettement améliorer leurs productions de gaz. Ce type de codigestion a déjà été testé sur des déchets ménagers et certains types de déchets industriels (STEP de Frutigen, BE; Martigny, VS ou Roche, VD).

Par ailleurs, une étude menée dans le cadre du programme ENERGIE 2000 conclut que le développement de nouvelles installations agricoles de méthanisation passe par la possibilité d'améliorer leur rentabilité en acceptant contre rétribution des déchets autres que ceux de la ferme.

Si, dans ce cadre, certains déchets sont bien connus, d'autres le sont moins. Une meilleure connaissance des conditions biologiques et techniques d'incorporation de ces déchets dans des digesteurs urbains et agricoles contribuerait au développement de nouvelles installations de codigestion et permettrait, le cas échéant, de mettre en évidence des besoins particuliers en digesteurs industriels.

L'étude "Codigestion de déchets organiques industriels" a donc pour but de contribuer à une augmentation de la production de biogaz, selon les objectifs du programme Energie 2000 et de la stratégie fédérale du développement durable visant à intensifier l'utilisation d'énergies renouvelables et indigènes.

Pour ce faire, une étude de terrain complétée par des essais en laboratoire permettrait de répondre aux principales questions qui doivent être résolues pour l'application de cette technique. Elle constituerait une première étape qui devrait être suivie par un calcul du potentiel réaliste, sur le terrain en Suisse, prenant en compte les premiers résultats ainsi que les contraintes techniques et économiques. Sur cette base, des recommandations pourraient être élaborées ainsi qu'un programme d'action.

Le présent rapport a pour but de :

- sélectionner parmi les déchets industriels ceux dont le comportement pour la codigestion est encore mal connu, dont les filières d'élimination ne sont pas satisfaisantes à moyen ou long terme et qui représentent un certain potentiel énergétique;
- caractériser les déchets retenus en vue de tester leur codigestion en laboratoire.

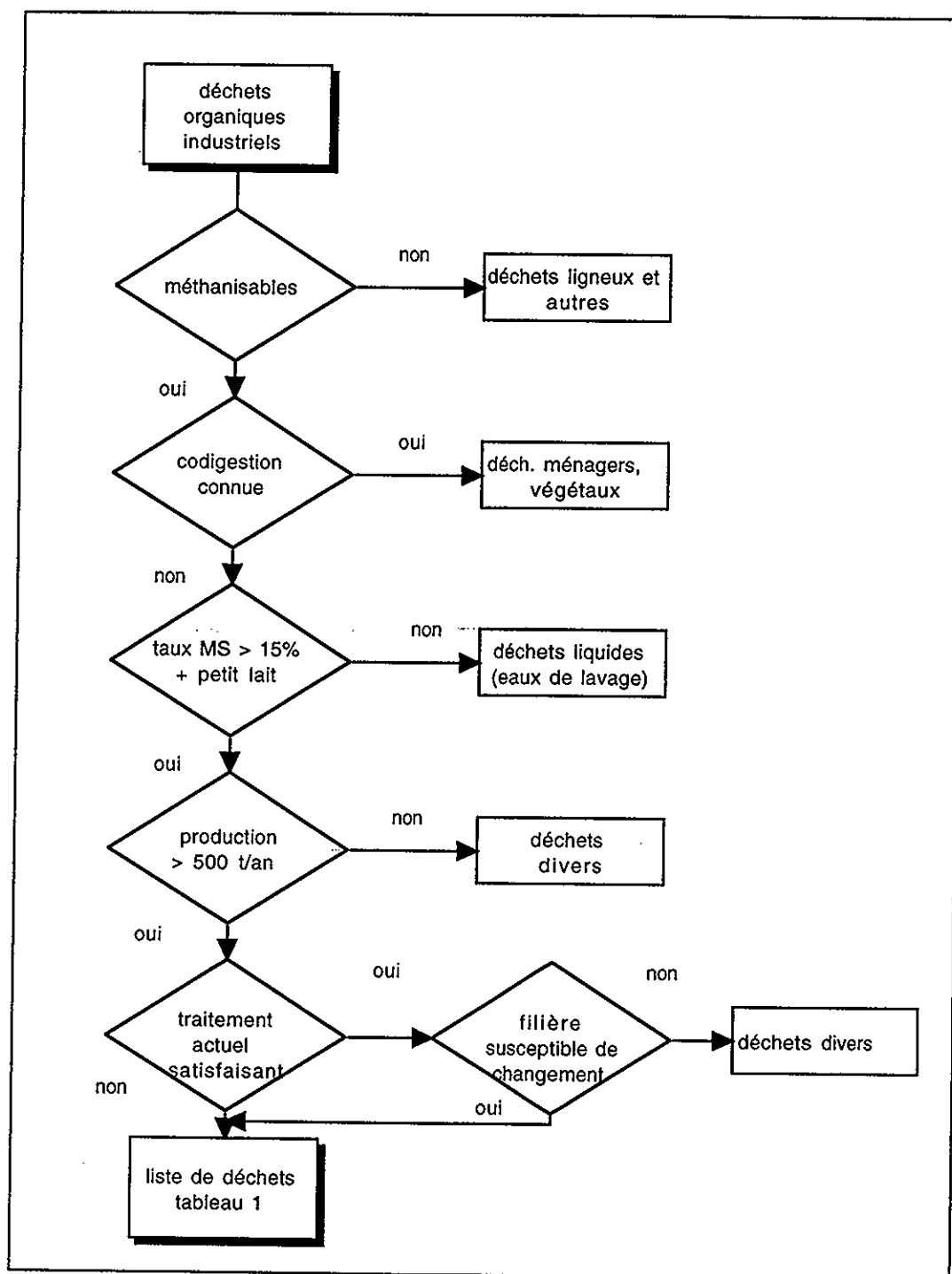


Figure 1 : Schéma de sélection des déchets organiques industriels pour l'étude de leur codigestion

2. Méthode

2.1. Consultations

Les renseignements concernant les déchets organiques ont été récoltés dans la littérature, lors de visites sur le terrain et par des contacts avec des spécialistes et des producteurs.

Les principaux ouvrages consultés figurent en annexe 1.

Des enquêtes par téléphone, fax ou par contacts directs ont été menées auprès des personnes, institutions et entreprises dont la liste est reportée en annexe 2.

2.2. Critères de sélection

La sélection des déchets organiques a été faite dans un premier temps sur la base de cinq critères (cf. figure 1) :

- leur digestibilité (échelle de 1 à 4 : de non appropriée à très appropriée); ce critère se base sur une classification des déchets organiques établie par VDMA (1997);
- le degré de connaissance de leur digestion (échelle de 0 à 2 : connu, peu connu, non connu); il est établi selon les expériences répertoriées dans la littérature;
- leur taux de matière sèche (min. 15 % MS); le principe de la codigestion impliquant des transports, les déchets liquides n'ont pas été pris en compte, sauf le petit lait;
- leur production en quantité suffisante (>500 t/an); les indications concernant les quantités de déchets sont principalement reprises des estimations effectuées par Arbi (1991) sur la base d'une enquête menée en 1988 auprès de fabricants; elles correspondent aux quantités potentiellement méthanisables;
- les filières d'élimination (échelle de 0 à 2 : sûre, peu fiable, aucune).

Afin de ne retenir parmi les déchets issus de la première sélection que ceux représentant le plus grand potentiel, d'autres critères ont ensuite été pris en considération :

- production : quantité et composition stable, ~~répartition~~;
- propreté, homogénéité, absence de substances toxiques ou de germes pathogènes, rapport C/N.

Tableau 1 : types de déchets méthanisables

Catégorie	Type de déchets	Quant. déch. frais (t/an) (a)	Digestibilité				Digestion			Filière			Réf.
			1	2	3	4	0	1	2	0	1	2	
Légumes	production et transformation : épluchures, eaux de lavage	50'000				4	0						a/t/i
Fruits	production et transformation (conserveries, jus, concentrés, moût) : eaux de lavage des fruits, résidus de presse des pommes, résidus de filtrage du moût, marc après distillation, résidus de traitement de concentrés, pectine, produits abîmés	30'000				4		1					a/d/e/f
Champignons	épluchures et substrat	500			3				2				a/i
Brasseries	total : drêches, levures	20'000			3		0						a/d/e/f
	drêches				3		0						a
	levures pressées				3		0						a/i
Abattoirs	résidus solides des filtres, entrailles, sang	30'000				4	0						a/c/f/h
	contenu des panses	16'000				4	0						
	graisse animale					4	0						c/i
	soies et cornes			2									f
	os, plumes			2									f
	volaille					4							f
Transformation de viande	déchets de viande (porcs, bovins, volaille)	20'000				4	0						a
Industrie laitière	petit lait et "perméat"					4	0						a/d/e/f/h/i
Industrie vinicole	marc de raisin	10'000			3			1					a/d/f
Industrie sucrière	résidus de pressage, mélasse, produits annexes	40'000				4	0						a/c/f/i
Elaboration de thé et café	résidus d'extraction pour fabrication de thé et café instantané	40'000		2									a/f
	marc de café			2			0						
	thé			2				1					a/f
Préparation de potages et condiments	résidus après hydrolyse, neutralisation et extraction (=humines)	4'000		2				1					a/i
Moulins à céréales et huiles	balle d'avoine et d'épautre, duvet d'avoine	10'000			3				2				a
Industrie papetière	eaux et boues	100'000		2			0						a/d/e/f
	vieux papiers			2									f
Industrie textile	déchets de coton, de textiles naturels	2'000		2				1					a
Tabac	déchets de tabac, boues, poussières	600		2				1					a/f
Tanneries	déchets de tanneries	600			3		0						a/e
	peaux et fourrures				3			1					f
	cuir		1					1					f

Digestibilité : 1 non approprié; 2 peu approprié; 3 approprié; 4 très approprié

Digestion : 0 : connue; 1 : peu connue; 2 : non connue

Filière : 0 : sûre ; 1 : peu connue, peu sûre, peu satisfaisante ou susceptible de changement; 2 : aucune

Références a. Arbi, 1991

f. VDMA, 1997

b. Pacer, 1992

g. Arbi, 1997

c. Kuhn, E., 1995

h. Communication de Y. Membrez, EREP, 1997

d. Egger, K., 1997

i. Communication de W. Edelmann, Arbi, 12.12.97

e. Nyns E.J. & Thomas I.R.S., 1997

3. Résultats

3.1. Enquête préliminaire

Les principaux types de déchets organiques d'origine industrielle sont répertoriés dans le tableau 1 et donnent un aperçu de la situation actuelle en Suisse.

- Les **légumes**, lors de leur transformation industrielle centralisée, génèrent de grandes quantités de déchets, tels les épluchures et les eaux de lavage. Ces déchets présentent de grandes variations saisonnières liées à la production des légumes et sont également concentrés géographiquement, sur les lieux de traitement. Autrefois principalement répandus sur les champs, ces déchets sont actuellement compostés ou livrés à des usines d'incinération, bien qu'ils soient peu appréciés à cause de leur forte teneur en eau et de leur faible pouvoir calorifique. D'autres filières sont donc recherchées. Leur valorisation comme nourriture pour élevages de porcs a par exemple été développée. Selon Arbi (1991), la codigestion représenterait une bonne solution facile à réaliser, moyennant une organisation pour gérer les variations de quantités (répartition sur toute l'année et/ou à combiner avec l'apport d'autres déchets).
- Les déchets de **fruits** proviennent des transformations pour la fabrication, entre autres, de boissons, de vinaigre, de fruits secs, de pectines et d'arômes. Leur traitement industriel produit des quantités de déchets qui sont concentrés géographiquement et qui présentent aussi de grandes variations saisonnières. Les déchets consistent en eaux usées fortement chargées qui sont acheminées vers les STEP et en résidus de pressage et de distillation (*Trester* et *Brennereischlempen*). Ces derniers sont souvent séchés et mélangés à d'autres matières pour faire du fourrage (d'autres solutions sont aussi recherchées).
- Les déchets provenant de la production de **champignons** sont du substrat de culture (compost) et des résidus de champignons. Leur méthanisation est peu connue, même si on peut supposer qu'ils se comportent comme les légumes (Arbi, 1991). Les filières de traitement de ces déchets sont diverses et susceptibles de changement. Dans l'entreprise Champignons Ducommun SA par exemple, les résidus (pieux) sont repris par un paysan (env. 50 m³/an). Le compost de culture est mis en décharge, mélangé à de la terre végétale et utilisé comme amendement dans l'agriculture (env. 35 m³ par semaine); son stockage

seul pose problème à cause des odeurs. Cependant, même si les filières ne sont pas satisfaisantes à long terme, les déchets provenant des cultures de champignons représentent de trop petites quantités disséminées pour constituer un potentiel énergétique par digestion ou codigestion.

- Les déchets de **brasserie** sont constitués de drèches et de levures pressées. Actuellement la valorisation des drèches comme fourrage est la filière la plus économique. Si besoin était, les quantités de déchets seraient suffisamment importantes pour justifier des installations de digestion dans les brasseries.
- Parmi les **déchets d'abattoirs et de préparation de viande**, on peut distinguer les déchets à faible risque et ceux à haut risque. Les déchets à haut risque, provenant des bovins, des caprins et des moutons (cervelles, rates, colonnes vertébrales, ...), sont incinérés. Ils sont en général acheminés dans un centre collecteur puis ramassés par GZM AG de Lyss qui les livrent à DMFF à Bazenheid (SG) pour transformation en farine puis incinération en cimenterie. Les déchets à faible risque (porcs, chevaux, panses, poissons, ...) sont recyclés en farine animale en Suisse (GZM à Lyss par exemple) ou à l'étranger (les abattoirs d'Yverdon et de Lausanne ainsi que l'entreprise Vuillamy notamment les livrent à une entreprise française de St-Amour). La législation, soit l'Ordonnance concernant l'élimination des déchets animaux (OELDA) du 3 février 1993 et l'Ordonnance sur les épizooties (OFE) du 27 juin 1995 (et leurs modifications du 17 avril 1996), régit le traitement de ces déchets de manière précise (OELDA art. 5, 6, 7 et OFE art. 181). La méthanisation des déchets carnés implique une hygiénisation pour éviter la survie de germes pathogènes. L'utilisation des contenus des panses n'est par contre pas réglementée. Ils peuvent représenter 25 % du poids des déchets d'abattoirs (Vuillamy).
- L'**industrie laitière** produit de grandes quantités de petit lait lors de la fabrication de fromage (9 l de petit lait pour 1 kg de gruyère), de fromage blanc et de caséine. La production suisse de fromages étant de 133'000 t (en 1996), le petit lait qui en découle atteint 1.2 mio t/an. Selon Schindler (1986), des possibilités de digestion du petit lait existent en Suisse. Ce serait le cas pour des petites fromageries qui n'ont pas de relations avec des porcheries. Pour l'heure, aucune installation de digestion ne fonctionne en Suisse avec ce type de déchet, malgré des essais-pilotes positifs (Maitenaz, 1982; Schindler, 1986).
- L'**industrie vinicole** produit du marc de raisin en grande quantité durant 1 mois par année. Son stockage est problématique car il se dégrade

spontanément et peut parfois dégager de mauvaises odeurs. Actuellement ces résidus sont en général repris par les viticulteurs qui les compostent avant de les épandre sur leurs vignes. Toutefois, pour de grandes quantités telles que celles livrées à l'usine d'incinération des ordures ménagères d'Uvrier, des problèmes de traitement et d'écoulement du compost sont actuellement rencontrés, entraînant le stockage de tas importants de marc. La codigestion de ces déchets pourrait alors être envisagée pour produire de l'énergie.

- **L'industrie sucrière** produit des résidus du pressage des betteraves, de la mélasse et de l'eau de lavage (le 1/8 du poids des betteraves est transformé en sucre cristallisé). Les résidus de pressage et la mélasse sont écoulés comme fourrage. Les eaux usées (1-3% MS) sont produites en quantité importante et sont traitées dans des installations propres (Sucrerie d'Aarberg).
- Dans l'industrie du **thé et du café**, la plus grande quantité des déchets produits provient de l'extraction du café pour la fabrication de poudre instantanée. Le marc est traité de diverses manières : compostage, mélange avec du terreau, valorisation comme nourriture pour animaux ou incinération. Plusieurs études ont été menées dans ce domaine (compostage, digestion, ...). La production de marc de café de l'usine Nestlé d'Orbe atteint 30'000 t/an, ce qui représente les 3/4 de la production suisse¹. Ces déchets sont valorisés énergiquement par incinération (nouveau four à lit fluidisé en construction). La production de marc de Haco AG atteint 1'300 t/an et est recyclée avec du terreau.
- La préparation de **potages et condiments** génère des "humines" après hydrolyse, neutralisation et extraction. Ces déchets ont une concentration en sel importante (6 à 12 %) qui pose problème pour leur élimination. L'usine Haco AG, par exemple, en produit 700 t/an et les mets en décharge en attendant de trouver une meilleure solution (une possibilité de digestion est entre autres étudiée).
- Les fabrications de **cellulose** ainsi que de **papier et carton** produisent des eaux usées qui sont traitées généralement dans une station d'épuration spécifique à l'entreprise, générant de grandes quantités de boues. Cette matière représentait selon Arbi (1991) un potentiel important pour la digestion. Chez Cellulose-Attisholz AG, ces boues sont pressées puis incinérées avec les écorces, avec récupération d'énergie. Leur codigestion avec des boues de STEP communale semble difficilement réalisable vu les grandes quantités produites.

¹ 3'500 t de marc supplémentaires sont produits à l'usine Nestlé de Bâle.

- Les **moulins à céréales et à huile** produisent des déchets comme les "duvets" d'avoine ou résidus d'épeautre qui sont principalement valorisés comme fourrage.
- La plupart des déchets provenant de l'**industrie textile** sont recyclés (réutilisation directe, isolation, ...). Les déchets de coton sont très prisés pour le jardinage, comme "mulch". Leur digestibilité est mal connue, mais leur production ne représente pas un potentiel énergétique suffisant pour justifier des recherches complémentaires.
- Les déchets de **tabac** (poussières de fabrication) sont actuellement brûlés en usine d'incinération. Certains fabricants pourraient trouver un intérêt pour la digestion, mais les quantités restent faibles à l'échelle de la Suisse.
- Les déchets de **tanneries** produisent des eaux usées riches en graisses, protéines, sels et métaux lourds ainsi que des déchets solides. Des installations de digestion pour ce type de déchet fonctionnent dans divers pays d'Europe.

Y

3.2. Sélection de déchets envisagés pour la codigestion

3.2.1. Généralités

L'appréciation des déchets décrits ci-dessus a conduit à la sélection de sept types de déchets revêtant un intérêt potentiel pour la codigestion : les légumes, le marc de café, les déchets de fabrication de condiments, les contenus de panses, le marc de raisin, les marcs de fruits et le petit lait.

Le tableau 2 présente ces déchets avec certaines de leurs caractéristiques chimique et énergétique (synthèse de données obtenues par enquêtes et de la littérature).

Tableau 2 : Caractéristiques principales des déchets retenus

Type de déchets	Production MF (t/an)	MS		MO		C/N ²	Production biogaz m ³ /kg MO
		(t/an)	% MF	(t/an)	% MS		
Légumes³	50'000	5'000	10	4'500	75-90	15	0.4-0.6
Marc de café	40'000	6'000	15	5'000	83	-	0.6
Condiments (Humines)	2'000	600	30	450	75	-	0.4
Contenu de panses	16'000	2'000	11-19	1'700	80-88	17-21	0.2-0.5
Marc de raisin	25'000	10'000	30-50	7'000	70-95	20-27	0.4
Marcs de fruits	8'000	2'500	15-45	2'000	70-90	30-50	0.3-0.4 ⁴
Petit lait	1'200'000	60'000	5-6	39'000	65	27	0.5-0.7

Le but de l'étude étant de sélectionner les déchets organiques

- dont la digestion et la codigestion ne sont pas suffisamment connues,
- qui représentent en Suisse un potentiel énergétique et
- pour lesquels l'élimination pose actuellement un problème ou en posera ces prochaines années,

deux types de déchets parmi ceux mentionnés ci-dessus ont été d'emblée éliminés :

- Les déchets de **légumes** constituent un potentiel important par leur quantité. La digestion des épluchures et légumes abîmés est bien

² Données Kuhn (1995)

³ Non compris les eaux de lavage. Quantités selon Arbi (1991).

⁴ Données Wellinger et al. (1985) et Kuhn (1995)

connue (déchets verts). Les déchets des eaux de lavage sont par ailleurs trop dilués, ce qui pose des problèmes pour leur éventuel transport.

- **Le marc de café** : les producteurs contactés, Nestlé et Haco, sont satisfaits des filières actuelles (mélange à du terreau) ou en cours d'installation (incinération dans four à lit fluidisé). D'autres filières ne sont recherchées qu'occasionnellement pour de faibles quantités (par exemple, durant 2 à 4 semaines par an, le four de Nestlé est arrêté pour révision; le rythme de production du café est alors ralenti, atteignant env. 1'000 t de marc pour lesquelles une autre filière doit être trouvée). Si, au niveau mondial, le traitement de ces déchets pose problème, ce n'est actuellement pas le cas en Suisse.

Les déchets de fabrications de condiments, les contenus de panses, le marc de raisin, les déchets de fruits ainsi que le petit lait ont nécessité des enquêtes supplémentaires afin de cerner si des problèmes de filières d'élimination étaient rencontrés, justifiant alors d'envisager la codigestion.

3.2.2. Déchets de fabrication de condiments

Les fabricants de soupes et condiments produisent des déchets très riches en sel, les "humines", dont l'élimination pose problème. Chez Maggi-Nestlé qui produit environ 1'000 t/an, ils sont livrés à un fabricant d'engrais. Chez Haco, les 700 t/an sont mises en décharge, faute de mieux. Chez Knorr, les 260 t/an produites sont utilisées comme fourrage, mélangées à d'autres déchets. Ces solutions ne sont pas optimales et les arrangements avec des repreneurs, quand il y en a, sont précaires.

Cependant, selon Nestlé, les quantités de ces déchets n'ont cessé de diminuer durant ces dernières années (probablement de 50 % depuis 10 ans, passant de 4'000 t/an selon les estimations d'Arbi en 1988 à environ 2'000 t/an aujourd'hui). De plus, ils ne devraient plus être produits ces prochaines années, le procédé de fabrication allant être modifié. Si un des fabricants (Haco) recherche d'autres solutions, y compris la digestion, un des plus gros producteurs (Nestlé) ne voit par contre pas d'intérêt à faire des essais de codigestion avec un déchet appelé à disparaître à court terme. Ce dernier ne sera donc pas retenu.

3.2.3. Contenus de panses

Les déchets d'abattoirs à faible risque sont principalement valorisés comme aliments pour animaux après avoir subi un traitement thermique, tel qu'exigé par l'OELDA. Bien que ce soit légalement autorisé sous certaines conditions, de plus en plus de producteurs de produits carnés renoncent à l'utilisation de farine animale. Pour l'avenir, d'autres filières sont recherchées. Des essais

de digestion sont actuellement en cours (A. Wellinger, Aadorf). De tels déchets posent cependant des problèmes de stockage et d'hygiène, ce qui ne faciliterait pas leur codigestion dans des STEP ou des installations agricoles. Ainsi, parmi les déchets d'abattoirs, seuls les contenus de panses ont été retenus pour d'éventuels essais de codigestion.

Ils représentent en effet 15'000 à 20'000 t par année (environ 400'000 bovins tués par an avec un poids de contenu de panse de 35 à 40 kg). L'entreprise Centravo qui gère 30'000 t/an de déchets carnés laisse l'élimination des contenus de panses à la charge des abattoirs. Chez Micarna, ils représentent 350 t/an qui sont mis en décharge. Chez Vuillamy SA et aux abattoirs de Lausanne, ce sont 250 et 600 t/an respectivement qui sont livrées à l'entreprise française de St-Amour. Cette filière est actuellement économiquement avantageuse mais elle n'est pas garantie à long terme. Les autorisations d'exportation sont en effet octroyées à la condition que le requérant présente des solutions de rechange en Suisse. D'une manière générale, les filières d'élimination sont peu satisfaisantes. Dans cette optique, la codigestion avec des boues de STEP ou du purin pourrait être intéressante pour des quantités trop faibles pour justifier un digesteur propre sur le site d'un abattoir. Leur digestion est cependant bien connue et ne nécessite pas d'être approfondie. Des problèmes techniques restent par ailleurs à résoudre (hachage, flottaison,...) mais ils ne peuvent pas l'être en laboratoire. Ce déchet ne sera donc pas retenu pour la suite de l'étude.

3.2.4. Marc de raisin

Le marc de raisin est constitué de pellicules, rafles et pépins. Le pinot noir est éraflé avant sa fermentation.

Le marc constitue un excellent engrais, riche en matière organique et contenant en plus :

- Ntot : 6 kg/t de marc
- P_2O_5 : 5 kg/t de marc
- K_2O : 7 kg/t de marc
- Mg : 1 kg/t de marc.

Après avoir été composté pour éviter les problèmes que pose sa dégradation dans le sol, il est généralement épandu dans les vignes. De l'avis de certains producteurs (Germanier et Rouvinez en Valais, Caves de Bonvillars), son écoulement ne pose pas de problème. Selon l'Office de la viticulture du canton du Valais, le marc ne peut cependant pas toujours être utilisé sur les vignes cultivées en production intégrée (40 % de la surface viticole du canton) car, dans les sols déjà riches, les concentrations en azote

et phosphore dépasseraient les normes. Provins, qui produit 15 mio l de vin sur 50 mio l pour tout le Valais, livre, avec quelques autres petits producteurs, 1'500 t/an de marc à l'usine d'incinération d'Uvrier, représentant environ le 20 % de la production cantonale. Le traitement de ces quantités ne se fait cependant pas sans problème (odeurs, trop d'humidité, écoulement du compost). Un gros producteur du canton de Vaud, Uvavins, qui produit env. 700 t/an de marc (soit 1/8 de la production vaudoise) doit les faire éliminer par une entreprise spécialisée (compostage).

En règle générale, le marc est donc principalement remis dans les vignes après compostage. Les gros producteurs ont cependant des problèmes pour traiter et écouler le compost. La digestion du marc pourrait intéresser certains producteurs, si le traitement était mis sur pied par le canton ou les UIOM. Le marc non éraflé pose quelques problèmes techniques, qui justifierait la mise sur pied de tests. Cependant de tels problèmes ne pourront être résolus que par des essais en vraie grandeur. Par conséquent, des études en laboratoire ne semblent pas utiles.

3.2.5. Marcs de fruits

Les marcs de fruits, principalement de pommes et poires, sont générés lors de leur pressage en vue de la fabrication de jus (*Tester*). Une dizaine de grandes entreprises situées principalement dans les cantons de Thurgovie et Lucerne (Obi, Pom d'Or-Ramseier, ...) en produisent de 2'000 à 5'000 t/an pour les pommes et de 1'000 à 3'000 t/an pour les poires, avec de grandes variations d'une année à l'autre. Ces déchets, produits entre les mois de septembre et novembre, suivent des filières différentes selon leur état :

- à l'état humide, en automne, ces résidus sont utilisés directement dans l'agriculture;
- une petite partie, toujours plus faible, est utilisée en distillerie; les résidus (*Schlempe*) partent alors également comme nourriture pour animaux, comme chez Pom d'Or à Sursee ou Diwisa SA à Willisau. Ils ne sont pas pris ici en considération car étant trop liquides (2.2 à 2.6 % MS);
- la plus grande partie est séchée et écoulée comme fourrage.

Selon l'association CAVO (Centralgenossenschaft für alkoholfreie Verwertung schweizerischer Obstprodukte, à Bischofszell), l'élimination de ces déchets est plus ou moins réglée à l'heure actuelle mais risque de poser des problèmes importants ces prochaines années.

Les caractéristiques des marcs de fruits figurent dans le tableau ci-après.

Tableau 3 : Caractéristiques des marcs de pommes et poires

Caractéristiques	Marc de pommes (Apfeltrester)	Marc de poires (Birnentrester)
matière sèche (% de la MF) ⁵	13 à 17	
matière organique (% de la MS)	80 à 90	
pH	4	
acides gras volatiles (VFA) :		
- acide acétique (ppm)	1'600	
- acide propionique (ppm)	600	
alcool :		
- éthanol (ppm)	100	
- méthanol (ppm)	140	
protéine brute (%) ⁶	4.2	4.0
cellulose brute (%)	18.6	32.6
graisse brute (%)	1.3	1.0

Par leur forte teneur en sucre et en alcool, les marcs (*Trester*) constituent un matériau très énergétique mais trop rapidement dégradable. Il est donc intéressant d'envisager leur codigestion avec d'autres déchets moins rapidement dégradables pour éviter des blocages dans les digesteurs.

Des essais menés par la Station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural (FAT) de Tänikon ont montré que l'adjonction de quelques pour-cent de marcs de fruits dans une installation agricole de biogaz mésophile en milieu humide conduisait à une augmentation sensible de la production de gaz (Wellinger, 1985). Les résultats obtenus avec des marcs faiblement dilués (8 à 11 % MS) ont été les suivants (avec contrôle du pH en continu) :

Tableau 4 : Production de gaz de marcs de fruits faiblement dilués (Wellinger, 1985)

Temps de séjour (jour)	Production (m ³ gaz/m ³ réacteur.jour)	Rendement (m ³ gaz/kg MO intr.)
10	2.5	0.294
15	2.0	0.353
20	1.3	0.306

⁵ Analyses effectuées par la FAT (1985)⁶ Analyses effectuées par CAVO (17.7.1991)

Ainsi, les marcs de fruits constituent un potentiel énergétique important par codigestion. Les cidreries présentent en outre l'avantage d'avoir des besoins en énergie qui pourraient être couverts par la production de biogaz.

Des essais en laboratoire seraient encore nécessaires pour préciser les proportions et les limites de charge à respecter pour optimiser leur codigestion des points de vue biologique et énergétique.

3.2.6. Petit lait

En Suisse, le petit lait est utilisé de la manière suivante (UCPL, 1997) :

- 90 à 95 % de la production, soit environ 1,15 mio t, sont acheminés directement des fromageries vers des élevages de porcs;
- environ 1%, soit 12'000 t/an, est utilisé pour la production de boissons et de lactose;
- le reste est transformé en poudre à des fins d'alimentation pour animaux (1'500 à 3'500 t/an) ou pour l'industrie alimentaire.

La structure décentralisée de la fabrication du fromage en Suisse, avec 1'200 fromageries, rend avantageuse à l'heure actuelle la solution de nourriture directe à l'état liquide pour les porcs (ration optimale : 6-13 l par porc et par jour; Jost, 1983). Vu la relativement faible quantité de matière sèche du petit lait, son transport sur de grandes distances n'est économiquement pas envisageable. De plus, sous forme liquide, il se conserve mal.

Les enquêtes menées auprès de producteurs donnent une vue d'ensemble de la situation en Suisse :

- 80 à 90 % des fromageries sont reliées à une porcherie, soit qu'elles exploitent elles-mêmes, soit exploitées par des paysans;
- les grands producteurs (Laiteries Réunies à Genève, Emmi à Dagmerstellen, ...) disposent de concentrateurs qui permettent l'élimination de 55 % d'eau, la matière sèche du petit lait passant alors de 6 à 12 %, voire jusqu'à 30 %, facilitant ainsi son transport et sa conservation;
- Sântis ou Emmi vendent toute leur production (30'000 et 40'000 t/an respectivement) à raison de 30 à 50 % pour les élevages (1 l de concentré remplace 2 kg d'orge) et le reste pour la transformation en poudre ou l'industrie alimentaire;
- les Conserve d'Estavayer SA, fabricant de produits laitiers, produisent environ 30'000 t/an de petit lait (acide et doux); ils en vendent

quotidiennement un peu plus de la moitié sous forme liquide à des paysans et des porcheries, le reste étant concentré puis écoulé pour l'alimentation des porcs et veaux (par l'intermédiaire d'une entreprise de transport sous contrat pour les 5 prochaines années);

- l'entreprise fribourgeoise Milco SA achète le petit lait d'une vingtaine de fromageries, soit 15 à 20'000 t/an, qu'elle concentre et transforme en poudre pour le commercialiser (Wander, Knorr, alimentation animale, ...).

Selon les entreprises susmentionnées, ainsi que selon l'avis de l'Office fédéral de l'agriculture, si de bonnes conditions d'hygiène sont respectées, l'écoulement du petit lait ne pose pas de problème à l'heure actuelle.

Si la situation concernant le traitement du petit lait est restée stable depuis ces 20 dernières années, des changements pourraient néanmoins intervenir à l'avenir pour les raisons suivantes :

- restructuration conduisant à la concentration de la production de fromage et à la suppression de petites fromageries;
- augmentation de la production de fromages donc des quantités de petit lait pour lequel il faut trouver des filières;
- stagnation des élevages de porcs qui absorbent aujourd'hui la plus grande part du petit lait;
- manques de perspectives pour l'évolution du marché de la poudre de petit lait, déjà actuellement limité et déjà en concurrence avec le lait écrémé et le babeurre utilisés comme aliments pour bétail.

Dans ce contexte, l'Union centrale des producteurs suisses de lait a été interpellée pour étudier la valorisation future du petit lait (UCPL, 1997). Ainsi, elle préconise principalement la poursuite de la valorisation sur place dans des élevages de porcs; pour de grands producteurs ou des installations sans élevage de porcs à proximité immédiate, le transport du petit lait vers les élevages est conseillé, après concentration. Tant que ces solutions avantageuses sont possibles, une valorisation industrielle nécessitant d'autres investissements ne pourra pas se développer. Dans la recherche de nouveaux débouchés, des essais comme nourriture pour l'alimentation des bovins sont entrepris (quantité maximale moyenne de 30 à 40 kg par jour et par bête, 70 à 80 kg pour les vaches laitières). Par ailleurs, les élevages de porcs devraient encore offrir des possibilités, puisque en moyenne la quantité fournie actuellement est de 2,35 kg par jour et par porc, alors que théoriquement la ration maximale est de 8 à 12 kg (UCPL, 1997).

A l'heure actuelle, le petit lait est donc considéré comme une matière première de valeur et non comme un déchet. Ses principales caractéristiques sont⁷ (en % de la MF) :

- Matière sèche : 6.4 %
- Lactose : 4.9 %
- Protéine : 0.7 %
- Matières minérales : 0.7 %
- Graisses : 0.05 %

Les essais pilotes effectués par Schindler (1986) ont montré que le gain énergétique résultant de la digestion du petit lait peut couvrir les besoins de la production du fromage.

En conclusion, les filières d'élimination du petit lait sont assurées à l'heure actuelle et dans un proche avenir. Le petit lait a en effet une valeur économique et n'est pas considéré comme un déchet. Par contre, à moyen et long terme, sa valorisation suscite quelques inquiétudes, avec des difficultés particulières dans certaines régions. Dans la recherche de solutions alternatives, l'Union centrale des producteurs suisses de lait et l'Office de l'agriculture n'envisagent pas sa digestion ou codigestion, tant que la valorisation alimentaire est possible.

Bien que la digestion du petit lait soit connue, des essais en laboratoire de codigestion avec d'autres déchets et la publication des résultats permettraient de rendre attentifs les milieux intéressés à une filière énergétique.

⁷ Eidg. Forschungsanstalt für Milchwirtschaft, 1982 (in Schindler, 1986).

4. Conclusion

Sur la base de recherche dans la littérature, de contacts avec des producteurs et des spécialistes, ainsi que de visites dans des lieux de production, une sélection des déchets organiques industriels a été effectuée en vue de tester leur codigestion en laboratoire.

Les déchets suivants n'ont pas été retenus pour la suite de l'étude :

- les légumes, car leur digestion est bien connue (épluchures, légumes abîmés) ou étant souvent trop liquides (eaux de lavage);
- le marc de café, car les filières d'élimination sont satisfaisantes;
- les déchets de fabrication de condiments, car ils sont appelés à disparaître dans un proche avenir, le procédé de fabrication allant être modifié;
- les contenus de panes, car leur digestion est bien connue et la résolution des problèmes techniques ne peut se faire que dans des digesteurs pilotes ou industriels;
- le marc de raisin, dont les essais en laboratoire ne permettraient pas de résoudre des problèmes techniques.

Par contre, les marcs de fruits, de même que le petit lait, constituent des matériaux dont la codigestion mérite d'être approfondie, pour les raisons suivantes :

- pour les marcs de fruits, les proportions de mélange ainsi que les limites de charge à respecter pour optimiser leur codigestion du point de vue biologique et énergétique ne sont pas connues;
- le petit lait représente un potentiel important dans toute la Suisse. Si actuellement il ne pose pas de problème d'écoulement, il pourrait en poser à moyen terme. La codigestion n'est pas suffisamment envisagée dans les bilans énergétiques des fromageries, bien que bénéficiant des résultats positifs de différents essais. Des tests en laboratoire permettraient de relancer l'intérêt pour une filière énergétique.

Yverdon-les-Bains, le 14 mai 1998

biol conseils s.a.

M. Glauser

A. DuPasquier

ANNEXES

1. Documents consultés

2. Entreprises, institutions et spécialistes contactés

ANNEXE 1. DOCUMENTS CONSULTÉS

- Arbi, 1991, *Vergärung biogener Abfälle aus Haushalt, Industrie und Landschaftspflege*
- Arbi, *Co-Vergärung von festen und flüssigen Substraten*
- Egger K., 1997, *Schweizerische Statistik erneuerbarer Energieträger, OFEN*
- Jost M., 1983, *Optimale Verwertung von Nebenprodukten der Milchverarbeitung in der Schweinefütterung*, Zentralblatt der Land- und Michwirtschaft, (23.6.1983)
- Kuhn E., 1995, *Kofermentation*, KTBL, Darmstadt
- Nyns E.J. & Thomas I.R.S., 1997, *Biogas waste*, LIOR (CD-ROM)
- Maitenaz M., 1982, *La méthanisation du lactosérum en fromagerie*, Institut de la technique du Gruyère, France
- Pacer, 1992, *Biogaz à partir de déchets industriels et ménagers*
- Schindler M., 1986, *Verfahren zur Reinigung und energetischen Nutzung von Käsereiabwasser und Molke*, Dissertation ETH Nr. 8168
- Union centrale des producteurs suisses de lait (ZVSM-UCPL), 1997, *Künftige Verwertung der Schotte*, Kurzbericht (5.2.1997)
- Union suisse des Paysans, 1996, *Milchstatistik der Schweiz*, Brugg
- Verband Deutscher Maschinene- und Anlagenbau, 1997, *Anlagen und Komponenten zur anaeroben Abfallbehandlung*, Frankfurt/Main
- Wellinger A., Egger K. & Sutter K., 1985, *Biogasproduktion und -verbrauch : biologische und verfahrenstechnische Grundlagen*, Comptes-rendus de la station fédérale de recherches d'économie d'entreprise et de génie rural de Tänikon (FAT), No 23

**ANNEXE 2. LISTE DES ENTREPRISES, INSTITUTIONS ET SPECIALISTES
CONTACTES**

- Abattoirs de Lausanne, M. Pahud
- Abattoirs d'Yverdon-les-Bains, MM. Thomet, Gaille et Chorno
- Arbi, Maschwanden (ZU), M. W. Edelmann
- Badoux H. , vins, distillerie, Aigle, M. Cuénot
- Caves des viticulteurs de Bonvillars et environs, Bonvillars (VD)
- CAVO, Centralgenossenschaft für alkoholfreie verwertung schweizerischer
 Obsprodukte, Bishofszell-Nord, M. Siegenthaler
- Cellulose - Attisholz AG, Lützbach (SO), M. U. Sieber
- Centravo AG, Zurich, M. Gutermann
- Champignons Ducommun St-Sulpice SA, St-Sulpice (NE), M. J. Ducommun
- Conserves d'Estavayer SA, Estavayer-le-Lac (FR), M. von Niederhauser
 (petit lait)
- Conserves d'Estavayer SA, Chez-le-Bart (vinaigre)
- DIWISA SA, Willisau (LU), Mme Brucker (distillerie)
- Emmi, Dagmerstellen (LU), M. Stampfli (produits laitiers)
- EREP, Aclens (VD), Y. Membrez
- Fromagerie de Provence, Provence (VD), M. P.-A. Fragnière
- Germanier J., Conthey (VS) (viticulteur)
- Haco AG, Grümligen, M. Biggler
- Haecki, M. Laurent, Bâle (jus de fruits)
- Joker, Sion (jus de fruits)
- Knorr-Nährmittel AG, Thaynsen, Mme A. Zwyssig
- Laiteries Réunies, Genève, M. Chauvet
- Micarna SA, Courtepin, M. Enderli
- Micarna SA, Bazenheid, M. Brun
- Milco SA, Sorens (FR), MM. E. et S. Ropraz (produits laitiers)
- Nestlé, Orbe (VD), M. Foetisch
- Nestlé Suisse, Vevey (VD), M. P. Kunz
- Nestlé-Maggi, Kempttal, MM. Lavater et Oeler
- Office fédéral de l'agriculture, M. Künstli (petit lait)
- Office fédéral de l'agriculture, M. Rothen (vigne)
- Office vétérinaire fédéral, M. Ch. Jaggi
- Office de la viticulture du canton de Vaud, Morges, M. Jotterand
- Office de la viticulture du canton du Valais, M. M. Pont
- Pom d'Or (Ramseier), Kiesen, M. Frankhauser (jus de fruits)
- Pom d'Or, Sursee (LU), M. Wälti (jus de fruits et distillerie)
- Provins Valais, Fédération des cavés de producteurs de vins du Valais, Sion
- Reitzel (Suisse) SA, Aigle, M. D. Droz (condiments)
- M. J.-B. Rouvinez, viticulteur, président de Viti-Suisse, Sierre

-
- Sântis Käse Produktion AG, Gossau (SG), Mme Küster
 - Schweiz. Obstverband, Zug
 - Service de l'environnement et de la protection des eaux du canton de Vaud (SEPE), M. Mayor
 - Service de la protection de l'environnement du canton du Valais, Sion, Mme I. de Riedmatten
 - Station fédérale de recherches laitières, Liebefeld, M. P. Lavanchy
 - Toni Holding, Thun, M. Beyeler (produits laitiers)
 - Union centrale des producteurs suisses de lait (UCPL/ZVSM), Berne, MM. T. Reinhard et B. Stierli
 - Union suisse des paysans (USP), Brugg (AG)
 - Uvavins, Tolochenaz (VD), Mme C. Fontannaz
UTO, Uvrier (VS), M. Terrettaz
 - Verband schweiz. Hersteller von Suppen und saucen, Berne, M. Hodler
 - Vuillamy SA, Cheseaux-sur-Lausanne, M. Cudré
 - Wellinger A., Aadorf