

Système d'épuration du lactosérum d'alpage par culture fixée sur lit de compost

Introduction

En période d'estivage, les ruisseaux de montagne peuvent être souillés par les déversements (illicites) des résidus de la production fromagère des alpages. Le lactosérum, dont la valorisation sur place est difficile, ne peut être traité par les techniques d'épuration traditionnelles, qui ne conviennent ni aux conditions climatiques, ni à la composition du petit lait, ni aux modes d'exploitation requis par ce type de production.

Le Service des eaux, sols et assainissement du canton de Vaud (SESA) a développé un système de traitement innovateur, par passage du lactosérum à travers un filtre de compost, au sein duquel il subit une oxydation rapide.

Deux unités pilotes ont été testées en conditions réelles, l'une implantée dans les Préalpes vaudoises, l'autre dans le Jura. Une troisième unité à vocation expérimentale, installée en plaine, a été utilisée pour optimiser la conception et les rendements.

Le développement a permis d'optimiser le procédé, dont les performances sont exceptionnelles. Les matières organiques sont réduites de plus de 99% après quelques heures de temps de passage.

Présentation des essais

La transformation de 1000 kg de lait en 100 kg de fromage produit 900 litres de lactosérum (petit-lait). Ce sous-produit contient encore environ 50 g/l de matière organique (DBO) facilement biodégradable, constituée de sucres et de protéines dans une solution saline. Un litre de petit-lait correspond pratiquement à la charge polluante rejetée par un habitant (un équivalent-habitant ou EH = 60 g/l). En d'autres termes, la transformation de 1000 kg de lait en fromage produit une charge polluante équivalente à celle d'une commune d'environ 750 habitants.

Le lactosérum possède encore une valeur alimentaire intéressante. Toutefois, les alpages fromagers, éloignés des voies de communication, n'ont pas d'accès facile et rapide en plaine pour l'évacuer aisément. Lorsque le lactosérum n'est pas consommé sur place (pour l'affouragement des porcs et des

bovins), il est éliminé soit par déversement dans la fosse à purin, soit directement dans le milieu naturel par épandage ou encore par déversement dans un cours d'eau.

Durant l'été, ces pratiques sont à l'origine d'une pollution organique chronique de petits cours d'eau de montagne. Cette pollution, qui perturbe fortement l'écosystème du ruisseau, peut par ailleurs affecter les réserves d'eaux souterraines captées plus bas pour la consommation humaine.

Ces circonstances ont incité le SESA à entreprendre le développement d'un système adapté aux conditions technico-économiques de l'économie pastorale: un dispositif qui puisse allier rusticité, efficacité et économie de moyens.

Le projet a été conduit sur trois sites. Une première unité pilote a été installée au printemps 2001 dans un alpage de la commune de Château-d'Œx, situé à 1646 m d'altitude, dans les Préalpes vaudoises, à «Pra Cornet». Une deuxième unité, quatre fois plus grande et prenant en compte les premiers enseignements, a été installée au printemps 2002 dans le pâturage jurassien de la commune du Chenit à 1270 m d'altitude, aux «Grands Plats-de-Bise». Un troisième système, composé de quatre modules destinés à des études d'optimisation, a encore été créé en 2002 sur le site de compostage de «La Coulette» à Belmont-sur-Lausanne.

Comme il s'agissait de développer un système d'épuration pour répondre à une demande pressante, l'accent a été principalement mis sur la réalisation et l'optimisation des performances du procédé, au détriment peut-être d'un suivi analytique élaboré à caractère très scientifique. Par ailleurs, l'absence fréquente de rejets (due aux performances élevées du procédé) a souvent empêché la prise d'échantillons. Cela explique le faible nombre d'analyses.

Les échantillons ont été analysés selon les protocoles utilisés dans l'analyse des prélèvements de stations d'épuration.

Des essais, inspirés de ce système, ont également été entrepris durant cette période en Savoie (LAPLANCHE, 2004).

Le Laboratoire cantonal vaudois, l'Ecole de fromagerie de Moudon et la Station fédérale de recherches animales et laitières Agroscope ALP Liebefeld-Po-

sieux ont collaboré au projet. Celui-ci a encore bénéficié du soutien actif de la compostière de «La Coulette».

Procédé de traitement

Principe de fonctionnement

Le système est basé sur le principe d'épuration dit de la «biologie fixée», le support étant constitué par du compost horticole traditionnel (SHOW et TAY, 1999; THOMAS, 1996).

Le compost associe d'excellentes propriétés biologiques et physico-chimiques, qui lui confèrent les qualités nécessaires au bon fonctionnement du procédé et l'ont fait choisir comme support idéal de la biologie fixée, parmi d'autres supports notoirement moins efficaces (MENORET, 2001; SEGURET, 1998). Le compost héberge naturellement une biomasse variée et adaptée qui s'est développée au cours de sa maturation (bactéries, champignons, micro-invertébrés, etc.). Le mécanisme de compostage, qui décompose notamment la matière cellulosique et ligneuse, possède d'autres propriétés très utiles au processus: une grande porosité, une surface spécifique considérable et des caractéristiques hydrophiles élevées. Ces caractéristiques favorisent la rétention de l'eau et l'adhésion du bio-film sécrété par les bactéries, ce qui améliore leur accrochage au support¹ (d'où l'expression «cultures fixées»). On peut encore y introduire des vers rouges (*Eisena fetida*), bien adaptés au milieu, qui vont contribuer au brassage, à l'aération et à l'homogénéisation des couches superficielles. Les températures atteintes au cœur de la masse sont toutefois excessives pour la survie des vers.

La biomasse, nourrie par la matière organique facilement dégradée, digère celle-ci en produisant une forte exothermie. L'intense activité des bactéries thermophiles fait monter la température au cœur de l'installation à plus de 60 °C, provoquant l'évaporation d'une fraction

¹Un compost «idéal» doit être de type horticole, criblé à 25 mm, avec un rapport azoté NO₃/NH₃ supérieur à 2. Il doit être de type ligneux et bien stabilisé.

importante, voire de la totalité de l'eau, lorsque la charge spécifique en petit-lait n'est pas excessive. L'évaporation concentre la solution, ce qui améliore son pouvoir de déposition.

L'introduction du petit lait par charges périodiques est nécessaire pour maintenir des conditions aérobies strictes dans le milieu, en évitant de noyer le fond du filtre dans du liquide². L'épaisseur et la granulométrie de la couche bio-active ont été optimisées pour assurer un temps de contact suffisant ainsi qu'une aération appropriée.

Construction du dispositif

L'infrastructure du système est construite avec du matériel simple et peu coûteux, disponible sans difficulté dans le commerce spécialisé. La structure de base (carrée ou circulaire) est faite de pieux solidement enfoncés dans le sol. Un grillage en treillis est solidarisé à ces derniers, pour contenir la masse de compost. Une feuille de géotextile poreuse, appliquée sur l'intérieur du treillis, permet d'éviter la perte de matériel tout en maintenant une aération suffisante.

Le filtre est construit en sandwich. Le fond peut être constitué de galets ou de gravier grossier³. On dispose ensuite une première couche, faite de refus de tamisage de compost à 30 mm ou de bois trituré. Cette première couche de matière grossière favorise une bonne ventilation du fond tout en permettant une évacuation appropriée des jus. Le dispositif est ensuite rempli d'une couche de 100 cm de compost horticole. Le dispositif d'arrosage (fig. 1) est disposé sur cette couche. L'ensemble doit encore être recouvert par une nouvelle couche de 30 cm de refus de tamisage de compost. Cette dernière épaisseur assure une circulation de l'air suffisante à travers tout le système, l'évaporation de la vapeur d'eau produite dans le filtre et la réduction des odeurs (effet bio-filtre). Une feuille de géotextile poreuse doit impérativement recouvrir le tumulus pour le protéger contre le vent,



Fig. 1. Détail du système d'arrosage par aspersion de «Pra Cornet».

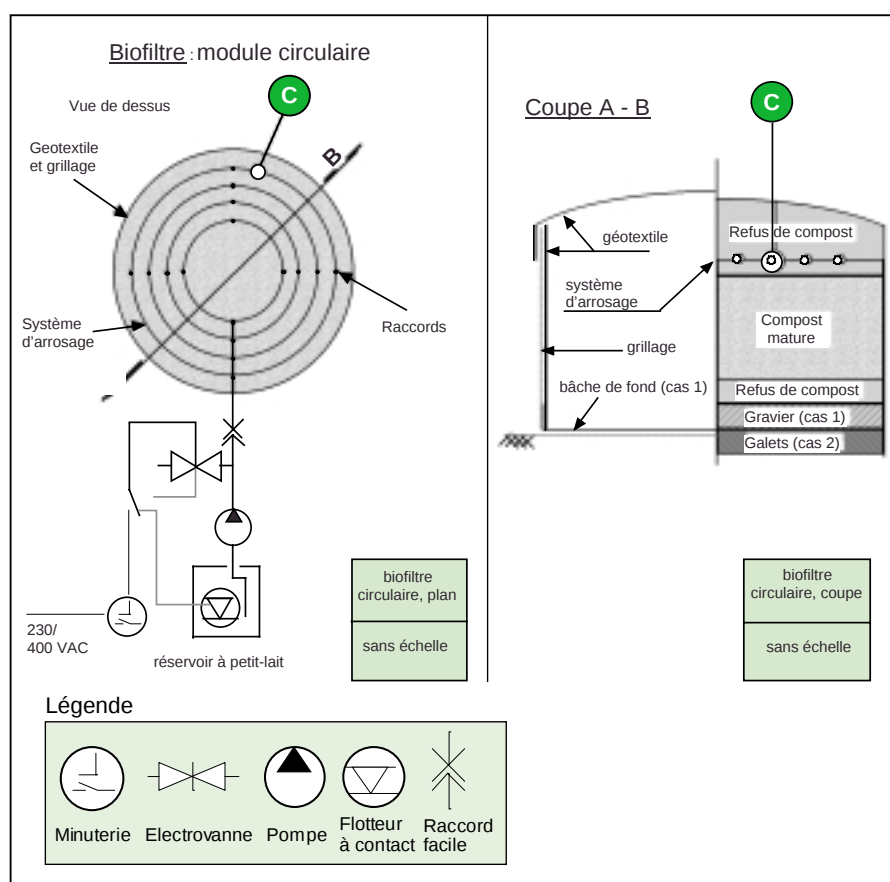


Fig. 2. Plan de construction d'un tumulus circulaire, avec description du système de pompage du petit-lait; type «Pra Cornet».

limiter l'infiltration des eaux de pluie, prévenir les invasions de mouches à la surface du compost et maintenir la capacité de ventilation (fig. 2).

Le dispositif d'arrosage est constitué d'un tuyau d'arrosage souple de 13 mm de diamètre, percé de trous de 2 mm espacés de 50 cm. Le tuyau est encore gainé par un tuyau de drainage de 10 cm de diamètre, pour améliorer la distribution du liquide sur le compost. Le tout repose sur un gabarit en bois.

La production journalière de lactosérum, stockée dans une cuve tampon, est périodiquement pompée et déversée sur le filtre par charges (typiquement 12 charges par 24 h). La pompe peut être asservie à une minuterie ou commandée manuellement⁴.

Essai de «Pra Cornet»

L'alpage de «Pra Cornet», d'une superficie de 50 ha, exploite un cheptel de 70 vaches laitières et produit annuellement environ 10 tonnes de fromage labellisé «L'Etivaz». Il est situé à 1646 m d'altitude. Le filtre contient 25 m³ de compost, pour une surface de 23 m². L'essai a duré trois saisons, de 2001 à 2003 (fig. 3).

2001: un premier essai a eu lieu du 2 juin à fin août, avec une charge journalière de 500 litres, répartie à raison de 12 apports par 24 heures. Un total de 24 000 litres de lactosérum a ainsi été traité. Durant toute la durée de l'essai, les drains de fond sont restés secs.

2002: à la suite de mesures correctives et d'adaptation, seuls 12 500 litres ont pu être traités en 2002; ils ont néanmoins confirmé les résultats de 2001, tout en démontrant la pertinence des

² Si le filtre est noyé par des excès de liquide, le contact avec l'air est empêché. Le milieu peut alors rapidement passer en conditions anaérobies, avec le développement d'odeurs fétides typiques des conditions de réduction et un traitement insuffisant.

³ Lorsque l'infiltration du percolat est autorisée dans le sous-sol, le fond pourra être constitué d'un lit de galets ou de gravier grossier (1-2 cm). L'infiltration sera facilitée et le sous-sol assurera un traitement final des éventuels jus. Si les règles de protection des eaux souterraines interdisent l'infiltration, le percolat devra être récolté sur une membrane de fond étanche (bâche) et conduit par écoulement gravitationnel dans un réservoir d'où il pourra être repompé.

⁴ Un écoulement gravitaire, sans pompage, n'est pas recommandé, l'introduction sans surpression cause le colmatage des trous du tuyau d'aspersion par la coagulation des résidus de lactosérum.



Fig. 3. «Pra Cornet», module de traitement et porcherie.

modifications introduites. Le jus de fond était également absent durant toute la période d'essai.

2003: essai du 4 juin au 7 août: initialement, 1100 litres de lactosérum ont été traités journalièrement. Par la suite, une partie, puis la totalité de la production a été absorbée pour l'alimentation porcine. 47 000 litres ont été traités en trois mois. Seules quelques traces de liquide ont été constatées dans les drains de fond, ce qui a encore une fois pénalisé la collecte d'échantillons.

Discussion

Durant les trois années de l'essai, l'absence de jus de fond a montré que le dispositif était largement dimensionné et fonctionnait avec toute l'efficacité souhaitée. La chaleur produite suffisait à faire évaporer toute l'eau et témoignait de la dégradation intense subie par la matière organique. Les quelques rares échantillons qui ont pu être prélevés sous le tumulus ont montré une très faible valeur de DBO_5 , une conductivité (salinité) conforme à celle attendue d'un résidu de petit-lait, une bonne transformation de l'azote protéinique en ammoniac et une absence de contamination fécale.

Au début d'août 2001, le dispositif a été la proie d'une invasion de colonies de larves, suivie peu après d'une infestation de mouches. Des problèmes persistants d'odeurs se sont également manifestés.

En 2002, le dispositif a donc été modifié. Le système d'arrosage a été recouvert par une couche supplémentaire de 30 cm de refus de tamisage et le compost isolé du milieu ambiant par une couche de géotextile. Ces mesures se sont montrées efficaces, puisqu'en 2002 et en 2003, plus aucune prolifération de mouches n'a été constatée. Les odeurs avaient également disparu (la couche

supérieure fonctionnant vraisemblablement comme bio-filtre).

Un échantillon de compost ayant «servi» durant trois ans a été soumis pour analyse au Laboratoire d'écologie végétale de l'Université de Neuchâtel. Le rapport mentionne que le compost a visiblement digéré la matière organique et qu'il possédait toujours les caractéristiques typiques de ce produit.



Fig. 4. Les deux tertres des «Grands Plats-de-Bise» d'une surface totale de 100 m² suffisant pour 130 vaches.

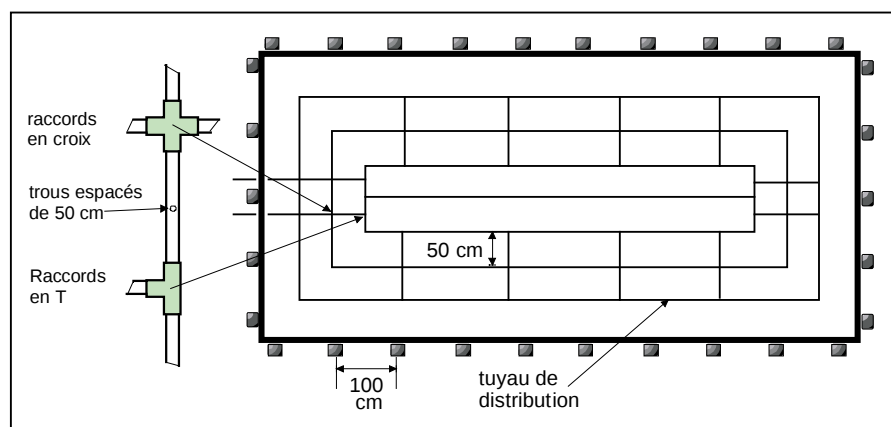


Fig. 5. Plan de construction du réseau de distribution pour un tumulus rectangulaire, avec détail de construction des raccords, de type «Grands Plats-de-Bise».

Essai aux «Grands Plats-de-Bise»

L'alpage des «Grands Plats-de-Bise», d'une superficie de 100 ha, exploite un cheptel de 130 vaches laitières et produit annuellement environ 25 tonnes de fromage labellisé «fromage d'alpage». Il est situé à 1270 m d'altitude. Le tumulus est composé de deux modules, chacun d'une surface de 50 m², soit 100 m² (fig. 4, 5 et 6). Installé en secteur S3 de protection des eaux qui interdit l'infiltration, un système de collecte des jus a été installé. Il a été exploité en 2002 et en 2003.

2002: de mi-mai à mi-septembre, l'installation a traité avec succès plus de 100 000 litres de lactosérum. Une partie des jus de fond a été collectée⁵.

⁵Des effets d'échelle non anticipés à l'origine ainsi que des modifications inopportunes ont causé des problèmes d'exploitation en 2002. Ceux-ci ont trouvé des solutions satisfaisantes lors des essais de 2003. La qualité du suivi technique a souffert de ces problèmes.

2003: l'essai a duré 90 jours, au cours desquels plus de 123 000 litres de lactosérum ont été traités. Sur ces 123 m³, 48,5 m³ de jus ont été collectés dans le fond, soit environ 40% du volume introduit.

Discussion

Les résultats obtenus aux «Grands Plats-de-Bise» confirment ceux obtenus à «Pra Cornet». A la suite de mesures correctives prises en 2003, les problèmes rencontrés en 2002 (développement d'odeurs et invasion de mouches, noyage du fond, blocage de l'évaporation par une bâche étanche, etc.) ont pu être résolus à satisfaction.

En 2003, les quantités de jus récoltées ont été plus importantes, elles ont été causées par une charge spécifique volontairement plus élevée, qui a pu atteindre jusqu'à 45 l/m² et par jour⁶, sans pour autant réduire les performances de l'installation. Les analyses effectuées sur les résidus de 2003 (tabl. 1 et 2) ont permis les constats et conclusions suivants: après une pause hivernale, le système redémarre spontanément avec l'introduction des premières charges de lactosérum. La matière organique est dégradée par un facteur pouvant atteindre plus de 99,5%, déjà quelques jours après le redémarrage et sans autre forme d'intervention. Le pH des jus subit une importante correction de l'acidité vers la neutralité. Le phosphore est absorbé en grande partie dans le compost, l'azote protéinique est partiellement reconverti dans la masse, partiellement évacué sous forme de sels d'ammonium dans les jus. La conductivité causée par la salinité de la solution reste très élevée. Une présence de bactéries fécales qualifiée d'insignifiante (vraisemblablement due aux matières fécales déposées localement par le bétail) démontre l'innocuité bactériologique des résidus pour les eaux superficielles et souterraines.

Influences du dispositif sur la qualité des fromages

A la fin de la première saison, la production fromagère de Pra Cornet a dû être déclassée, victime d'une contamination butyrique, affectant les qualités gustatives des fromages. La «rumeur» a très vite incriminé l'installation et les mouches comme étant la source du mal, bien qu'aucune relation de cause à effet n'ait pu être établie et que cette hypothèse reste peu crédible aux yeux des experts.

⁶ Les bases de dimensionnement recommandent une charge spécifique de 14 l/m² et par jour.

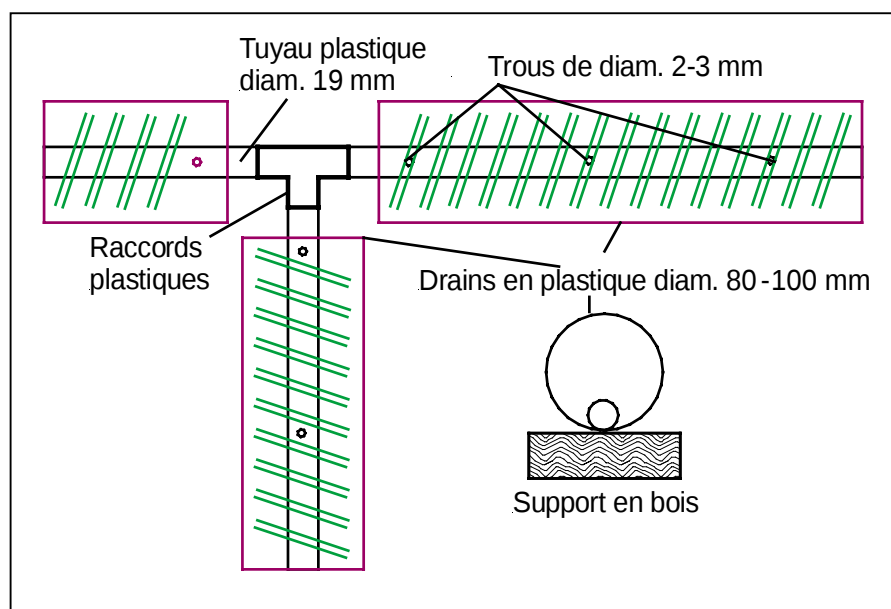


Fig. 6. Vue détaillée; coupe selon C (voir fig. 1), détail du drain entourant le tuyau de distribution du petit-lait.

Tableau 1. Analyses des jus avant et après passage sur le tumulus des «Grands Plats-de-Bise». Le phosphore est donné en valeur élémentaire P.

Analyse	DBO ₅	DCO	COD	pH	Cond.	P _{total}	P _{ortho}	NH ₄ ⁺
Date	mg O ₂ /l		mg C/l		μS cm ⁻¹	mg P/l		mg N/l
	Avant traitement (entrée)							
04.08.03	42 509	78 850		4,26	6870	323		
08.08.03	58 320	108 000		3,89	6770	337		
	Après traitement (sortie)							
25.07.03	1932	3128	662	7,56	9920	30,2	3,23	242
25.07.03	1977	3153	612	7,6	9920	31,1	2,16	243
04.08.03	136	868	224	7,44	7490	22,8	7,49	106
08.08.03	83	828	220	7,73	7590	21,7	2,99	107
11.08.03	665	1736	439	7,12	8550	27,9	3,98	172
19.08.03	82	1150	223	8,16	7550	13,5	7,03	114
01.09.03	46	744	280	7,57	7360	22,3	10,2	111
29.09.03	61	1200	176	7,34	8100	29,2	14,9	213

Tableau 2. Rendements mesurés et calculés sur l'installation des «Grands Plats-de-Bise».

Analyse	Charge en entrée	Charge en sortie DBO ₅	Charge sortie en EH	Rendement épuratoire estimé
Date	EH à 60 g	mg O ₂ /l	EH à 60 g	%
25.07.03	833*	1932	32,2	96,2
25.07.03	833*	1977	33,0	96,1
04.08.03	700	135	2,3	99,7
08.08.03	966	83	1,4	99,8
11.08.03	833*	665	11,1	98,7
19.08.03	833*	82	1,4	99,8
01.09.03	833*	46	0,8	99,9
29.09.03	833*	61	1,0	99,9

*Les charges en entrée n'ont pas été mesurées dans ces cas, elles sont estimées à 50 400 mg O₂/l de DBO₅ (soit la moyenne des deux mesures du tableau 1). Un équivalent-habitant = 60 g de DBO₅, soit une charge d'entrée correspondant à celle de 833 habitants.

En 2003, la production de «Pra Cornet» a obtenu le label «L'Etivaz», avec la note de 19,5/20, alors que celle des «Grands Plats-de-Bise» a été classée en catégorie «premier choix» avec une note de 19/20. Ces deux excellents résultats démontrent, s'il le fallait, l'absence d'influence du dispositif sur la qualité des fromages ou, en tout cas, l'efficacité des mesures prises.

Coûts, bases de dimensionnement, plans de construction et durée de vie

Une unité de $2 \times 35 \text{ m}^2$, pouvant traiter 1000 litres de lactosérum par jour (ou 800 équivalents-habitants), coûte entre 8000 et 12 000 fr. Les coûts d'exploitation et d'entretien sont réduits. Calculé sur une durée d'amortissement de cinq ans, le prix de revient est de l'ordre de 20-30 cts/kg de fromage produit.

Après trois années de fonctionnement, aucune indication d'épuisement du compost n'est pour le moment apparue, ce qui laisse augurer une durée de vie probable très acceptable (5-10 ans?). Le compost en fin de vie, n'ayant reçu que du petit-lait, est propre et peut être épandu sans autre comme amendement des sols (intégré bien sûr à un bilan de fumure).

Le SESA maintiendra un suivi analytique afin d'observer le comportement du système après plusieurs années de fonctionnement. Dans l'état actuel des travaux, le procédé ne permet pas l'oxydation de l'ammoniac en nitrates, mais des études complémentaires vont se poursuivre dans ce sens.

Un rapport technique décrivant plus en détail les bases de dimensionnement et les principes de construction peut être téléchargé à l'adresse:

http://www.dse.vd.ch/eaux/eaux/qualite/pdf/rapport_petits_laits.pdf

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 que ceux-ci alimentent. Ils sont difficiles à traiter par des moyens classiques. 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 des vers rouges a été développé pour répondre au problème posé par ces rejets. Trois années d'expérience sur deux sites pilotes placés dans des alpages en conditions réelles, ainsi que sur une batterie expérimentale en plaine, ont démontré la faisabilité, l'efficacité, la simplicité et l'économie du procédé.
- ❑ Les études ont permis d'optimiser la conception de l'installation et de son mode d'exploitation. Le dispositif réduit régulièrement la matière organique biodégradable d'un facteur supérieur à 99,5%. Il répond ainsi parfaitement au cahier des charges exprimé. En début de saison, il se réactive spontanément avec l'arrivée du petit-lait et reste opérationnel tel quel durant plusieurs années.

Bibliographie

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, le Conseil général de Savoie et le Conseil régional Rhône-Alpes.

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.

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., 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 et institutions suivantes: MM. Philippe et Marc-Etienne Favre, propriétaires et exploitants de la Compostière de «La Coulette» à Belmont-sur-Lausanne, M. et M^{me} Olivier Rossier, MM. Marcel Aubert, Lionel Berny et Jean-François Pittet, exploitants des alpages de «Pra Cornet» et des «Grands Plats-de-Bise», les autorités des communes de Château-d'Ex et du Chenit, M. Philippe Berthoud, directeur de l'Ecole de fromagerie de Moudon, 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 Agroscope ALP Liebefeld-Posieux, EPFL SIE, M^{me} Chantal Seigneux et ses étudiants, M. Pierre Henchoz, préfet du Pays-d'Enhaut, M. Paul Rochat-Malherbe, préfet de la Vallée, la Cave de «L'Etivaz» à L'Etivaz, ainsi que M. Jean-Michel Zellweger, du SESA, pour sa contribution à la rédaction.

Jean-Jacques FIAUX,
Laboratoire du Service des eaux, sols
et assainissement du canton de Vaud,
chemin des Boveresses,
CH-1066 Epalinges,
tél. +41 21 316 71 85,
e-mail: jean-jacques.fiaux@sesa.vd.ch