

Mise en place d'un pilote industriel sur le site de la station d'épuration d'une laiterie pour optimiser le traitement de leurs effluents

DJELAL Hayet *, POIGNANT Emeline et BRAU Lucie

Ecole des Métiers de l'Environnement, Campus de Ker Lann, 35 170, BRUZ

*hayet.gouillaud-djelal@orange.fr

Résumé

Pour les industries laitières, la gestion des eaux résiduaires issues des processus de fabrication est l'une de leurs principales préoccupations. Les eaux de pousses liées au nettoyage des installations sont fortement chargées en matière organique, et leur traitement entraîne une production de boues importante. L'élimination de ces dernières représente une part importante du budget consacré à l'environnement. Il faut aussi ajouter que la législation impose aux industriels des normes de rejets de plus en plus exigeantes. Notre étude porte sur la réduction de la charge polluante organique, réfractaire aux traitements classiques par boues activées. Un pilote de 1 000 litres a été installé pendant 12 semaines sur le site d'une industrie laitière. Le principe est d'amplifier dans le pilote un consortium de champignons spécifiques qui sera injecté périodiquement dans le bassin boues activées de la station d'épuration. L'étude du choix du substrat dans le pilote pour l'amplification des mycètes a permis d'opter pour du lactosérum en poudre ajouté à l'effluent prélevé dans le bassin biologique aéré.

Les cinétiques obtenues par le suivi de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) durant les divers essais tant au laboratoire que sur site montrent que dans un premier temps nous observons une augmentation de la DCO soluble (hydrolyse fongiques des macromolécules de graisses et solubilisation des molécules obtenues). Puis dans un deuxième temps une diminution de la DCO soluble est notée (les mycètes dégradent ces molécules plus facilement biodégradables que les molécules de départ). Ainsi l'ajout de mycètes dans le bassin aéré a permis de réduire la DCO dure.

Mots-clés : biodégradation, effluent de laiterie, pilote, station d'épuration, DCO

1 Introduction

La gestion des eaux usées issues des processus de fabrication est l'une des préoccupations majeures des industries laitières. Les effluents globaux de telles industries sont principalement constitués des eaux de pré-rinçage, inter rinçage des opérations de nettoyage en place (NEP) (50 à 90% du volume total) ainsi que des pertes en produits laitiers (1-3% du lait transformé) (Daufin et al., 2000). D'autre part ces eaux usées dépendent de la qualité et de la quantité de lait transformé, en effet selon les saisons, le mode d'alimentation et le mode d'élevage (Rico et al., 1991) le lait n'a pas la même composition. Les effluents rejetés par l'entreprise avant traitement ont un pH élevé ainsi qu'une forte demande biochimique en oxygène (DBO), à cause des détergents et du lait (Moir et al., 2005). La Demande Chimique en Oxygène (DCO) associée est de l'ordre de plusieurs tonnes par an pour un même site et favorisent la prolifération des algues, ce qui épuise l'oxygène dissous et entraîne des dégâts au niveau de l'habitat naturel des poissons (Carta-Escobar et al., 2004).

Tableau 1 : Composition moyenne pour des usines laitières polyvalentes sur le territoire français (Corthondo et Trepos, 2004)

DCO (mg.O ₂ L ⁻¹)	DBO ₅ (mg O ₂ L ⁻¹)	Azote Kjeldahl (mg.L ⁻¹)	Matières En Suspension (mg L ⁻¹)	Graisses (mg L ⁻¹)	Phosphore total (mg L ⁻¹)	pH	DCO/DBO ₅
950 à 5000	360 à 3200	40 à 90	90 à 1040	110 à 800	4 à 20	5 à 11	~ 2

Pour le traitement de leurs effluents, les industries laitières peuvent soit se raccorder au système de traitement des eaux usées urbaines de la commune où elles se situent, soit avoir leur propre station d'épuration des eaux usées, STEP (INERIS, 1996, DRIRE, 2006). Un traitement de ces effluents par une station d'épuration à Boues Activées est souvent mis en place (Ramasamy et al., 2004, De Campins, 2005, Loperena et al., 2006, Djelal et al., 2008) du fait de la biodégradabilité de l'effluent. La présence de détergents et de désinfectants n'inhibent pas le développement des bactéries des Boues Activées

(Janczukowicz et al., 2008). Le plus souvent les procédés sont réalisés en milieu aérobie avec des rendements d'abattement de la DCO proches de 95 % (Loperena et al., 2007). Cependant, Arnaud, 2008, propose de traiter les effluents de laiterie de montagne par digestion anaérobie avec production de biogaz avec un rendement minimal de 80 % sur la DCO.

La destination finale des effluents est soumise à une réglementation préfectorale, en particulier l'épandage des boues qui suit des lois très strictes aussi bien pour l'effluent en lui-même que pour le sol qui va le recevoir. L'épandage ne peut pas être réalisé en permanence, il n'est autorisé que durant certaine période (INERIS, 1998).

Il faut aussi noter, que pour une laiterie traitant un million de litres de lait par jour, les pertes dans les eaux de pré-rinçage seraient estimées à 20 000L de lait, ce qui correspond à la production en station d'épuration de près de 1,5 tonnes de boues (Daufin et al., 2000). L'épandage n'étant pas toujours autorisé et la taxe des rejets augmentant, ceux-ci amènent l'industrie laitière à chercher de nouvelles stratégies afin de réduire la production de boues et améliorer la qualité de l'eau en sortie (abattement de la DCO). L'utilisation d'une biomasse fongique spécifique paraît être une solution adaptée et efficace (Djelal et al., 2007). Plusieurs types de consortium bactérien ou/et fongique non pathogènes se retrouvent sur le marché du traitement des eaux usées industrielles. Les microorganismes commercialisés doivent répondre aux critères suivants : Capacité à dégrader une large gamme de polluants, compétitivité et persistance, compatibilité avec la flore endogène, complémentarité et/ou synergie avec la flore endogène.

Justement la société AQUAPROX, spécialisée dans le traitement des eaux usées, cherche à développer un bioréacteur amplificateur de biomasse fongique. L'objectif de ce projet est donc de concevoir un bioréacteur peu énergivore, autonome sur un mois et permettant un développement des mycètes dans un environnement optimal. Pour cela, des expérimentations en laboratoire ont été réalisées au préalable afin de vérifier que les mycètes injectés dans le bassin biologique ne seraient pas inhibés et qu'ils participent à la biodégradation de la Matière Organique (Djelal et al., 2007). Les données enregistrées devront être traitées, analysées et corrélées avec des analyses réalisées en parallèle au laboratoire.

2 Matériel et méthodes

2.1. Effluents

Les essais de biodégradation ont été réalisés sur un effluent de l'industrie agro-alimentaire, une laiterie bretonne qui fabrique différentes sortes de produits : lait, crème, beurre. Les prélèvements sont réalisés dans le bassin biologique de la station d'épuration boues activités faible charge de la laiterie.

2.2. Microorganismes

Lors de toutes les manipulations, nous utiliserons un mélange de trois souches de champignons *Aspergillus niger*, *Mucor hiemelis* et *Galactomyces geotrichum*, fourni par la société Aquaprox.

2.3. Conditions de culture

2.3.1 Les essais laboratoire sur 4 L

Les essais laboratoire consistent à réaliser des cultures dans des béchers de 5 L avec un volume utile 4 L. Les différents milieux de culture sont incubés à température ambiante (Ta) et agités sur shaker rotatif. Le milieu est discontinu et parfaitement agité. Une aération est maintenue continuellement grâce à une pompe d'aquarium, un diffuseur est ajouté afin d'avoir de fines bulles d'air plus efficaces pour le transfert de l'oxygène. L'inoculation a lieu une fois que le milieu est saturé en oxygène dans les conditions opératoires (33 ml d'inoculum amplifié ou non). Aucune stérilisation n'a été effectuée afin de se rapprocher des conditions de terrain et il est donc important de réaliser un témoin afin d'étudier le comportement des bactéries endogènes. Pour optimiser l'activité enzymatique des mycètes, nous décidons dans certains cas de faire une pré-culture (amplification) sur l'effluent pendant 24 heures à température ambiante, en milieu agité et aéré. Pour cela nous rajoutons 33 ml du consortium à un litre d'effluent ou à 1 L d'une solution de lactosérum 5 g lactose. L⁻¹.

Ainsi nous disposons des essais suivants :

- un essai réalisé à partir d'un effluent non-ensemencé, ce qui correspond au témoin,
- un essai réalisé à partir d'un effluent auquel ont été ajoutés des microorganismes non amplifiés,
- un essai réalisé à partir d'un effluent ensemencé avec des microorganismes préalablement amplifiés sur lactosérum à raison de 5 g.L⁻¹,
- un essai identique à celui décrit précédemment mais dont les microorganismes ont été amplifiés sur l'effluent lui-même.

2.3.2 Les essais laboratoire sur 110 L

Afin de valider les résultats précédents, nous avons décidé de travailler sur un plus grand volume d'effluents. Pour ce faire, nous avons utilisé un tank à lait en inox, de volume 1600 L et de volume utile de 110 L. Les dimensions (H*L*P) sont 800*600*280 mm. L'agitation permet l'homogénéisation et de maintenir une concentration adéquate en oxygène dissous.



Figure 1: Tank à lait



Figure 2: Système d'agitation du tank à lait

Le choix des diffuseurs se fera par détermination du K_{La} qui a été déterminé par la méthode dynamique décrite par Leveau et Bouix (1988).

Nous avons réalisés des essais sur les effluents de laiterie, avec des mycètes amplifiés sur l'effluent lui-même pendant 24 heures

2.3.3 Les essais sur site

Sur site nous avons installé un pilote de 1000 L de volume total, la cuve est en résine. Les caractéristiques du pilote sont les suivantes : 2 pompes centrifuges de 3 kW chacune, 1 agitateur AxFlow, 5 vannes de vidange, 2 vannes d'isolation par pompe. Pour l'homogénéisation et l'aération, nous avons un agitateur qui été déjà installé sur ce pilote, le volume utile est de 600 L.

Le milieu nutritif des mycètes est l'effluent du bassin biologique auquel on ajoute tous les deux jours du lactosérum ($2g.L^{-1}$) dans le bioréacteur. Cette concentration a été choisie suite aux résultats des premiers essais menés en laboratoire. Il est nécessaire d'avoir 3 à 5 L de ces champignons pour dégrader une tonne de DCO (Aquaprox). Ainsi chaque jour 24 L de préculture étaient injectées dans le bassin biologique à l'aide d'une pompe qui a été programmée pour fonctionner 30 minutes par jour. La laiterie nous a communiqué les valeurs de DCO et DBO_5 entrée et sortie pendant la période de l'essai terrain.

2.4. Méthodes analytiques

Pour toutes les essais on effectue un prélèvement de 50 mL qui est centrifugé à $5000 \text{ tours.min}^{-1}$, à 4°C pendant 10 minutes et sur le surnageant nous mesurons la DCO soluble selon la méthode HACH.

3 Résultats

3.1 Les essais laboratoire

3.1.1. Détermination des coefficients de transfert pour les essais sur 110 L

Pour déterminer les coefficients de transfert K_{La} , nous avons amené le taux d'oxygène à saturation grâce aux diffuseurs céramique ou plats et à un système d'injection d'air avec un débit de 400 L.h^{-1} , puis nous avons arrêté l'aération et mesuré le taux d'oxygène toutes les minutes. Pour déterminer le K_{La} suite à cette baisse du taux d'oxygène nous avons ramené le taux d'oxygène à saturation avec les diffuseurs céramiques ou plats. Nous obtenons un K_{La} de $0,236 \text{ min}^{-1}$ pour les 2 diffuseurs céramiques de 150 mm, et un K_{La} de $0,223 \text{ min}^{-1}$ pour les diffuseurs plats de 250 mm en pierre reconstituée. Les K_{La} de ces deux types de diffuseurs sont très proches, nous avons choisi les diffuseurs plats car ils sont plus longs (250 mm) pour diffuser l'air et de plus ils sont plus faciles à poser dans le tank car le dessous est plat.

3.1.2. Suivi de la DCO en fonction du temps

La composition de l'effluent étant très variable d'un jour à l'autre nous décidons de présenter les tendances obtenus. Quelque soit les essais sur 4 L d'effluent, nous observons une augmentation de la DCO en début de traitement puis une diminution au bout de 50 heures (figure 3). Au bout de 120 heures,

la tendance s'inverse et la DCO à la fin de l'essai est supérieure à la DCO initiale. La durée des 2 premières phases varie selon le mode d'amplification. Dans un premier temps les mycètes (ou la flore

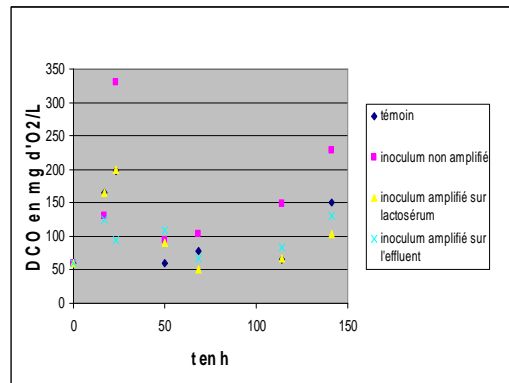


Figure 3 : Evolution de la DCO (essai sur 4 L)

endogène pour le témoin) hydrolysent les macromolécules responsables de la DCO, il y a solubilisation des molécules filles (d'où l'augmentation de la DCO) puis les mycètes dégradent ces molécules. Nous observons un abattement plus important de la DCO soluble pour les essais contenant les mycètes amplifiés sur lactosérum ou sur l'effluent entre 50 et 100 heures. L'amplification des mycètes permet d'adapter la biomasse au substrat carboné et de stimuler les enzymes impliquées dans les voies de biodégradation de la Matière Organique présente dans l'effluent. Pour le témoin, la tendance est la même mais la DCO soluble biodégradée est plus faible que pour les essais après ajout des mycètes. Cela laisse supposer qu'il n'y ait pas de compétition entre les boues activées et les microorganismes exogènes (mycètes). La dernière augmentation de la DCO est certainement due à la lyse des cellules. Des essais sur la biodégradation d'effluent synthétique de laiterie montrent que dans certains cas apparaît une augmentation transitoire de la DCO soluble qui pourrait être attribuée au relargage des composés solubles contenus dans les MES (Jeong, 1995, De Campins, 2005) ou qu'un phénomène de désintégration des floccs se produit pouvant entraîner une augmentation de la DCO (Mannan et al., 2005).

Nous observons une similitude des résultats, même allure de courbes, entre l'essai en petit volume 4 L et l'essai sur 110 L (figure 4). L'effet volume n'a donc pas d'influence sur la cinétique de biodégradation de la DCO et cette application pourrait être extrapolée au bassin biologique de la STEP.

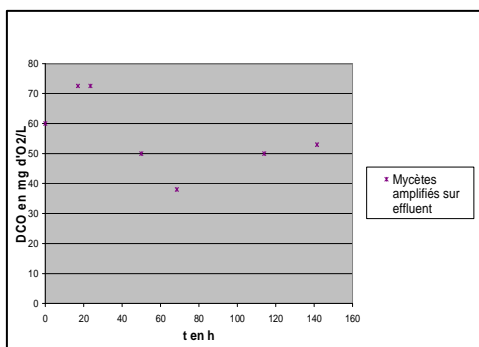


Figure 4 : Evolution de la DCO (essai sur 110 L)

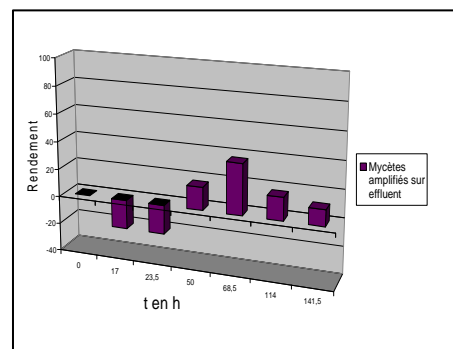


Figure 5 : Evolution du rendement de la DCO en fonction du temps de traitement (essai sur 110 L)

La figure 5 permet de montrer le transfert de la Matière Organique de la phase particulaire vers la phase soluble pendant les 24 premières heures du traitement fongique. Ce qui permet d'obtenir des molécules plus facilement biodégradables par les boues activées présentes dans le bassin biologique de la STEP

3.2 Essais sur site

Les résultats de DCO et de DBO₅ nous ont été fournis par la Laiterie, ces analyses sont réalisées en entrée et en sortie de STEP journalièrement pour la DCO et une fois par semaine pour la DBO₅. L'arrêté préfectoral impose une valeur de 100 mg.L⁻¹ de DCO en sortie de la STEP.

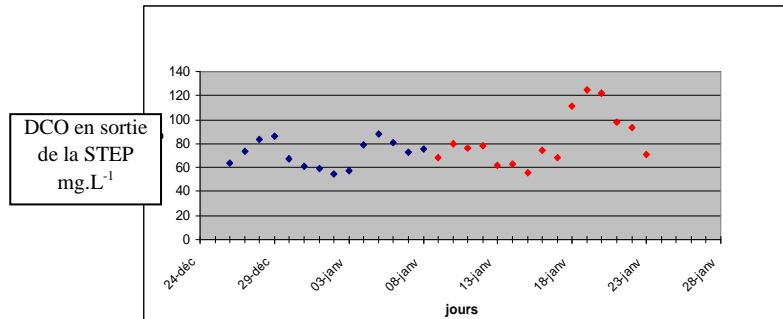


Figure 6 : Evolution de la DCO en fonction du temps

L'injection dans le bassin biologique, des mycètes amplifiés dans le bioréacteur a débuté le 8 janvier 2008, la figure 6 reprend les valeurs de la DCO sortie. On constate que la DCO a diminué légèrement du 9 au 18 janvier en restant en dessous de 80 mg.L⁻¹. Par contre, les rejets de DCO étaient hors normes (supérieur à 100 mg.L⁻¹) les 19, 20 et 21 janvier. Cependant depuis ces dates les valeurs de DCO n'ont pas cessé de diminuer jusqu'à atteindre 71 mg.L⁻¹. Les résultats obtenus sur site industriel se rapprochent des conclusions observées sur les essais en flacon agité en milieu parfaitement agité et aéré et ensemencé avec des mycètes amplifiés : en début de traitement on observe une augmentation de la DCO soluble puis une baisse. Dans un premier temps les mycètes AQUAPROX hydrolysent les macromolécules responsables de la DCOt, il y a solubilisation des molécules filles (d'où l'augmentation de la DCOs) puis les mycètes dégradent ces molécules plus facilement biodégradables que les molécules de départ qui sont constituées de graisse.

Nous avons souhaité étudier l'impact de l'ajout de mycètes sur la DCO dure. Pour cela nous avons calculé les rapports DCO/DBO₅ entrée et sortie avant et après l'injection des mycètes (tableau 2).

Tableau 2 : Evolution du pourcentage de rapport DCO/DBO₅ en fonction du temps, entre les effluents d'entrée et de sortie de STEP

Dates des analyses	Rapport DCO/DBO ₅ en entrée	Rapport DCO/DBO ₅ en sortie	Augmentation
26/12/07*	1,76	7,96	451 %
02/01/08*	1,64	18,17	1111 %
09/01/08**	2,95	7,59	257 %
16/01/08**	4,41	6,75	153 %

*avant mise en place du pilote,

**après mise en place du pilote

Avant l'injection régulière des mycètes l'augmentation des rapports de DCO/DBO₅ était respectivement de 451 % et de 1111 %, ce qui montre une augmentation assez importante de cette DCO dure entre les effluents d'entrée et de sortie de STEP. On observe ainsi que la STEP produit de la DCO réfractaire, ce phénomène se retrouve aussi lors du traitement par Boues activées des Eaux Résiduaires Urbaines (Jeong, 1995). Depuis le début des injections de mycètes dans le bassin biologique de la STEP, l'augmentation de ces rapports ont fortement diminué et ne représente plus que 257% pour le 9 janvier et 153% pour le 16 janvier 2008. L'injection quotidienne des mycètes a permis de diminuer l'augmentation de la DCO dure entre l'entrée et la sortie de STEP.

Truc, 2007 propose de procéder à un traitement tertiaire pour finaliser le traitement biologique des effluents industriels mais ce sont généralement des traitements onéreux. Le procédé AQUAPROX permet d'éviter l'installation d'un traitement tertiaire.

4 Conclusion

Les rendements épuratoires de la STEP de la Laiterie sur les paramètres classiques (MES, DCO, DBO₅) sont très élevés et peu d'amélioration est observée par l'ajout de mycètes AQUAPROX amplifié dans un bioréacteur installé sur site. Mais nous observons une action spécifique sur le paramètre DCO dure qui n'est que peu touché par les traitements classiques épuratoires. Nous avons vérifié tout l'intérêt de rajouter les mycètes spécifique Aquaprox, amplifiés sur la diminution de la DCO dure en sortie de STEP de laiterie. Nous avons réalisés divers essais pour vérifier s'il y avait une compétition entre les microorganismes endogènes et les mycètes. Il est intéressant d'identification les sous-produits intermédiaires obtenus au cours du traitement biologique et une étude est en cours, afin de proposer un schéma réactionnel.

Références

- Arnaud T., 2008, Traitement des effluents de laiterie de montagne par digestion anaérobie : retour d'expérience de la coopérative laitière d'Entremont le vieux (73), *L'eau, l'industrie et les nuisances*, numéro thématique les traitements anaérobies, 32-34.
- Castillo De Campins S., 2005, Etude d'un procédé compact de traitement biologique aérobie d'effluents laitiers. *Thèse Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse*.
- Carta-Escobar F., Pereda-Marín J., Álvarez-Mateos P., Romero-Guzmán F., Durán-Barrantes M.M., 2005, Aerobic purification of dairy wastewater in continuous regime. Part II : Kinetic study of the organic matter removal in two reactor configurations. *Biochemical Engineering Journal*, 22, 117-124.
- Corthondo T. et Trepos F. Traitement des effluents laitiers, 2004, http://www.apesa.fr/iso_album/traitement_effluents_laitiers.pdf
- Daufin G., Gésan-Guizou G., Boyaval E., Buffière P., Lafforgue C., Fonade C., 2000, Minimisation des rejets de l'industrie laitière par traitements des effluents à l'aide des procédés à membranes. *Tribune de l'eau*, 600 (4), 25-33.
- Djelal H., Perrot M., Grizard D., 2007, Utilisation de champignons spécifiques pour la biodégradation d'effluents industriels. *L'Eau, l'Industrie, les Nuisances*, 306, 85-91
- Djelal H., Rigail M. et Boyer L., 2008, Les effluents industriels et leur traitement, *Management et avenir*, 20, 275-288.
- Loperena L., Saravia D., Murro C., Ferrari M. D. et Lareo C., 2006, Kinetic properties of a commercial and a native inoculum for aerobic milk fat degradation, *Bioresource Technology*, 97, 2160-2165.
- Loperena L., Ferrari M. D., Saravia V., Murro D., Lima C., Ferrando L., Fernandez A. et Lareo C., 2007, Performance of a commercial inoculum for the aerobic biodegradation of a high fat dairy wastewater, *Bioresource Technology*, 98, 1045-1051.
- Janczukowicz, W., Zielinski, M. et Debowski, M., 2008, Biodegradability evaluation of dairy originated in selected sections of dairy production, *Bioresource Technology*, 99, 4199-4205.
- Jeong Y.D., 1995, Caractérisation des matières organiques réfractaires dans les effluents traités par voie biologique, *Thèse Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse*.
- Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement, Panorama 2005-2006, 120 pages. <http://www.bretagne.drivre.gouv.fr/>.
- Ineris, 1996, Directive n°96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution, <http://aida.ineris.fr/textes/directives/text0503.htm>.
- Ineris, 1998, Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, http://aida.ineris.fr/cadre_rech.htm.
- Leveau J.Y. et M. Bouix, 1988, Bioingénierie. Biotechnologie, 3^e édition, R. Scriban, ed., Lavoisier.
- Mannan S., Fakhru'l-Razi A., Zahangir Alam M., 2005, Use of fungi to improve bioconversion of activated sludge, *Water Research*, 39, (13), 2935-2943.
- Moir S.E., Svoboda I., Sym G., Clark J., McGechan M.B., Castle K., 2005, An experimental plant for testing methods of treating dilute farm effluents and dirty water. *Biosystems engineering*, 90 (3), 349-355.
- Rico, J.L., Garcya, P., Fdz-Polanco, F., 1991, Anaerobic treatment of cheese production wastewater using a UASB reactor, *Bioresource Technol.*, 37, 271-276.
- E.V. Ramasamy, S. Gajalakshmi, R. Sanjeevi, M.N. Jithesh et S.A. Abbasi, 2004, Feasibility studies on the treatment of a dairy wastewater with upflow anaerobic sludge blanket reactor, *Bioresource Technology*, 93, 209-212.
- Truc A., 2007, Traitements tertiaires des effluents industriels, *Techniques de l'ingénieur*, G1310, VOL. G1, 22 pages.