

service des eaux,
sols et assainissement

sesa



Epuration des petits-laits d'alpages par culture fixée sur lit de compost

Rapport technique
(mars 2004)

SESA - Laboratoire
Jean-Jacques Fiaux
Ch. des Boveresses 155, CH-1066 Epalinges
Tél. : +41(0)21 316 71 81 Fax : +41(0)21 316 71 82
jean-jacques.fiaux@sesa.vd.ch

TABLE DES MATIERES

RESUME	3
INTRODUCTION	3
1. PROCEDE DE TRAITEMENT, GENERALITES	5
2. DISPOSITIF DE TRAITEMENT	5
3. ESSAIS ET RESULTATS	6
3.1 Site de « Pra Cornet ».....	6
3.1.1 Résultats après trois années d'exploitation.....	7
3.1.2 Prélèvements des jus résiduels.....	8
3.1.3 Résultats obtenus et interprétation.....	8
3.1.4 Analyse du compost « post essai ».....	9
3.2 Site des « Grands Plats-de-Bise ».....	11
3.2.1 Résultats après deux années d'exploitation.....	11
3.2.2 Résultats obtenus et leur interprétation.....	12
3.3 Essais à « La Coulette ».....	15
3.3.1 Résultats obtenus.....	16
3.3.2 Difficultés rencontrées et enseignements tirés.....	16
4. INFLUENCE DU PROCEDE SUR LA QUALITE DES FROMAGES (Contamination butyrique).....	17
5. ELEMENTS CONSTRUCTIFS	17
5.1 Bases de dimensionnement.....	17
5.2 Construction.....	17
5.3 Qualité requise pour le compost.....	18
5.4 Matériel et coûts indicatifs.....	19
5.5 Schéma de construction.....	20
6. CONCLUSIONS	21
REFERENCES	22
REMERCIEMENTS	22

RESUME

Les pollutions récurrentes que subissent les ruisseaux de montagne, régulièrement souillés par les déversements de résidus de la production fromagère dans les alpages, constituent un problème difficile à résoudre. Les procédés d'épuration traditionnels ne sont en effet pas adaptés aux conditions climatiques et opérationnelles de ce type de production.

Le laboratoire du Service des eaux, sol et assainissement du canton de Vaud (SESA) a développé un système de traitement spécifique, utilisant une biologie fixée sur support de compost.

Deux unités pilotes ont été réalisées ; l'une dans un alpage des Préalpes vaudoises (« Pra Cornet » près de Château-d'Oex), l'autre dans le Jura (« Grands Plats-de- Bise » à la Vallée de Joux). Une troisième unité d'étude, installée au centre de compostage de « La Coulette » à Belmont-sur-Lausanne, a permis de compléter les essais et optimiser la conception et les rendements. Les résultats préalablement obtenus en laboratoire, de l'ordre de 99% d'abattement de la matière organique, ont été confirmés sur les sites d'expérimentation.

INTRODUCTION

Le lactosérum (petit-lait) est le résidu liquide obtenu après la fabrication du fromage. La transformation de 1'000 kg de lait produit environ 100 kg de fromage et génère de 800 à 900 litres de lactosérum. Un litre de ce liquide contient environ 50 g de matière organique facilement dégradable et correspond pratiquement à la charge polluante rejetée par un habitant. En d'autres termes, la fabrication de 100 kg de fromage est cause d'une pollution (organique) équivalente à celle d'une localité de 800 habitants, si le petit-lait est rejeté tel quel dans la nature.

Le lactosérum est un résidu de bonne valeur alimentaire, riche en protéines, en sucres et sels. Toutefois la plupart des alpages fromagers manquent de débouchés économiques pour ce sous-produit qu'ils ne peuvent ni valoriser sur place, ni évacuer rapidement en plaine. Lorsqu'il ne peut pas être utilisé directement, pour l'affouragement de porcs par exemple, le lactosérum doit être éliminé. Ceci se fait souvent par mélange dans la fosse à purin ou par épandage direct à proximité de l'exploitation, d'où il peut ruisseler dans un cours d'eau. Parfois il s'écoule même directement dans le ruisseau situé en aval. Ces pratiques (illicites) sont à l'origine d'une pollution chronique de nombreux cours d'eau de montagne durant la période estivale. Ces pollutions peuvent également porter atteinte à des ressources souterraines en eau potable, particulièrement en milieu karstique.

Ces circonstances ont incité le laboratoire du Service des eaux, sols et assainissement (SESA) à entreprendre le développement d'un concept de traitement des petits-laits d'alpage. Un cahier des charges précis a été élaboré. Le système devait être adapté aux conditions de rusticité, voire de précarité caractéristiques de l'économie pastorale : peu sophistiqué, efficace et surtout très économique à réaliser et à exploiter.

Le système de traitement développé utilise un support biologique constitué de compost « vert », sur lequel le lactosérum est déversé par charges régulières. L'activité bactérienne qui s'y développe digère la matière organique en produisant une forte exothermie (température pouvant monter jusqu'à 50-60°C) induisant en même temps l'évaporation d'une fraction importante de liquide. L'évaporation peut être suffisante pour supprimer les résidus liquides récupérés à la base du dispositif. La présence (optionnelle) de vers rouges (*Eisenia Fetida*) adaptés au milieu assure un brassage des premiers centimètres d'épaisseur, ce qui maintient l'homogénéité du support et améliore la ventilation (oxygénation) de la biomasse active. Plus à l'intérieur, la température devient excessive pour les vers.

Les essais se sont déroulés sur 3 sites. Un premier module a été installé en 2001 sur l'alpage de « Pra Cornet » à 1646 mètres d'altitude, sur le territoire de la commune de Château-d'Oex, dans les Préalpes vaudoises. Une deuxième installation, plus grande, a suivi au printemps 2002 sur le pâturage des « Grands Plats-de-Bise » à 1270 mètres d'altitude, sur le territoire de la Commune du Chenit dans le Jura vaudois. Un troisième module d'étude a été mis en place sur le site de la compostière de « La Coulette » à Belmont-sur-Lausanne. Ce dernier a été utilisé comme plate-forme scientifique, pour étudier de manière plus approfondie le fonctionnement du système, améliorer la construction et optimiser les conditions favorisant le rendement et la durabilité. Le Laboratoire Cantonal vaudois, l'Ecole de fromagerie de Moudon et la Station fédérale de recherches laitières de Liebefeld ont collaboré au projet. Celui-ci a également bénéficié du soutien actif de la compostière de « La Coulette ».

Il est à noter que le procédé n'est pas limité aux régions de montagne, mais peut être installé à demeure en zone de plaine.

Le présent rapport, qui présente une synthèse des essais de ces trois dernières années, constitue le résultat de cette fructueuse collaboration.



Photo 1 : « Pra Cornet », module de traitement et porcherie

1. PROCEDE DE TRAITEMENT, GENERALITES

Le procédé est basé sur le principe connu de la biologie dite « fixée », qui agit comme lit bactérien et filtre percolateur. La biomasse se développe sur un support élaboré à partir de déchets végétaux compostés (branches, herbe, déchets de jardin et végétaux de ménage, etc.). Le compost est de type horticole, criblé à 25 mm, avec un rapport azoté « N nitrate / N ammonium » supérieur à 2, de préférence de type ligneux, bien stabilisé.

Le compost héberge naturellement une biomasse complexe, faite principalement de bactéries, de champignons, d'autres microorganismes ainsi que de populations variées d'invertébrés. La forte capacité de rétention du compost, sa rugosité, sa surface spécifique élevée, son inhomogénéité et sa porosité favorisent l'adhésion du biofilm sécrété par les bactéries. Celles-ci s'enchâssent dans ce milieu que l'on nomme à juste titre « cultures fixées » (par opposition aux micro-organismes qui constituent les boues activées des stations d'épuration). La présence de vers rouges (*Eisenia fetida*) favorise le brassage et l'aération du compost.

Lorsque le lactosérum est épandu sur le compost, les particules grossières sont retenues en surface et oxydées par la biomasse qui s'y trouve. La matière soluble et les particules plus petites sont entraînées par gravité au sein de la masse active où le processus de digestion aérobie se poursuit. La granulométrie du compost a été optimisée pour assurer un temps de passage (et donc de contact) suffisant pour permettre la dégradation quasi totale de la matière organique.

Les critères de fonctionnement principaux sont une bonne oxygénation du milieu, la distribution homogène du petit-lait dans la biomasse ainsi qu'un apport régulier de liquide.

2. DISPOSITIF DE TRAITEMENT



Photo 2 : Système d'aspersion de « Pra Cornet »

Le lactosérum produit journallement est stocké dans une cuve tampon d'une capacité appropriée (en principe au moins équivalente à celle d'une production journalière). Il est ensuite réparti par charges séquentielles régulières sur une durée de 24 heures au moyen d'une pompe. Le système d'aspersion est placé à la surface du lit de compost. Il est formé de tuyaux de plastique de 13 mm de diamètre, disposés de manière concentrique, percés par des trous de 2 mm. Le tuyau est entouré d'un autre tuyau perforé de 10 cm de diamètre (drain).

Il est primordial de maintenir une aération suffisante pour permettre la respiration de la biomasse. Le système est donc aéré par en bas et par en haut au moyen de drains placés judicieusement et de refus de tamisage du compost, de granulométrie plus grande que celle du compost bioactif, de manière à créer un passage pour l'air.

Ceci ménage des ouvertures permettant une bonne circulation de l'air à travers tout le système. L'ensemble est recouvert d'une membrane de géotextile qui prévient la prolifération intempestive de mouches (résultat d'une expérience, voir point 3.1.1, Essai 2001), retient les odeurs, permet l'évacuation de l'eau vaporisée dans le compost et empêche l'infiltration d'une grande partie des eaux de pluie dans le compost.

Lorsque l'infiltration du percolat dans le sous-sol est admise (hors des zones de protection des eaux souterraines), le fond du lit de compost peut être installé directement au contact du sol, voire sur un lit de pierres. Le passage dans le sol permet un traitement complémentaire du résidu. Si l'infiltration n'est pas recommandée ou interdite, le percolat qui descend à travers le système doit être récupéré sur une bâche plastique de fond, puis dirigé par gravité dans un puits et extrait par pompage (NB : dans l'un des essais il a toutefois été constaté une évaporation totale de l'eau et l'absence de percolat dans le fond).

3. ESSAIS ET RESULTATS

3.1 Site de « Pra Cornet » (1646 m/mer)

Le pâturage de « Pra Cornet », d'une surface de 50 ha, est exploité par Monsieur Olivier Rossier. Un cheptel de 70 vaches laitières assure la production de 10 tonnes par an de fromage labellisé « L'Etivaz ». L'alpage est exploité de fin mai à mi-septembre. Une partie du petit-lait est distribuée aux porcs, le solde étant mélangé au purin.

En 2001, la Commune de Château-d'Oex, préoccupée par de fréquentes pollutions des petits ruisseaux locaux par des excédents de petit-lait, décidait de participer à un essai basé sur les travaux préliminaires réalisés au laboratoire du SESA, en prenant en charge une partie de son financement.



Carte 1 : « Pra Cornet », à proximité du Col des Mosses

3.1.1 Résultats après trois années d'exploitation

Essai 2001

Le tout premier essai a démarré le 2 juin 2001. Un volume de 500 litres de lactosérum a été réparti journalièrement en 12 séquences d'arrosages commandées par une horloge. Un total de 24'000 litres de lactosérum a ainsi été traité. Au cours de toute la durée de l'essai, les drains de fond sont restés secs, l'eau s'étant évaporée en totalité. Aucun prélèvement de percolat n'a donc été possible.

Au début du mois d'août d'importantes colonies de larves de mouches ont été découvertes à la surface du compost. Peu après, l'infestation de mouches est devenue insupportable pour l'exploitant. L'application d'insecticides spécifiques, inefficace, était de plus contraire à l'éthique de la labellisation. Cet événement inattendu a conduit à équiper l'installation d'une toile de protection recouvrant le dispositif d'arrosage, qui s'est révélée être une excellente solution contre la prolifération incontrôlée des mouches.

Des problèmes persistants d'odeurs ont été réglés par la mise en place d'une couche de compost au-dessus du dispositif d'arrosage. Cette couche, agissant probablement comme biofiltre tout en activant la ventilation, a éliminé définitivement la gêne olfactive. Ce constat a pu être confirmé au cours de l'essai de 2002.

A fin 2001, une partie de la production fromagère de « Pra Cornet » a été déclassée pour cause de contamination par des bactéries butyriques (source de mauvais arômes). Bien qu'il n'ait pas été possible d'établir une relation de cause à effet entre le système de traitement du lactosérum et la contamination butyrique, l'essai prévu en 2002 a donc été conditionné à un surcroît important de précautions pour s'assurer que le phénomène ne se reproduirait pas. La production de lait et de fromages a été régulièrement contrôlée par des analyses faites par l'Ecole de fromagerie de Moudon.

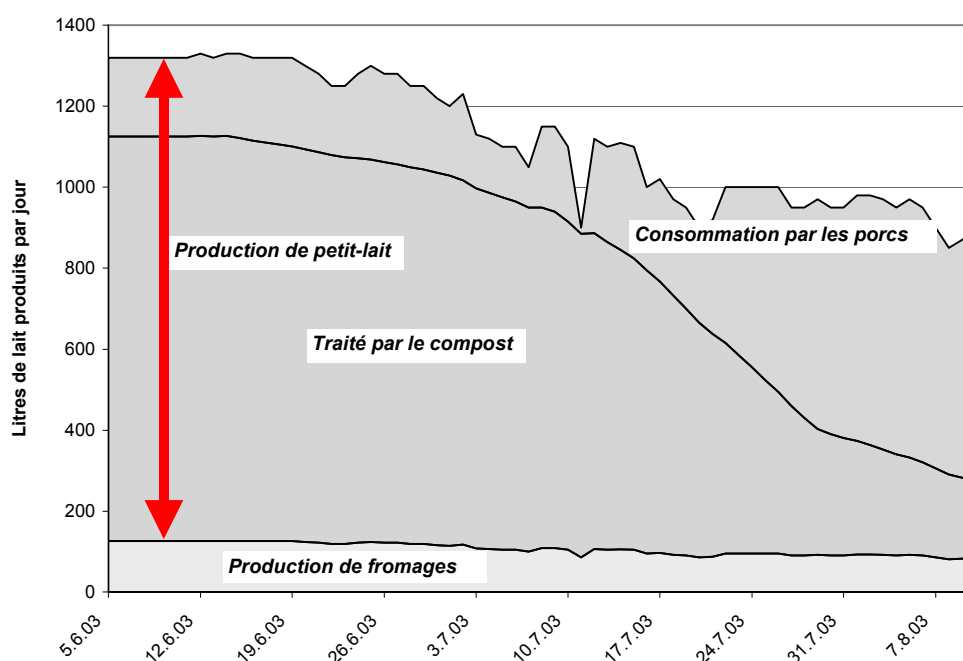
Essai 2002

A fin juillet 2002, après réception d'une autorisation par l'école de Moudon, un nouvel essai a pu démarrer sur une installation améliorée. Durant la période d'août à septembre, 12'500 litres de petit-lait ont été traités, confirmant les résultats prometteurs de 2001 (absence de rejets aqueux dans les drains de fond, disparition des odeurs et aucune prolifération de mouches).

Essai 2003

Un troisième essai a eu lieu du 4 juin au 7 août 2003. Durant la période initiale, 1'100 litres de lactosérum ont été traités journalièrement, sans apparition de liquide à la base de l'installation. Par la suite, les quantités introduites dans le système ont diminué (voir Graphique 1), car une partie croissante du lactosérum était utilisée pour l'alimentation porcine. Cette dernière a fini par absorber la totalité du petit-lait dès le 8 août 2003.

Au total, près de 47'000 litres ont ainsi été traités en trois mois, ici encore sans apparition de liquide dans les drains de fond prévus pour les récolter, sans odeurs et sans mouches.



Graphique 1 : Production à l'alpage de « Pra Cornet »

3.1.2 Prélèvements des jus résiduels

Un dispositif constitué de deux piézomètres destiné à collecter les jus en aval du tumulus de compost a été mis en place. Le premier piézomètre était installé à proximité du compost (piézo B), le deuxième à 5 mètres en aval (piézo A). Au vu des quantités très faibles de liquide récoltées (particulièrement dans B) nous n'avons pu procéder qu'à un nombre restreint d'analyses.

3.1.3 Résultats obtenus et interprétation

Analyses	DBO ₅	DCO	COD	pH	Conductivité	P total	P ortho	Ammonium
Lieu	mg O ₂ /l		mg C/l		µScm-1	mg P/l		mg N/l
Piézo A	36	106	40	7.60	1300	0.07	0.02	0.65
Piézo B			384	8.46	3250		0.01	58.80

Tableau 1 : Analyses des jus des piézomètres situés en aval du tumulus de « Pra Cornet »

La perméabilité des sols a fortement réduit les possibilités de prélèvement d'échantillons. Les teneurs en phosphore des échantillons A et B étaient très faibles. L'échantillon B possédait une conductivité conforme à celle attendue pour un jus de petit-lait traité. Les concentrations en ammonium dans B indiquaient une bonne transformation de l'azote protéinique.

Les analyses bactériologiques au point A, 5 mètres à l'aval, ont montré une absence de contamination des eaux par des bactéries fécales.

Date	Echantillon	E. coli	Entérocoques
28.08.2003	Piézo A*	2	0
02.09.2003		0	0

* dénombrement par filtration

Tableau 2 : Analyses bactériologiques des eaux récoltées dans les piézomètres situés en aval du tumulus de « Pra Cornet »



Photo 3 : Emplacement des piézomètres de « Pra Cornet »

3.1.4 Analyse du compost « post essai »

Une analyse du compost a été demandée début septembre 2003 au Professeur Jean-Michel Gobat de l'Université de Neuchâtel. Nous donnons ci-après un extrait de son rapport du 24 décembre 2003.

« Un échantillon de compost ayant servi durant 3 années consécutives a été remis au laboratoire d'écologie végétale de l'université de Neuchâtel à fin d'analyses.

Le fonctionnement global de l'installation peut-être qualifié de bon par rapport à l'évolution de la matière organique, notamment celle qui est apportée par le petit-lait. Sur la base de nos analyses, on constate qu'il est "digéré" rapidement par le compost. Ce dernier semble bien l'absorber et le transformer de telle manière que les couches sous-jacentes n'aient plus de caractéristiques spécifiques.

Quatre aspects sont à surveiller de près :

- Risques de colmatage autour des orifices d'apport du petit-lait
- L'anoxie possible de la masse du compost
- Une bonne résistance du sol face à d'éventuels apports du compost (surveiller avec soin les écoulements latéraux)
- Le compost est un substrat éminemment changeant au cours de la saison. Les analyses effectuées sur un seul prélèvement dans l'année ne disent rien des flux et du comportement dynamique du système.

L'alternance de couches de compost de granulométries différentes pourrait améliorer la condition du milieu et ainsi augmenter encore le taux d'oxydation de la matière organique et de celle de l'ammonium en nitrate par exemple. »

Hauteur	pH	Ammonium	Nitrate	Nitrite	Azote	Ammonium	MS	MO	rapport C/N
		Extraction CaCl ₂			N kg/t MS	%	% de MS		
		mg N/L							
Surface	7.4	1.53	54.52	0.34	14.20	0.23	78.40	38.10	15.60
- 50 cm	8.3	94.74	0.31	0.04	16.30	1.60	41.00	40.00	14.20
- 85 cm	8.8	80.71	0.09	0.02	13.20	0.90	42.20	34.50	15.10
- 120 cm	8.6	31.49	0.60	1.56	13.00	0.90	42.30	34.20	15.30

Tableau 3 : Analyses du compost à différentes profondeurs du tumulus



Photo 4 : Prélèvement du compost par M. Michel Gratier, pédologue au SESA

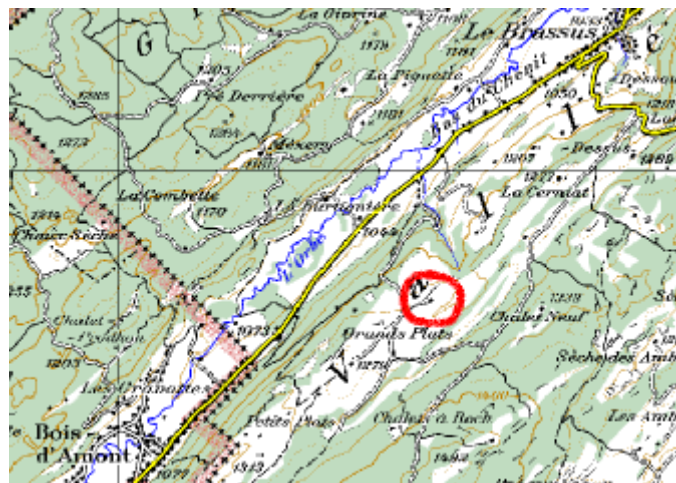
3.2 Site des « Grands Plats-de-Bise » (1270 m/mer)

Cet alpage d'une étendue de 100 ha est exploité par une association d'agriculteurs. Il héberge un cheptel de 130 vaches laitières, est actif de mi-mai à mi-octobre et produit environ 25 tonnes/an de fromage labellisé « fromage d'alpage ». La production fromagère cesse toutefois à mi-septembre.

La Commune du Chenit, « échaudée » par de graves pollutions de ses sources au début des années 90 est très sensibilisée à la protection de ses eaux souterraines. Dans ce contexte, toute solution pouvant diminuer la production porcine sur l'alpage et celle de lisiers est bienvenue.

En 2002, sur proposition des amodiateurs, la commune décide de faire construire deux tumulus de compost de 50 m² chacun (soit 100 m² au total), sur le modèle de celui qui a fait ses preuves à Château-d'Oex. L'usine de compostage de « La Coulette » à Belmont-sur-Lausanne a été chargée de la réalisation. L'alpage se trouvant cette fois en secteur S3 de protection des eaux, l'infiltration est exclue. De ce fait, le fond du système est imperméabilisé par une feuille de matière synthétique étanche, oeuvrant comme bac de rétention destiné à recueillir les jus.

L'installation des « Grands Plats-de-Bise » à une capacité quatre fois plus grande que celle de « Pra Cornet ».



Carte 2 : « Grands Plats-de-Bise », entre le Brassus et Bois d'Amont

3.2.1 Résultats après deux années d'exploitation

Essai 2002

De mi-mai à mi-septembre 2002, les installations ont traité plus de 100'000 litres de lactosérum. Le passage à plus grande échelle, par rapport à l'installation de « Pra Cornet », a été à l'origine de plusieurs difficultés de mise en œuvre, difficultés qui ont trouvé des solutions par la suite.

Le petit-lait produit en excès (partie ne pouvant être traitée par le dispositif) a été mélangé directement au contenu de la fosse à purin, parallèlement aux jus traités collectés sur le fond de l'installation. Le tout était épandu sur les prairies de l'alpage.

Le dispositif, placé à plus de 100 mètres du chalet, a rapidement été exposé à des problèmes de pompage et d'homogénéité de répartition du liquide sur le lit. Le fonctionnement sporadique de la génératrice (quelques heures par jours seulement) a empêché une aspersion régulière du compost, ce qui contrevenait aux principes fondamentaux de fonctionnement du dispositif. Plusieurs solutions de pompage ont été étudiées et testées, avec des succès divers.

Une bâche étanche, posée à la surface pour protéger l'installation contre les apports d'eau de pluie, a finalement amené plus de problèmes qu'elle ne devait en solutionner. Empêchant l'évaporation de l'eau et l'élimination de la chaleur produite in situ, elle provoquait une augmentation excessive de la température en surface, qui a dépassé 60°C. En même temps, le liquide en excès qui ne pouvait plus être évacué par le haut a rapidement saturé le fond de la masse de compost, bloquant la circulation naturelle de l'air, créant un risque d'anaérobiose et de développement d'odeurs fétides.

Une prolifération de mouches (moindre qu'à « Pra Cornet ») s'est également manifestée. Des nuisances olfactives, qualifiées de « pas très conséquentes » mais tout de même gênantes, se sont développées. Toutefois l'éloignement des installations a atténué la gêne due à ces problèmes.

Ces complications inattendues ont donné lieu à des modifications de l'installation, qui furent introduites au début de la saison 2003 (protection du compost contre les précipitations, les mouches et les odeurs).

Essai 2003

Au printemps 2003, le système d'arrosage a été réadapté et la protection du compost était désormais assurée par une bâche de géotextile poreuse.

L'essai 2003 a duré 90 jours, durant lesquels plus de 123'000 litres de petit-lait ont été répandus sur les 100 m² du lit de compost. De ces 123 m³, 48.5 m³ de jus traités ont été récupérés sur la feuille étanche du fond, soit environ 40% de la quantité introduite. Les jus récupérés ont fait l'objet d'un suivi analytique. En 2003, comme en 2002, le chalet possède toujours une alimentation électrique autonome fonctionnant sporadiquement et empêchant un arrosage régulier. La régulation des arrosages est manuelle, à raison d'une dizaine de charges journalières.

3.2.2 Résultat obtenus et leur interprétation

Les résultats obtenus aux « Grands Plats-de-Bise » confirment ceux obtenus à « Pra Cornet ».

Contrairement à l'essai des Préalpes, les quantités de jus recueillies ici sont importantes, mais la concentration en matière organique reste très faible.

La réduction obtenue sur la DBO₅ est de plus de 99%. Le pH est fortement corrigé d'une valeur acide vers la neutralité. Le phosphore est en grande partie absorbé dans le compost, l'azote protéinique est partiellement reconverti dans la masse, mais aussi évacué sous forme de sel d'ammonium dans les jus. La conductivité, qui résulte des sels solubilisés, reste naturellement très élevée.

Analyses	DBO ₅	DCO	pH	Conductivité	P total
Date	mg O ₂ /l			µScm-1	mg P/l
04.08.03	42509	78854	4.26	6870	323
08.08.03	58320	108000	3.89	6770	337

Tableau 4 : Analyses du petit-lait avant l'injection dans le tumulus des « Grands Plats-de-Bise »

Analyses	DBO ₅	DCO	COD	pH	Conductivité	P total	P ortho	Ammonium
Date	mg O ₂ /l		mg C/l		µScm-1	mg P/l		mg N/l
25.07.03	1932	3128	662	7.56	9920	30.20	3.23	242
25.07.03	1977	3153	612	7.60	9920	31.10	2.16	243
04.08.03	135	868	224	7.44	7490	22.80	7.49	106
08.08.03	83	828	220	7.73	7590	21.70	2.99	107
11.08.03	665	1736	439	7.12	8550	27.90	3.98	172
19.08.03	82	1150	223	8.16	7550	13.50	7.03	114
01.09.03	46	744	280	7.57	7360	22.30	10.20	111
29.09.03	61	1200	176	7.34	8100	29.20	14.90	213

Tableau 5 : Analyses des jus récoltés après passage sur le tumulus des « Grands Plats-de-Bise »

Dates	Charge rejetée en DBO ₅ pour 1000 litres [g O ₂]	% de la charge initiale	EH 60 g	Rendement en %
25.07.03	1932	3.83	32.2	96.2
25.07.03	1977	3.92	33.0	96.1
04.08.03	135	0.27	2.3	99.7
08.08.03	83	0.16	1.4	99.8
11.08.03	665	1.32	11.1	98.7
19.08.03	82	0.16	1.4	99.8
01.09.03	46	0.09	0.8	99.9
29.09.03	61	0.12	1.0	99.9

Tableau 6 : Rendements calculés sur l'installation des « Grands Plats-de-Bise »

La charge polluante globale est ainsi fortement réduite. Elle passe de près de 1'600 équivalents-habitants à environ 2 à 30 selon le paramètre considéré. Ces rejets ont une charge résiduelle que l'on peut qualifier d'« inoffensive » et peuvent être épandus sur les prairies ou mélangés au purin sans problème.

A noter que si le dimensionnement originel prévoyait une charge spécifique journalière de 20 l/m², durant certaines phases de l'essai cette quantité a plus que doublé, pour atteindre un maximum de 45 l/m², ce qui explique la production beaucoup plus importante de jus et le risque de saturation du compost par le liquide. Malgré cette surcharge significative, le rendement est toujours resté satisfaisant.

Les résultats obtenus aux « Grands Plats-de-Bise » démontrent une nouvelle fois l'efficacité biologique de la biomasse présente sur le support végétal, capable d'oxyder une quantité élevée de matière organique en un temps réduit. S'ils confirment la justesse des choix, les essais montrent également les limites du procédé.

Il est ainsi indispensable de maintenir une aération suffisante de la biomasse, en évitant de saturer le support avec des excès d'eau (ce qui limite les apports spécifiques journaliers)¹ et en utilisant un compost de granulométrie appropriée. Une fois « mouillé » (c'est-à-dire gorgé d'eau), le système voit ses performances amoindries. La couche d'eau freine la diffusion de l'oxygène dans le milieu et réduit d'autant le volume réactif.

Le maintien d'une température raisonnable, inférieure à 30°C, dans la partie supérieure du compost (grâce notamment à l'évaporation qui emporte beaucoup de chaleur) est également un gage de reproduction et de survie des vers, qui pourvoient au brassage de la couche superficielle, dynamisent le travail de la biomasse en la réactivant et assurent un maintien de la diffusion de l'air.

Dans les couches plus profondes, la température peut croître jusqu'à plus de 60°C, par l'activité des bactéries thermophiles, qui oxydent la matière organique à un rythme très soutenu, confirmant la très forte activité bactérienne.

L'essai de 2003 a mis en évidence la nécessité d'assurer une bonne évacuation des jus retenus dans la bâche étanche, en prévenant leur accumulation dans le fond. En se stockant, ils tendent à colmater les entrées d'air et à inhiber la réactivité du système.

Comme à « Pra Cornet », les analyses bactériologiques ont montré la faible concentration de bactéries fécales (probablement due aux matières fécales déposées par le bétail) et l'innocuité biologique des jus pour les eaux superficielles.

¹ Avec 20 l/m², les résultats sont excellents. A 40 l/m², on peut craindre une saturation du compost et les complications qui peuvent en découler.

Les « Grands Plats-de-Bise »					
Date	Echantillon		GAE*	<i>E. coli</i>	Entérocoques
			[ufc/ml ou g]		
08.08.03	Jus traités			70	210
19.08.03				1'300	1'600
27.08.03				70	140
02.09.03				90	>100
06.10.03				4'300'000	23

* Germes Aérobie Mésophiles

Tableau 7 : Résultats d'analyses bactériologiques des percolats de l'installation des « Grands Plats-de-Bise »



Photo 5 : Les deux tertres des « Grands Plats-de-Bise »

3.3 Essais à « La Coulette »

A partir de mars 2003, nous avons complété les essais pilotes des sites de « Pra Cornet » et des « Grands Plats-de-Bise » par des essais réalisés sur des modules destinés à des études expérimentales, installés sur le site de la compostière de « La Coulette » à Belmont-sur-Lausanne.

Les quatre modules d'une superficie de 4,76 m² (1.4 m x 3.4 m), ont été remplis par du compost de deux granulométries différentes, de qualités identiques à ceux utilisés pour les essais de « Pra Cornet » et « Grands Plats-de-Bise ».

Les modules 1 et 3 contenaient du matériel criblé à 10 mm, les modules 2 et 4 du matériel criblé à 25 mm. Les modules étaient arrosés en surface par gravité.

Un volume de 37'000 litres de lactosérum provenant de l'Ecole de fromagerie de Moudon a été traité, à raison de 60, 90 et 110 litres par jour.

3.3.1 Résultats obtenus

Les modules remplis avec du compost d'une granulométrie inférieure à 25 mm ont atteint des rendements en DBO₅ de 95 à 96%, ceux remplis avec du compost d'une granulométrie inférieure à 10 mm ont atteint des rendements en DBO₅ de 98 à 99%.

Analyses	DBO ₅	DCO	pH	Conductivité
Lieu	mg O ₂ /l			µScm-1
La Coulette 1	456	3250	8.10	12090
La Coulette 2	1910	3590	8.20	10700
La Coulette 3	998	5460	8.70	11140
La Coulette 4	2376	3210	8.70	11830

Tableau 8 : Résultats moyens d'analyses des jus produits sur les modules de « La Coulette »

Lieu	Charge rejetée en DBO ₅ pour 1000 litres [g O ₂]	% du départ	EH à 60 g	Rendement en %
La Coulette 1	456	0.90	8	99.10
La Coulette 2	1910	3.79	32	96.21
La Coulette 3	998	1.98	17	98.02
La Coulette 4	2376	4.71	40	95.29

Tableau 9 : Rendements sur les modules de « La Coulette »

3.3.2 Difficultés rencontrées et enseignements tirés

Les essais réalisés à « La Coulette » ont montré l'importance du rôle que joue le dispositif d'injection du lactosérum sur le lit de compost. Les injections gravitaires ont très rapidement abouti à un colmatage des trous des tuyaux de distribution (ce qui ne se produisait pas dans les essais pilotes où le liquide était pompé sous pression).

L'utilisation d'un compost qui n'a pas pu sécher correctement à cause de l'abondance des pluies hivernales de 2002 a conduit à la formation d'une croûte peu perméable. Dans ce cas, la température interne n'a jamais dépassé 38°C. Malgré ce handicap, les concentrations en matière organique des jus de sortie ont été jugées acceptables.

4. INFLUENCE DU PROCÉDE SUR LA QUALITE DES FROMAGES (Contamination butyrique)

La contamination du fromage par des bactéries butyriques qui a eu lieu à la suite du premier essai de 2001 à « Pra Cornet » a failli jeter un profond discrédit sur le procédé. Une rumeur s'est propagée, l'incriminant comme responsable du déclassement de la production. En effet, avec la prolifération « inhabituelle » de mouches, le soupçon devenait tel que le coupable semblait tout désigné, malgré l'absence de preuves liée au fait qu'il est très difficile d'établir une relation de cause à effet. Cette situation très désagréable a conduit les responsables du projet à demander un suivi étroit de la qualité du lait durant toute la phase d'essais programmée pour 2002, suivi assuré par l'Ecole de fromagerie de Moudon. En 2002, aucune altération de la qualité des fromages n'a pu être mise en évidence.

En 2003, les fromages qui ont été fabriqués à « Pra Cornet » ont obtenu le label « L'Etivaz ». Ils ont en outre décroché une note de 19,5/20, attestant de leur grande qualité. Ceux des « Grands Plats-de-Bise » se sont également vus classés en catégorie "premier choix", avec une note de 19/20.

Ces résultats attestent (si tant est qu'une incidence ait vraiment existé) que les dispositions de confinement du système représentent une garantie de l'absence d'influence du procédé de traitement des petits-laits sur la qualité du fromage.

5. ELEMENTS CONSTRUCTIFS

5.1 Bases de dimensionnement

Le système doit être dimensionné pour traiter la totalité du lactosérum produit sur le site. Suite aux essais effectués, la grandeur de référence recommandée est de 14 litres de lactosérum par m² de compost et par jour, pour une hauteur utile de compost biologiquement actif de 1 mètre. A cela, il faut encore rajouter 2 fois 30 cm de matériel grossier (dessous et dessus), pour favoriser l'aération. On veillera tout particulièrement à construire un dispositif de niveau, pour éviter la formation d'écoulements préférentiels. Le système devra être réalisé à proximité des locaux de production.

5.2 Construction

Un stockage tampon (container) reçoit la production journalière. Celle-ci est ensuite pompée par petites charges dans l'installation de traitement. Une pompe à lait de 32 l/min est un choix approprié pour un volume résiduaire journalier de 1'000 litres. Il est recommandé d'équiper le stockage tampon d'une mesure de niveau, destinée à arrêter la pompe et éviter son désamorçage en cas de manque de liquide. Une minuterie peut gérer l'aspersion par des pompages intermittents (par exemple : 15 aspersion de 2 minutes par jour¹).

¹ Il est nécessaire d'introduire le petit-lait par charges intermittentes et non pas en continu. Ceci permet à la biomasse de s'essorer et de se réoxygéner entre deux aspersion et évite des colmatages.

Un tuyau d'arrosage plastique souple de type « Gardena[®] » d'un diamètre de 13 mm a été utilisé pour l'aspersion (rouleau de 150 m). Celui-ci est découpé à la bonne longueur et monté au moyen de raccords adaptés, de la même marque. Les tuyaux sont percés à chaud (pour éviter les bavures) par des trous de 2 mm de diamètre, espacés de 50 cm et dirigés vers le haut. Ils sont insérés dans un drain en plastique (tuyaux fendus favorisant une meilleure dispersion) de 8 à 10 cm de diamètre. Le tout repose sur un gabarit en bois dimensionné pour assurer une alimentation du lit de compost tous les 50 cm.

Le tumulus peut être carré ou circulaire. L'exemple décrit ci-après est carré. Le tumulus est confiné par un grillage en treillis de mailles de 80 x 80 mm, en plaques de 1'500 x 3'000 mm. Un système dimensionné pour 1'000 l/j requiert 12 plaques pour 70 m² ou 18 plaques pour 2 x 35 m². Il convient d'aménager dans la structure un portique d'accès (une plaque de 3 m) pour permettre le remplacement du compost épuisé. La construction est stabilisée par 12 (pour 70 m²) ou 24 (pour 2 x 35 m²) poutrelles de 200 x 12 x 12 plantées en terre (4 dans les coins avec espacement de 1,5 m).

Une feuille de géotextile (TOPEX[®] vert), placée à l'intérieur du grillage, retient le compost et le protège de la pluie tout en restant perméable à l'air. La configuration décrite nécessite environ 50 m² de géotextile. Le tumulus doit également être protégé en surface des intempéries, tout en étant perméable à l'air et à la vapeur d'eau qui doit pouvoir s'échapper. La couverture des 70 m² de filtre requiert un supplément d'environ 90 m² de TOPEX[®] vert.

Si l'infiltration dans le sol est interdite, une bâche (plastique) étanche, recueillant les jus, doit être posée dans le fond. Les jus sont évacués dans un puits de pompage, le puits étant vidé par une petite pompe.

Si l'infiltration est autorisée, il est possible de construire le dispositif sur un fond de gravier ou de petits cailloux, ou alors sur du refus de tamisage de compost. Un tel dispositif favorise l'infiltration, laquelle achève le traitement des résidus organiques encore présents dans les jus.

5.3 Qualité requise pour le compost

La partie biologiquement active du tumulus est composée de compost. Ce produit est issu de la récupération et du compostage des déchets végétaux (branches, herbe, déchets de jardin, déchets verts de cuisine, etc). Il doit posséder un degré de maturité défini pour l'horticulture, criblé à < 25 mm, avec un rapport N nitrate / N ammonium > 2. On donnera la préférence à un compost de type ligneux, bien stabilisé.

L'aération du milieu peut être assurée par la mise en place d'une première couche drainante, constituée de 30 cm de refus de criblage de compost. Par-dessus on place une épaisseur de 100 cm de compost, le tout étant recouvert d'une nouvelle couche de 30 cm de refus de criblage, favorisant l'aération et l'évaporation par le haut. La couche totalise donc 160 cm. Après quelques années d'utilisation, nous anticipons un épuisement de la capacité biologique du compost. Celui-ci devra probablement être changé. Toutefois il s'agit d'un produit propre, n'ayant en principe jamais reçu de produits contaminants, de matières fécales ou de micro-polluants et qui pourra être utilisé sur place comme excellent amendement pour les cultures.



Photo 6 : Bois trituré ou refus de compost



Photo 7 : Compost



Photo 8 : Galets, gravier

5.4 Matériel et coûts indicatifs

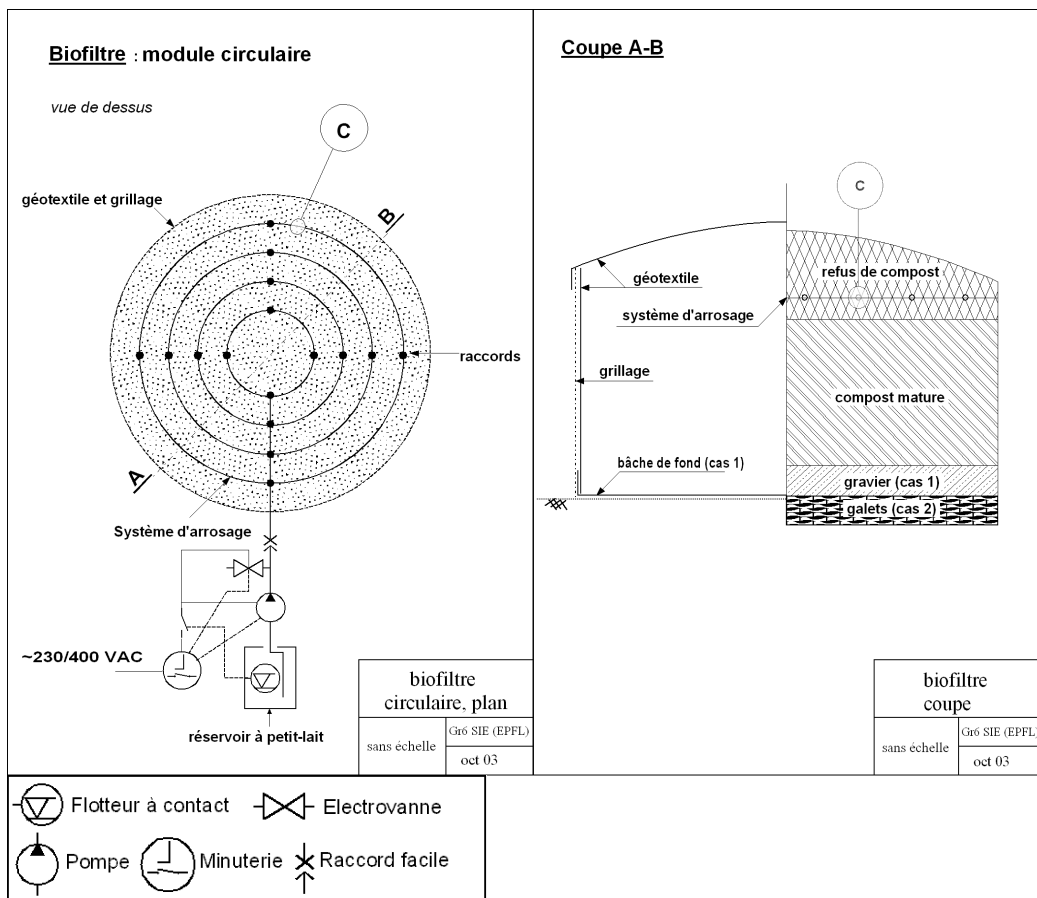
Pour 2 modules de 35 m² permettant de traiter 1'000 litres/jour,
soit 800 équivalents-habitants (EH) biochimiques

Eléments	Prix unitaire SFr.	Coût SFr.
Container	200	200
Pompe d'injection du petit-lait	250	250
Horloge de temporisation	150	150
Système de déclenchement (mesure de niveau)	200	200
Tuyau de répartition « Gardena ®» 150 mètres	60 (50 m)	180
Raccords divers	1 à 5.	200 (300 *)
Gabarit porteur 100 mètres	4	400
Drains en plastique 8 cm (100 mètres)	2.4/m	240
Compost 0-15 (70 m ³)	35/m ³	2'500
Refus de compost (2 x 21 m ³)	750	1'500
Treillis de retenue 12 plaques (18 *)	50	600 (900*)
Poutres 24 x 2 mètres	7.5 /m	360
Géotextile pourtour		210
Géotextile couverture		360
Mise en place du système (35 heures)	40/h	1'400
Total (pour 2 modules de 35 m ²)		8'570 (8'970)
Plus value pour protection contre l'infiltration		4'000
Total		(12'970)

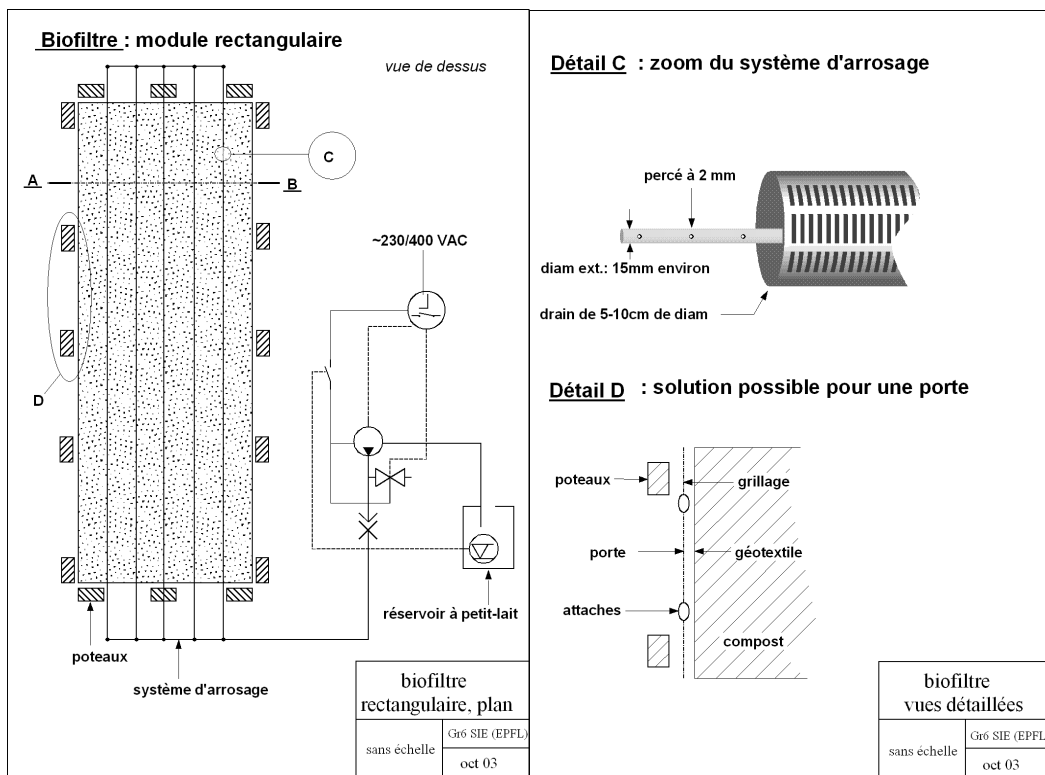


Photo 9 : Dispositif de pompage de « Pra Cornet » avec système de régulation des injections

5.5 Schémas de construction



Schémas de base pour la construction d'une installation circulaire pour l'épuration du petit-lait (dessins Gr6 EPFL-SIE)



Schémas de base pour la construction d'une installation rectangulaire pour l'épuration du petit-lait (dessins Gr6 EPFL-SIE)

6. CONCLUSIONS

Les rejets de petit-lait provenant de la production fromagère d'alpages peuvent porter atteinte aux cours d'eau de montagne et aux réserves d'eaux souterraines. La production moyenne d'un alpage correspond à la pollution produite par une communauté de plusieurs centaines d'habitants. Un procédé de traitement du lactosérum par cultures fixées sur lit de compost associé à du vermicompostage (vers rouges) a été développé pour répondre aux différents problèmes posés par ces rejets.

Le cumul de trois années d'expérience sur deux sites pilotes placés en conditions réelles, ainsi que sur une batterie expérimentale en plaine, a démontré l'efficacité, la simplicité et la faisabilité du procédé.

Les études ont permis d'optimiser la conception du système et de son mode d'exploitation, au point de la rendre parfaitement opérationnelle. Le dispositif atteint régulièrement des rendements de 99% de réduction de la matière organique. Il répond parfaitement au cahier des charges qui posait des critères précis de simplicité et d'économie de construction et d'exploitation. Il peut être réactivé en début de saison et reste opérationnel durant de nombreuses années.

Dans l'état actuel des travaux, le procédé ne permet pas l'oxydation de l'ammoniac en nitrate, mais des études complémentaires vont dans ce sens.

REFERENCES

- Menoret C. (2001), Traitement d'effluents concentrés par cultures fixées sur gravier ou pouzzolane. Thèse de Sciences de l'eau et de l'environnement continental. Université de Montpellier II.
- Laplanche J. (2004), Expérimentation d'un traitement de lactosérum par biologie fixée. Projet de Plan Pichu ; travail effectué par le « Syndicat alpagiste de Savoie » en collaboration avec l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, du Conseil Général de Savoie, et du Conseil Régional Rhône-Alpes.
- Séguret F. (1998), Etude de l'hydrodynamique des procédés de traitement d'eaux usées à biomasse fixée, application aux lits bactériens et aux biofiltres. Thèse de Mécanique. Université de Bordeaux I.
- Show K. Et Tay J. (1999), Influence of support media on biomass growth and retention in anaerobic filters.
- Thomas N. (1996), Etude du fonctionnement de la station d'épuration à lit bactérien du Pradel. Rapport de stage, ENIL de Besançon-Mamirolle.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à adresser ses plus sincères remerciements aux personnes suivantes, sans lesquelles cette aventure n'aurait probablement pas obtenu le succès escompté.

- Messieurs Philippe et Marc-Etienne Favre, propriétaires et exploitants de la Compostière de « La Coulette » à Belmont-sur-Lausanne
- Monsieur et Madame Olivier Rossier, exploitants de l'alpage de « Pra Cornet »
- Messieurs Marcel Aubert, Lionel Berney et Jean-François Pittet, exploitants de l'alpage des « Grands Plats-de-Bise »
- Les autorités de la Commune de Château-d'Oex

- Les autorités de la Commune du Chenit
- Monsieur Philippe Berthoud, Directeur de l'Ecole de fromagerie de Moudon
- Monsieur le Professeur Jean-Michel Gobat, du Laboratoire d'écologie végétale de l'Université de Neuchâtel
- Le Service cantonal vaudois de l'agriculture
- Le Laboratoire Cantonal du Canton de Vaud
- La Station fédérale de recherches laitières de Liebefeld
- EPFL SIE, Mme Chantal Seignez et ses étudiants
- M. Pierre Henchoz, Préfet du Pays-d'Enhaut
- M. Paul Rochat-Malherbe, Préfet de la Vallée
- Cave de « L'Etivaz » à L'Etivaz