

Bibliographie

- Carpentier, S. 2000. *Pollution des sols: risques et méthodes de traitements* – Routes actualité. N 98, p 19-21.
- Conner, J. R. 1990. *Chemical fixation and solidification of hazardous wastes*. New York: Van Nostrand Reinhold, 692 p.
- Damien, A. 2002. *Guide du traitement des déchets - Industries techniques*-Série environnement, p3-15.
- Igor, A. Voinovich. 1988. préface de A. Pasuet. *Analyse des sols roches et ciment; méthodes choisies*. Masson, Paris, Milan Barcelone Mexico. ISBN: 2-225-81400-7.
- Makay, M. et Emery, J. 1992. *Stabilization/solidification of contaminated soils and sludge's using cementations systems*. In: proceeding of the first international symposium: Cement industry solutions to waste management. Edited by R. Piggot, p135- 151.
- Maraval, S. 1994. *Stabilisation solidification des déchets ultimes- étude comparative de divers liants hydrauliques et de la vitrification cas des cendres d'incinération d'ordures ménagères*. Thèse à l'INSA de Lyon, N° d'ordre 94 ISALO104, 326 p.
- Mashni, C. *Technical resources document on solidification/stabilization and its application to waste materials*. Columbus: Bottelle, Columbus Division, 253p.
- Mc. Gill, W.B. 1997. *Soil restoration following oil spill. a review*. J. Canadian Petroleum, p 60-67.

ÉVOLUTION DE LA QUALITÉ PHYSICO-CHIMIQUE ET BACTÉRIOLOGIQUE D'UN EFFLUENT LAITIER SUR UN CYCLE ANNUEL

A. Hamdani *, A. Moufti **, M. Mountadar ** et O. Assobhei *

*Laboratoire de microbiologie appliquée et biotechnologie, faculté des sciences d'El Jadida - Maroc

**Unité de chimie analytique et génie de l'environnement, faculté des sciences d'El Jadida - Maroc

Nous avons, pendant 12 mois consécutifs (mars 1998-février 1999) suivi l'évolution de la qualité physico-chimique et bactériologique d'un effluent de laiterie située dans la ville d'El Jadida (Maroc). Les paramètres analysés sont la température (T), le pH, la matière en suspension (MES), la demande chimique en oxygène (DCO), la demande biologique en oxygène en cinq jours (DBO5), l'azote total Kjeldahl (N-NTK), l'azote ammoniacal (N-NH₄⁺), les nitrates (N-NO₃⁻), le phosphore total (P-PT), le sodium (Na⁺), les chlorures (Cl⁻), les métaux lourds (Fe, Zn, Ni, Cd et Mn), la flore mésophile aérobie totale (FMAT), les coliformes fécaux (CF) et les streptocoques fécaux (SF).

Les résultats de la caractérisation physico-chimique montrent que l'effluent étudié présente des variations horaires plus ou moins importantes au cours de la même journée pour le débit, la température, le pH, la salinité et la charge polluante. La concentration annuelle moyenne en matière organique est très élevée (DCO moyenne = 6 140 mg d'O₂/l ± 10 % et DBO5 moyenne = 3 067 mg d'O₂/l ± 10 %), les teneurs annuelles moyennes en azote et en phosphore sont importantes (N-NTK moyen = 148 mg/l ± 10 % et P-PT moyen = 29 mg/l ± 10 %). Le rapport annuel moyen DCO/DBO5 est égal à 2 indiquant le caractère biodégradable de cet effluent.

La caractérisation bactériologique indique que l'eau usée analysée subit une contamination fécale importante

(CF = 2,33 10⁴ UFC/ml ± 10 % et SF = 4,00 10⁴ UFC/ml ± 10 %). Le rapport CF/SF est inférieur à 1, ce qui témoigne d'une contamination fécale d'origine animale de l'effluent étudié.

Il en ressort que cet effluent est de qualité assez dégradée, ce qui nécessite un traitement adéquat avant rejet en milieu récepteur ou éventuelle réutilisation et la prise des mesures préventives permettant de réduire la pollution tant en volume qu'en charge.

The chemical-physical and bacteriological quality of an effluent produced by a dairy industry located in El Jadida city (Morocco) was studied during 12 months (March 1998-February 1999). The analyzed parameters are temperature (T), pH, suspended matter (SM), chemical oxygen demand (COD), biological oxygen demand in five days (BOD5), total Kjeldahl nitrogen (TKN-N), ammonia (NH₄⁺-N), nitrates (NO₃⁻-N), total phosphorus (TP-P), sodium (Na⁺), chlorides (Cl⁻), metals heavy (Fe, Zn, Ni, Cd and Mn), total aerobic flora (TAF), fecal coliforms (FC) and fecal streptococci (FS). The results of the chemical-physical characterization show that the studied effluent assumes a variation more or less important during the same day for flow, temperature, pH, salinity and polluting load. The average annual organic matter concentration is very high (average COD = 6 140 mg O₂/l ± 10 % and average BOD5 = 3 067 mg O₂/l ± 10 %), the average annual

contents of nitrogen and phosphorus are significant (average TKN-N = 148 mg/l ± 10 % and average TP-P = 29 mg/l ± 10 %). The average annual report COD/BOD5 is equal to 2 indicating the biodegradable character of this effluent.

The bacteriological characterization indicates that the analyzed effluent undergoes a significant fecal contamination (FC = 2.33 10⁴ CFU/ml ± 10 % and FS = 4.00 10⁴ CFU/ml ± 10 %). The ratio FC/FS < 1 proves the animals origin of faecal contamination of dairy effluent.

The obtained results reveals that the studied wastewater present a degraded quality, which requires an adequate treatment before rejection in the area or possible re-use and the taken of the preventive measures making it possible to reduce so much pollution in volume and in load.

INTRODUCTION

Au Maroc, de nombreuses études ont porté sur les eaux résiduaires industrielles, mais peu d'entre elles intéressent les effluents de l'industrie laitière, branche caractérisée par une forte consommation d'eau et des rejets d'eaux usées très riches en micro-organismes et en matière organique consommatrice d'oxygène^[1, 2, 3].

Dans la région des Doukkala, la production laitière a connu une augmentation importante ces dernières années, ce qui est à l'origine de la création de plusieurs coopératives laitières et l'introduction de deux nouvelles laiteries à savoir, Nestlé-Maroc et Super-lait, en plus de la laiterie des Doukkala créée en 1978. Cette production laitière représente 20 % de la production nationale dont plus de 70 % est produite par l'unité faisant objet de notre étude et qui est spécialisée dans la collecte, la transformation et la distribution du lait et de ses dérivés^[4]. Elle consomme plus de 630 m³ d'eau par jour dont 85 % sont rejetés sous forme d'eau résiduaire à l'état brut^[5]. Ces eaux usées sont composées essentiellement de solutions de nettoyage acides et basiques contenant de la matière organique, de l'azote, du phosphore et des bactéries. Cette pollution est susceptible d'affecter l'équilibre biologique de la baie de la ville d'El Jadida dans laquelle elle est déversée et risque d'y provoquer à long terme une eutrophisation artificielle.

Le traitement de cet effluent est alors indispensable pour préserver le milieu naturel. C'est dans ce cadre que s'insère notre travail qui comporte une caractérisation qualitative et quantitative de l'effluent laitier global brut durant une année d'étude afin de rassembler les données nécessaires pour le choix d'un traitement approprié.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Schéma de fabrication

Le schéma ci-dessus (figure 1) synthétise les différentes étapes de transformation du lait, les origines des pertes et la nature des rejets de l'unité laitière étudiée.

Caractéristiques de l'industrie laitière

- Volume annuel traité: 80 000 000 litres de lait,
- moyenne journalière: 215 000 litres avec ponctuellement une pointe de 400 000 litres,
- produits fabriqués: lait pasteurisé, lben (petit lait), beurre et lait en poudre,
- origine de l'eau: eau de distribution publique,
- utilisation de l'eau: élément de fabrication, alimentation des chaudières, des échangeurs et de l'installation frigorifique, lavages des sols et des cuves, rinçage des appareils technologiques, eau de refroidissement, eaux sanitaires,...
- quantité moyenne d'eau utilisée: 632 m³/j (2,9 litres d'eau utilisée/litre de lait traité),
- volume moyen d'eau usée rejeté: 544 m³/j (2,5 litres d'eau usée/litre de lait traité),
- devenir de l'effluent: rejeté dans l'égout communal pour rejoindre par la suite la mer,
- réseau d'assainissement de l'usine: unitaire,
- nombre d'heures travaillées par jour: 3 × 8 h,
- nombre de jours travaillés par semaine: 7/7,
- nombre d'employés: environ 150.

Echantillonnage

Les échantillons d'eau usée ont été prélevés en discontinu toutes les 15 minutes à partir du collecteur communal, rece-

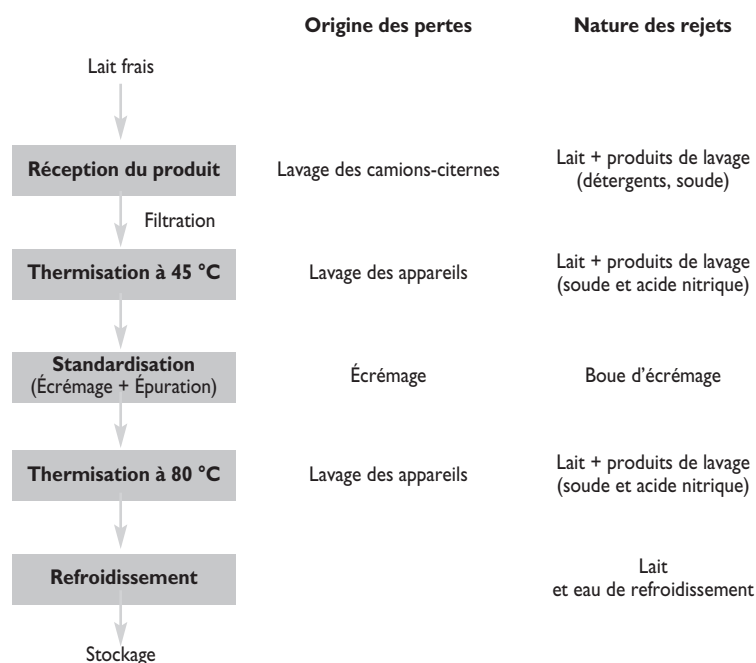


Figure 1 : Diagramme de fabrication de l'unité laitière étudiée

vant le rejet liquide global de l'unité laitière. Les variations de température et de pH ont été mesurées in situ. Pour les autres paramètres, les échantillons ont été mis dans des flacons stériles, conservés à 4 °C dans une glacière et transportés au laboratoire pour constituer un échantillon moyen de 4 heures durant toute la journée (6 échantillons durant 24 heures) qui sera analysé dans un délai de 5 heures au maximum.

Tous les prélèvements sont représentatifs du fonctionnement normal de l'unité laitière et ont été réalisés sur deux périodes de l'année: période de haute lactation (mars 1998 - août 1998) et période de basse lactation (septembre 1998 - février 1999).

Le débit a été déterminé en continu par la pose d'un déversoir triangulaire à l'exutoire du réseau d'assainissement à la sortie de l'usine. L'angle d'ouverture est choisi en fonction du débit à mesurer. Enregistrement des valeurs h (côte de l'eau) par pose d'un limnigraphe type sonde piézo-résistive à mémorisation électronique des valeurs et exploitation de la relation Q (débit) en fonction de la côte de l'eau par logiciel Lotus. Le débit a été mesuré avec une moyenne d'erreur estimée à ± 5 %.

Paramètres et méthodes analytiques

Les analyses physico-chimiques de l'eau usée ont été effectuées selon les méthodes décrites dans la norme Afnor^[6]. Les analyses physico-chimiques ont porté sur les paramètres

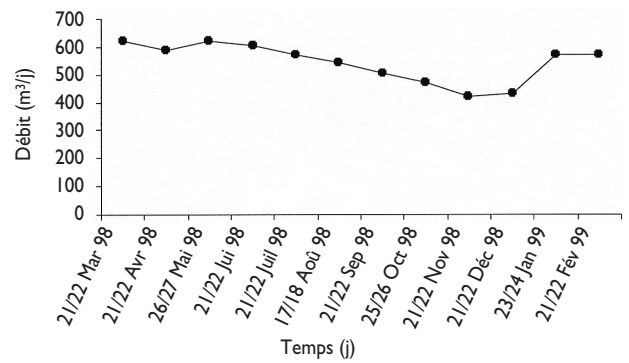


Figure 2: Volumes d'eau usée rejetée par l'unité laitière durant une année

suivants: température, pH, MES, DCO, DBO5, N-NTK, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, P-PT, Na⁺, Cl⁻ et métaux lourds.

Les analyses bactériologiques ont comporté la numération des différentes flores bactériennes en utilisant les milieux de culture et les conditions d'incubation suivantes:

- flore mésophile aérobie totale (FMAT): Plat Count Agar (Biokar, France), incubation à 37 °C pendant 72 heures,
- coliformes fécaux (CF): bouillon lactosé bilié au vert brillant (Biokar, France), incubation à 44,5 °C pendant 24 heures,
- streptocoques fécaux (SF): gélose de Slanetz et Bartley (Biokar diagnostics, Beauvais, France), incubation à 37 °C pendant 24 heures.

Tableau I : Valeurs moyennes et écarts-types des différents paramètres analysés durant une année (mars 98-février 99)

Période de haute lactation (débit moyen = 593 m ³ /j)						Période de basse lactation (débit moyen = 495 m ³ /j)					Concentration annuelle moyenne	Projet marocain de normes	
		nombre de données	valeur minimale	valeur moyenne	valeur maximale	écart type	nombre de données	valeur minimale	valeur moyenne	valeur maximale			écart type
T	°C	28	23	33	43	3,1	29	19	28	42	3,6	-	30
pH	-	26	1,5	8,9	13,4	1,1	30	1,6	9	12,5	1,3	-	6,5-8,5
MES		30	320	1019	2353	353	30	420	1296	4122	329	1157	50
DCO		30	3500	6375	12500	1860	30	2200	5906	10267	2095	6140	500
DBO5		30	1842	3197	063	927	28	1093	2938	5203	989	3067	100
N-NTK		30	102	153	220	42,9	29	64	143	261	45,4	148	30
N-NH ₄ ⁺	mg.L ⁻¹	30	64	95,7	131	36,6	28	36	25,5	152	34,1	29	-
N-NO ₃ ⁻		30	20,7	202	654	22,3	29	41	82,5	476	44,2	142	-
P-PT		30	20	32	65	14,4	30	5,8	25,5	58	11,8	29	10
Na ⁺		27	169	396	881	112	30	89	201	388	76	298	-
Cl ⁻		28	251	497	1133	106	27	330	709	1388	72	603	-
FMAT	UFC.ml ⁻¹	24	72,9x10 ⁴	913x10 ⁴	2171x10 ⁴	1214x10 ⁴	23	40,2x10 ⁴	1902x10 ⁴	4773x10 ⁴	2100x10 ⁴	1407,5x10 ⁴	-
CF		23	0,04x10 ⁴	1,97x10 ⁴	6,27x10 ⁴	5,28x10 ⁴	26	0,19x10 ⁴	2,7x10 ⁴	9,35x10 ⁴	9,06x10 ⁴	2,33x10 ⁴	-
SF		25	0,08x10 ⁴	3,52x10 ⁴	11,79x10 ⁴	9,37x10 ⁴	28	0,24x10 ⁴	4,49x10 ⁴	17,80x10 ⁴	17,45x10 ⁴	4,00x10 ⁴	-

- Pour tous les paramètres analysés, le nombre de données est de 36 mesures par période de lactation. Les valeurs qui correspondent à des accidents n'ont pas été prises en compte.

- Les concentrations annuelles moyennes enregistrées présentent des variations estimées à ± 10 %.

Toutes les analyses présentent une moyenne d'erreur d'environ ± 10 %.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Mesure de débit

Le volume de l'effluent laitier rejeté quotidiennement pendant les périodes de haute et de faible lactation est relativement variable avec une valeur moyenne de 544 m³/j (2,5 litres/litre de lait traité), une valeur minimale de 422 m³/j et une valeur maximale de 623 m³/j (figure 2). On pense que ce débit est loin de la réalité car l'industrie laitière a la caractéristique de travailler avec une matière première de forte humidité. Ce volume d'eau rejetée inférieur à celui consommée peut être expliqué d'une part, par l'état défectueux du réseau d'assainissement qui favorise les phénomènes d'infiltration et les fuites d'eau, et d'autre part par une consommation excessive d'eau.

Le rapport eau usée par litre de lait traité égal à 2,5 est plus élevé que celui cité dans la littérature^[7, 8, 9]. Ceci témoigne de la nécessité de réduire les volumes d'eaux résiduelles rejetées pour se situer entre 1,5 et 2 litres. Un recyclage des eaux non polluées (eaux de refroidissement, condensats, eaux pluviales) après leur séparation des eaux usées fortement chargées s'impose donc.

Caractérisation physico-chimique de l'effluent laitier global brut

Température, pH et salinité

Le tableau 1 montre que pendant la période de haute lactation, la température du rejet laitier global varie entre 23 et 43 °C avec une moyenne des six mois de 33 °C. Pendant la période de basse lactation, cette température diminue légèrement et se situe entre 19 et 42 °C avec 28 °C comme valeur moyenne. Cette élévation de température trouve son origine dans les eaux provenant des échangeurs thermiques et des condenseurs barométriques ainsi que des eaux chaudes de lavage.

Durant un cycle de 24 heures, le pH varie dans une gamme très large (figure 3).

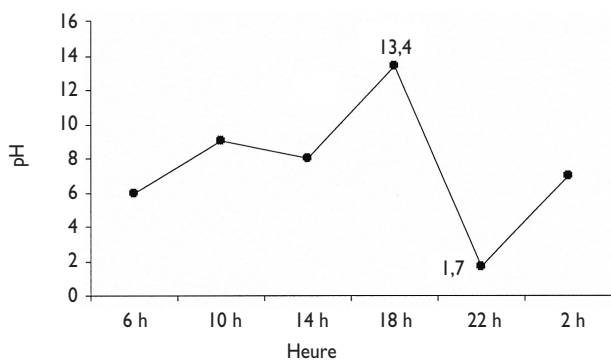


Figure 3: Variation horaire du pH de l'effluent laitier global au cours d'un cycle de 24 heures

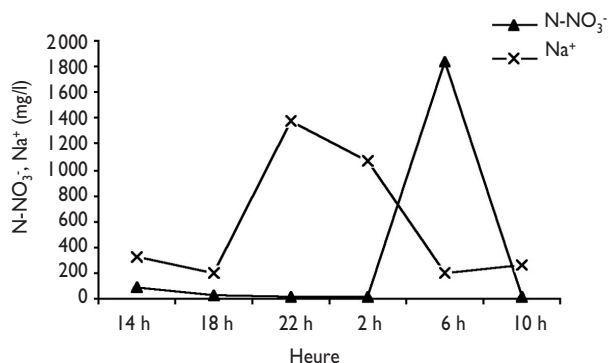


Figure 4: Variation horaire des teneurs en nitrates et en sodium contenues dans l'effluent laitier au cours d'un cycle de 24 heures

Généralement les valeurs mesurées sont comprises entre 6 et 9, avec ponctuellement des valeurs très acides (1,7) correspondant à des lavages à l'acide nitrique confirmé par une concentration très élevée en nitrates ou très basiques (13,5) liées au lavage à la soude caustique (figure 4).

Les valeurs de température et de pH rencontrées dépassent parfois largement les valeurs limites des rejets liquides dictées par le projet marocain de normes qui sont de 30 °C pour la température et de 6,5 à 8,5 pour le pH (voir tableau 1).

La figure 5 montre que la conductivité électrique de l'ef-

Tableau 2: Principaux produits de nettoyage et de lavage et leur fréquence d'utilisation

	Produits utilisés	Fréquence
Pasteurisateur du lait	Acide nitrique et lessive de soude	Chaque 2 h. 30 min.
Pasteurisateur de la crème	Acide nitrique et lessive de soude	2 fois par jour
Thermiseurs-écrémeuses	Acide nitrique et lessive de soude	Toutes les 6 h.
Conduites, tanks et cuves	Acide nitrique et lessive de soude	1 fois par semaine
Corbeilles	Savon en poudre	Toutes les 8 h.
Évaporateur	Acide nitrique, soude et Stabilon	Chaque 12 h.
Contimab	P3Z et Oxonia	2 fois par jour
Citernes	lessive de soude et Topax	Après chaque dépotage
Sol	Eau de Javel et Savon en poudre	Couramment

fluent laitier global varie beaucoup dans la même journée (0,5 à 18,3 ms/cm). Cette salinité provient des sels tels que le sodium, les chlorures... issus de la régénération des résines échangeuses d'ions, des produits chimiques de lavage, des détergents et des agents de désinfection.

L'acide nitrique et la lessive de soude sont les agents de nettoyage les plus utilisés (tableau 2). Les autres produits utilisés sont le Stabilon qui est un tensio-actif, le savon en poudre, le P3Z (détergent, désinfectant et anticollant), un autre détergent appelé Topax et l'eau de Javel... sans oublier bien évidemment les détergents utilisés en bloc sanitaire (shampooing, savon, gel, crème...).

Concernant les résines échangeuses d'ions, l'unité laitière

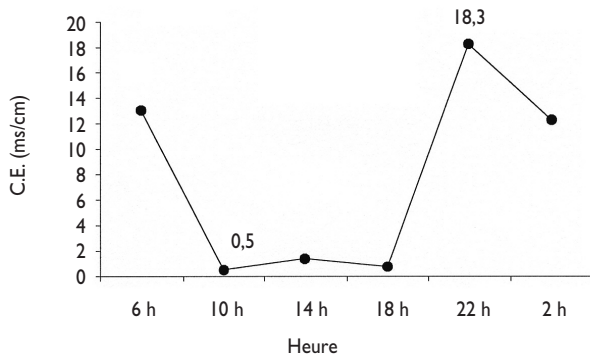


Figure 5: Variation horaire de la conductivité électrique de l'effluent laitier global au cours d'un cycle de 24 heures

étudiée dispose de deux adoucisseurs par permutation sodique dont la régénération se fait par le chlorure de sodium. La régénération dure environ 2 heures.

Matière en suspension et matière organique

La figure 6 montre l'évolution mensuelle des teneurs en MES durant un cycle annuel qui fait ressortir une concentration minimale de 320 mg/l et une concentration maximale de 4 122 mg/l. La concentration annuelle moyenne en MES est de 1 157 mg/l avec 1 019 mg/l en période de haute production laitière et 1 296 mg/l en période de basse lactation, ce qui indique que l'évolution des concentrations en MES est indépendante de la périodicité de lactation. Ces teneurs sont nettement supérieures à la valeur fixée par le projet marocain de normes des rejets liquides qui est de 50 mg/l. Ces MES sont riches surtout en matière grasse et en caillé provenant du processus de fabrication ainsi qu'en matière particulaire issue des eaux de lavage du sol et des citernes. La réduction des MES contenues dans cet effluent directement rejeté en mer est donc obligatoire pour éviter les conséquences graves telles que le colmatage des branchies de poissons et la diminution du taux d'oxygène dans l'eau freinant ainsi la photosynthèse^[10].

Comme le montre la figure 7, la DCO la plus basse est enregistrée au mois d'août, elle est de 400 mg d'O₂/l (14 h), la plus

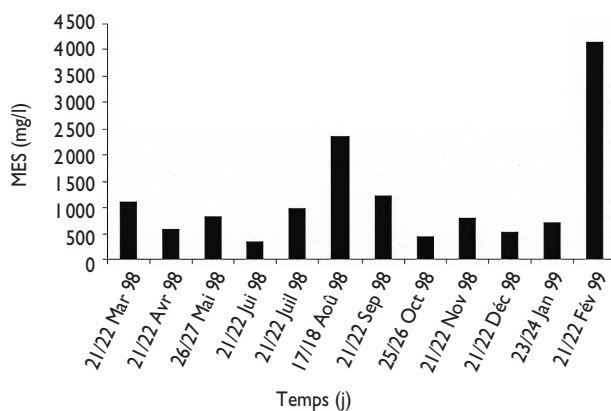


Figure 6: Évolution des teneurs moyennes de la MES contenue dans l'effluent laitier global pendant l'année de l'étude

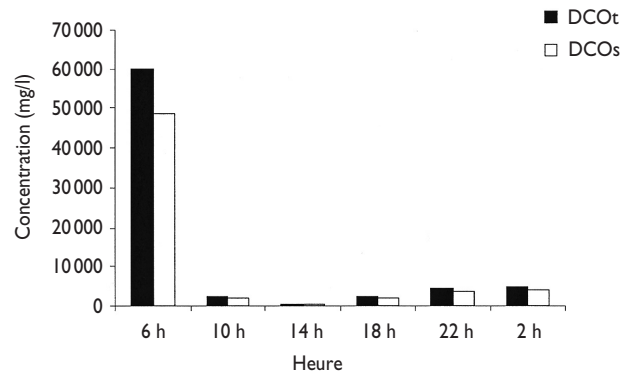


Figure 7: Variation horaire de la DCO de l'effluent laitier global au cours d'un cycle de 24 heures

élevée a été révélée au même mois et correspond à 60000 mg d'O₂/l (6 h). Ce paramètre est donc très variable au cours d'un même cycle de 24 heures. La concentration de la DCO très élevée (6 g/l) peut être expliquée par le fait que parfois, il arrive que le lait ou la crème ne répondent pas aux normes de qualité et seront rejetés directement à l'égout. La charge organique enregistrée en période de haute lactation est en moyenne de 3 197 mg d'O₂/l pour la DBO5 et de 6 375 mg d'O₂/l pour la DCO brute dont 76 % est sous forme soluble. Pendant la période de basse lactation, la concentration moyenne en DBO5 est de 2 938 mg d'O₂/l, la concentration en DCO est de l'ordre de 5 906 mg d'O₂/l avec 82 % représentant la fraction soluble. Comme pour les MES, la saisonnalité de la production lactique est sans influence sur l'évolution des teneurs en matière organique, qui reste pratiquement liée au cycle de fabrication.

La charge organique annuelle est en moyenne de 6 140 mg d'O₂/l pour la DCO et de 3 067 mg d'O₂/l pour la DBO5, se situe dans le même ordre de grandeur que celle trouvée dans les eaux usées de la laiterie « Orlac » de Bir-Khadem en Algérie^[2]. Toutefois, elle est très élevée en comparaison avec les valeurs rencontrées en France qui varient de 1 500 à 2 000 mg/l pour la DBO5 et de 2 600 à 3 500 mg/l pour la DCO^[11, 12] et qui s'approchent des résultats obtenus par

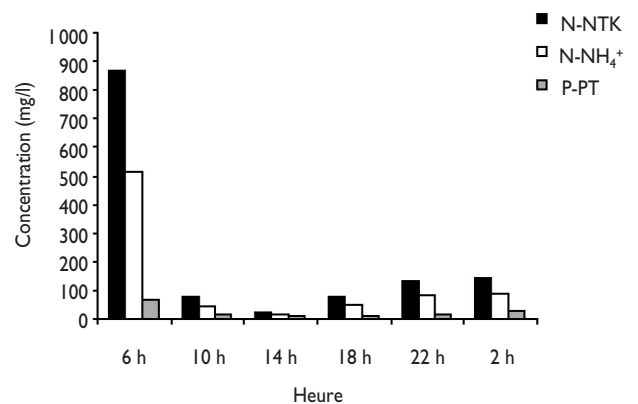


Figure 8: Variation horaire des teneurs en azote et en phosphore contenus dans l'effluent laitier global au cours d'un cycle de 24 heures

l'Institut de recherches laitières en Nouvelle Zélande^[13, 14]. Le rapport annuel moyen DCO/DBO5 est de 2, c'est une valeur normale pour ce type d'effluent indiquant sa traitabilité par voie biologique. Le rapport annuel moyen DBO5/N-NTK/P-PT égal à 100/4,8/0,9 assure un équilibre nutritionnel satisfaisant pour un éventuel traitement biologique.

Azote et phosphore

On note que les valeurs de l'azote total Kjeldahl, de l'azote ammoniacal et du phosphore total sont variables au cours d'un même cycle de 24 heures (figure 8). Malgré certaines valeurs de pH élevées qui sont favorables pour la volatilisation de l'azote ammoniacal et la précipitation du phosphore^[15], la présence de ces éléments dans l'effluent laitier global est importante durant toute l'année de l'étude (figure 9). Les teneurs en nitrates sont par moment importantes dans l'heure et durant toute l'année (figures 4 et 10) et trouvent leur origine dans l'utilisation de l'acide nitrique comme agent de lavage. Les concentrations annuelles moyennes en N-NTK et en P-PT sont égales à 148 et 29 mg/l respectivement (tableau 1). L'azote provient des protéines lactées (caséines) et de l'azote minéral du lait. Le phosphore est issu des détergents utilisés en lavage et en hygiène. En comparaison avec la littérature, ces concentrations sont inférieures à celles mentionnées par Longhurst et al.^[16] qui a rapporté que les teneurs moyennes en azote d'un effluent laitier sont supérieures à 400 mg/l et celles en phosphore sont égales à 70 mg/l.

Métaux lourds

La recherche des métaux lourds dans l'effluent laitier avait pour but de vérifier s'il ne présente aucun caractère de toxicité et par conséquent s'il était apte à un traitement biologique. Les résultats obtenus illustrés dans le tableau 3, montrent que les concentrations moyennes enregistrées sont par ordre d'importance comme suit: fer > zinc > nickel > cadmium > manganèse. Cette classification est en accord avec l'ordre des concentrations métalliques des eaux usées brutes décrites par Lester^[17]. Ces éléments traces proviennent probablement du lavage du matériel et des différents appareils industriels équipant l'usine. Il est important de signaler que ces éléments métalliques présents dans l'effluent étudié sont inférieurs aux valeurs limites des rejets liquides dictées par le projet marocain de normes (tableau 3).

Caractérisation bactériologique de l'effluent laitier global brut

Même s'il est traité et manipulé dans les meilleures conditions d'hygiène, le lait cru contient toujours des bactéries provenant de l'homme manipulateur, de l'animal porteur de germes au niveau du trayon des mamelles et de la peau, des installations et du matériel de traite et enfin du milieu environnant des vaches laitières^[18].

À titre d'indication et d'après^[19], la contami-

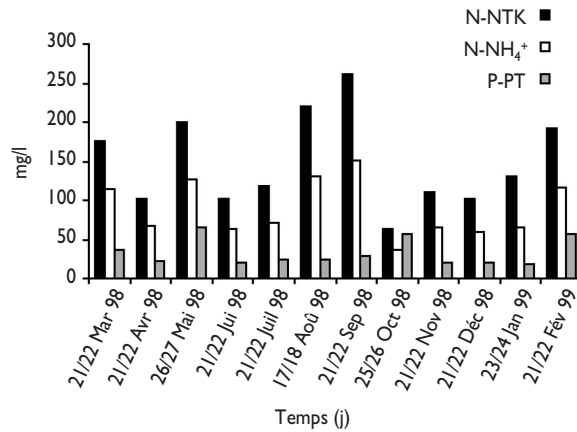


Figure 9 : Évolution des teneurs moyennes en azote et en phosphore contenus dans l'effluent laitier global pendant l'année de l'étude

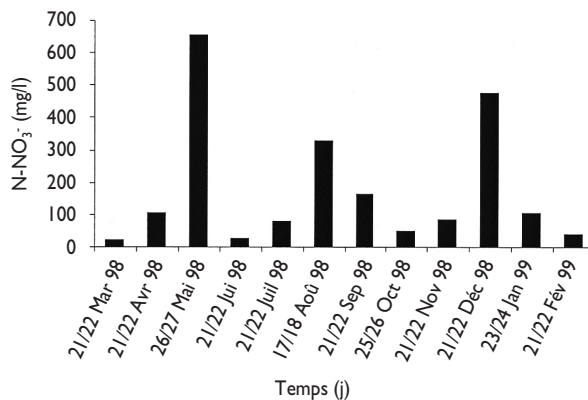


Figure 10 : Évolution des teneurs moyennes en nitrates contenus dans l'effluent laitier global pendant l'année de l'étude

Tableau 3 : Concentrations moyennes des métaux lourds contenus dans l'effluent laitier						
Concentration (mg/l)		Fer	Zinc	Nickel	Cadmium	Manganèse
Période de haute lactation	Mars 1998	1,025	0,322	0,166	0,105	0,028
	Avril 1998	0,962	0,459	0,325	0,182	0,066
	Mai 1998	1,279	0,391	0,361	0,110	0,044
	Juin 1998	0,881	0,862	0,272	0,152	0,126
	Juillet 1998	2,075	0,893	0,083	0,142	0,079
	Août 1998	0,959	0,700	0,296	0,136	0,084
Période de faible lactation	Septembre 1998	1,792	0,397	0,325	0,126	0,049
	Octobre 1998	1,554	1,137	0,385	0,169	0,115
	Novembre 1998	2,018	0,993	0,379	0,137	0,116
	Décembre 1998	1,645	0,671	0,195	0,148	0,083
	Janvier 1999	2,619	1,184	0,166	0,169	0,078
	Février 1999	2,841	0,962	-	-	-
Projet marocain de normes		3	5	0,5	0,2	1

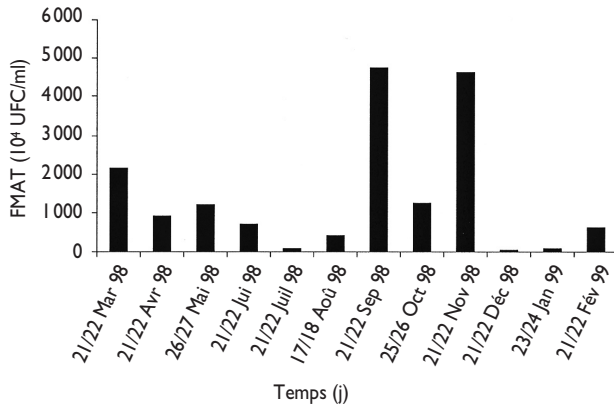


Figure 11 : Évolution des densités moyennes de la FMAT contenue dans l'effluent laitier pendant l'année de l'étude

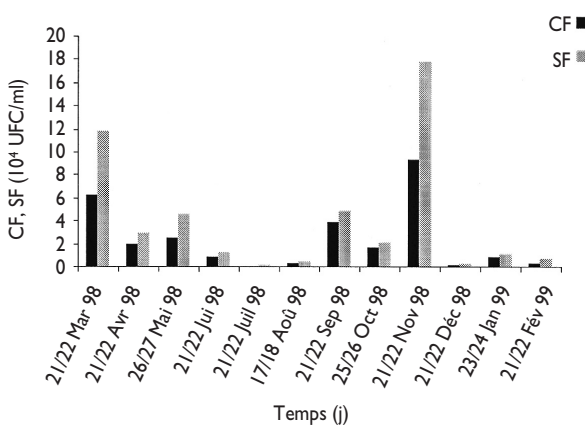


Figure 12 : Évolution des densités moyennes des CF et SF contenus dans l'effluent laitier pendant l'année de l'étude

nation du lait rien que par la peau des mamelles peut atteindre 5 10⁴ UFC/ml.

Le lait frais ne respectant pas les normes de qualité est toujours rejeté à l'état brut dans les égouts, ce qui enrichi l'effluent en bactéries, en plus des germes issus du bloc hygiénique du personnel (douches et WC).

Flore mésophile aérobie totale (FMAT)

La FMAT existe toujours dans le lait cru quelles que soient les conditions de sa production. Au Maroc, les densités enregistrées sont situées entre 2,5 10⁶ et 14 10⁷[20, 21, 22]. Dans une étude similaire réalisée au Pakistan, des charges de l'ordre de 3,6 10⁸ ont été signalées[23].

L'évolution des charges moyennes de la FMAT montre une variation d'une journée à l'autre (figure 11). Les densités moyennes enregistrées sont de 914,1 10⁴ et 1 902,33 10⁴ UFC/ml respectivement pour les périodes de haute et de basse lactation. Ces valeurs bien que élevées sont proches de celles citées en haut et peuvent être attribuées à la fois aux apports déjà mentionnés.

Coliformes et streptocoques fécaux

La présence des CF et des SF dans le lait cru est liée aux mauvaises conditions d'hygiène et de traite. Une étude menée par[22] a montré des abondances de 1,6 10⁴ à 1,3 10⁵ UFC/ml pour les SF et de 8,6 10³ UFC/ml pour les CF.

Au même titre que la FMAT, l'évolution temporelle de la densité des CF et des SF montre une variation d'une journée à l'autre (figure 12). Pendant la période de haute lactation, la charge bactérienne est par moment nulle, parfois, elle peut atteindre 21 10⁴ et 35 10⁴ UFC/ml respectivement pour les CF et les SF avec une densité moyenne de 1,97 10⁴ UFC/ml pour les CF et 3,52 10⁴ UFC/ml pour les SF. Par contre lors de la période de basse lactation, cette charge moyenne est de 2,7 10⁴ UFC/ml pour les CF et de 4,49 10⁴ UFC/ml pour les SF (tableau 1). Ces résultats montrent que l'eau usée laitière analysée présente une contamination fécale assez importante.

Il faut noter que les charges bactériennes les plus élevées sont enregistrées dans les échantillons à pH voisin de la neutralité, par contre pour des valeurs de pH acide ou basique, ces charges sont très faibles ou nulles.

D'autre part le rapport CF/SF est inférieur à 1, ce qui témoigne d'une contamination fécale d'origine animale de l'effluent étudié[24]. Ceci trouve son origine d'une part, du fait que le lait de vache contient une FMAT formée essentielle-

Tableau 4: Concentrations et charges moyennes en éléments polluants de l'effluent laitier global brut rejeté par l'unité laitière dans le réseau communal pendant l'année de l'étude

Période	Période de haute lactation Q moyen = 593 m ³ /j		Période de basse lactation Q moyen = 495 m ³ /j		Concentration annuelle moyenne	Charge annuelle moyenne	
	Teneur * (mg/l)	Charge ** (kg/j)	Teneur * (mg/l)	Charge ** (kg/j)		mg/l *	Kg/j **
DCO	6375	3780	5906	2923	6140	3351	0,0156
DBO5	3197	1896	2938	1454	3067	1675	0,0078
N-NTK	153	91	143	71	148	81	0,00038
P-PT	32	19	25,5	13	29	16	0,00007
CF	1,97x10 ⁴	11,68x10 ⁴	2,7x10 ⁴	13,36x10 ⁸	2,33x10 ⁴	12,52x10 ⁸	0,58x10 ⁴
SF	3,52x10 ⁴	20,87x10 ⁴	4,49x10 ⁴	22,22x10 ⁸	4x10 ⁴	21,55x10 ⁸	1,002x10 ⁴

* les teneurs sont exprimées en UFC/ml pour les CF et les SF

** les charges sont exprimées en UFC/j pour les CF et les SF

*** la charge annuelle moyenne est exprimée en UFC/litre de lait/j pour les CF et les SF

ment par la flore lactique, notamment les streptocoques et les lactobacilles et d'autre part il contient plus de streptocoques que des coliformes^[22].

Flux de pollution rejetée dans le réseau d'assainissement communal

Le tableau 4 présente les concentrations et les charges moyennes de l'effluent laitier global brut rejeté dans le réseau communal pendant les périodes de haute et de basse lactation. On note que :

- le débit moyen pendant la période de surproduction laitière est de 593 m³/j contre seulement 495 m³/j pendant la période de faible lactation,
- la charge calculée en kg/j indique l'importance des flux de matières organiques, azotées, phosphorées et bactériennes rejetées dans le réseau d'égout communal,
- sur la base de 60 g de DBO5 par équivalent habitant, la pollution spécifique ramenée à l'équivalent habitant correspond à 27916 équivalents habitant rejeté dans le réseau communal pendant l'année de l'étude.

En fin de cette partie, il est important de mentionner que les concentrations en matière organique et en azote trop fortes, révèlent la nécessité de réduire les pertes de matières et des produits dérivés, particulièrement le lait et le babeurre très riches en matière organique. Également, il faut revoir les fréquences d'utilisation de l'acide nitrique comme agent de nettoyage et récupérer les solutions de nettoyage après chaque usage. La prise de telles dispositions devrait réduire considérablement la concentration de ces deux paramètres. Ceci ne peut être atteint qu'à travers une politique rigoureuse de prévention.

Prévention de la pollution à la source, première action à entreprendre

Le flux de pollution généré par la laiterie étudiée est proportionnel au débit et à la concentration de l'effluent rejeté. Donc lutter contre cette pollution implique impérativement une limitation des quantités d'eaux utilisées ainsi que des charges polluantes.

Réduction des volumes

Une consommation plus faible en eau entraînera, bien évidemment, une réduction notable du volume des eaux à traiter. Pour cette raison et vu le coût élevé de l'eau d'adduction, l'importance des volumes d'eau potable consommée et de l'eau usée rejetée, la laiterie étudiée, alimentée par l'eau de distribution publique à raison de 632 m³/j en moyenne, est amenée à développer une politique d'économie et de recyclage comme suit :

- chercher une autre source d'eau (eau souterraine par exemple) et procéder à des contrôles physico-chimiques et bactériologiques permettant sa conformité aux exigences de qualité. Il en résulterait un gain d'argent car l'eau consommée coûte cher. Deux alternatives sont possibles, soit utiliser les deux types d'eau en mélange, soit se contenter uniquement de l'eau de source avec les corrections nécessaires;
- éviter le gaspillage de l'eau dans l'usine (lavage à fort débit,

robinet ouvert en permanence, prévoir des dispositifs d'arrêt automatique, réparer les fuites d'eau...);

- l'eau rejetée est usée thermiquement, du fait de l'élévation de la température, représente un manque de calories à gagner. En effet, réduire le volume rejeté et récupérer les calories perdues sera une source d'économie d'eau;
- recycler, récupérer et réutiliser les eaux de refroidissement, les condensats et les eaux de purges qui sont des eaux non polluées et produites en grande quantité;
- préconiser la séparation des circuits d'eau et mettre en place un réseau d'égout de type séparatif pour séparer les eaux usées des eaux non polluées (eaux d'échanges thermiques, eaux pluviales), et qui peuvent être rejetées directement dans le milieu naturel ou collectées dans le réseau pluvial pour réutilisation.

Réduction des charges

En industrie laitière, la pollution est une perte de matières premières et de sous produits très chargés en matière organique. Il faut donc s'efforcer de :

- récupérer au maximum la matière première et les produits dérivés (lait, babeurre);
- adopter le matériel de fabrication et les méthodes de travail, qui à efficacité élevée, permettent une réduction nette des pertes du produit traité, de l'eau consommée et des produits chimiques utilisés;
- collecter à part les eaux de fabrication et celles de nettoyage car elles sont extrêmement chargées en matière organique et en produits de lavage;
- sensibiliser et former les personnes impliquées dans le processus de production. Le personnel d'exécution doit être convaincu de l'utilité de la prévention pour faire face à la pratique abusive du « tout à l'égout » qui est fortement domageable à l'entreprise.

CONCLUSION

Cette étude nous a permis de dégager que l'effluent étudié présente des variations horaires et quotidiennes plus ou moins importantes de débit, de température, de pH, de salinité et de charge polluante. Les concentrations en matière organique exprimée en termes de DCO et de DBO5 sont très élevées avec un rapport annuel moyen DCO/DBO5 égal à 2. Les teneurs en azote, en phosphore et en bactéries indicatrices de contamination fécale sont importantes.

C'est un effluent de qualité assez dégradée qui pourrait être agressif pour le réseau d'assainissement (pH très variable et température élevée) et susceptible d'affecter la baie de la ville d'El Jadida dans laquelle il est déversé par un enrichissement en apports organiques (DCO = 3351 kg/j, DBO5 = 1675 kg/j), en éléments nutritifs (N-NTK = 81 kg/j, P-PT = 16 kg/j) et en flux considérable de bactéries témoins de contamination fécale (11,57 10⁸ UFC/j pour les CF et 22,78 10⁸ UFC/j pour les SF).

Avant d'envisager un investissement en matière de traitement, la laiterie étudiée devrait établir un programme de prévention en vue de limiter le volume et la charge polluante de ses

rejets liquides en respectant les recommandations suivantes :

- disposer d'un réseau d'égout de type séparatif permettant la séparation des eaux résiduaires très chargées de celles non polluées,
- recycler les eaux de refroidissement et de condensation dans un circuit fermé,
- récupérer au maximum le lait, la crème et le babeurre,
- prévoir un bassin-tampon nécessaire à l'homogénéisation de l'effluent, la neutralisation des pH acides ou basiques, la correction des températures élevées, la régulation des débits et les à coups de charge,
- traiter ce rejet liquide par voie biologique, tant pour respecter les normes marocaines en vigueur que pour protéger le milieu récepteur, car son épuration par voie physico-chimique ne permet qu'une réduction partielle de la charge polluante^[25].

A. Hamdani, O. Assobhei

Laboratoire de microbiologie appliquée et biotechnologie, Faculté des sciences, B.P. : 20, El Jadida, 24000, Maroc
Email : ahamdani@caramail.com

A. Moufti, M. Mountadar

Unité de chimie analytique et génie de l'environnement, Faculté des sciences, B.P. : 20, El Jadida, 24000, Maroc

by activated sludge. *Envir. Sci. Technol.*, 4 (1970) 115-121.

[16] R. D. Longhurst, A. H. C. Roberts, M. B. O'Connor: *Farm dairy effluent: a review of published data on chemical and physical characteristics in New Zealand*. *New Zealand J. of Agric. Res. Abstracts*, 43 (2000) 7-14.

[17] J. Lester: *Significance and behaviour of heavy metal in wastewater treatment process. Sewage treatment and effluent discharge*. The Science of total environment (1983) 30 p.

[18] M. Javier: *Traité de Biochimie Générale: composition chimique des organismes*, Tome I, Editeurs Masson et Cie (1959).

[19] Lait et produits laitiers (vache-brebis-chèvre): *Les laits de la mamelle à la laiterie*. Tec. et Doc. Lavoisier (1989), Paris, France.

[20] A. Benbrahim: *Contamination microbiologique des laits de collecte d'une laiterie de Casablanca*. Thèse de doctorat vétérinaire. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat, Maroc (1976).

[21] N. Riahi: *Contribution à l'étude de la qualité bactériologique et chimique*

des laits dans les centres de collecte de la région du Gharb. Thèse de doctorat vétérinaire. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat, Maroc (1981).

[22] M. Benachir: *Contribution à l'étude de la qualité chimique et bactériologique des laits des centres de collecte du Gharb*. Thèse de doctorat vétérinaire. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II de Rabat, Maroc (1985).

[23] P. Teufel, F. L. Bryan, F. Qadar, S. Riaz, S. Roohi et Z. UR. R. Malik: *Risks of salmonellosis and staphylococcal food poisoning from Pakistan milk based confectioneries*. *J. Food Prot.*, 55 (1992) 588-594.

[24] J. J. Borrego, F. Arrabal, P. Romero: *Study of the microbiological pollution of Mallaga littoral area II. Relation-ship between fecal coliforms and streptococci*. Cinquièmes journées sur l'étude des pollutions. Canne (France), 2-4 décembre (1982) 561- 569.

[25] A. Hamdani, M. Chennaoui, O. Assobhei et M. Mountadar: *Caractérisation et traitement par coagulation-décantation d'un effluent de laiterie*. *Le Lait*, 84 (2004) 317-328.

Références Bibliographiques

[1] P. Marchadier: *L'eau et le lait: économie, prévention et dépollution*. *Revue de l'Agence de bassin Adour Garonne* 30 (1985) 17-20.

[2] A. Khoudir, H. Lamari, S. Louehli: *Traitement biologique en lit fixe d'une eau usée de laiterie*. *Eau Ind. Nuisances*, 203 (1997) 37-39.

[3] A. Hamdani, O. Assobhei, M. Mountadar: *Caractérisation et essais de dénitrification biologique d'un effluent de laiterie située dans la ville d'El Jadida (Maroc)*. *Eau Ind. Nuisances*, 242 (2001) 50-54.

[4] A. E Gueddari: *L'agriculture dans les Doukkala: « Situation actuelle et perspectives »*. Actes du colloque structuration et gestion de la région des Doukkala-Abda, El Jadida (1998).

[5] A. Hamdani: *Caractérisation et essais de traitement des effluents d'une industrie laitière: aspects microbiologiques et physico-chimiques*. Thèse de doctorat. Faculté des Sciences d'El Jadida, Maroc (2002).

[6] Afnor, *Eaux, méthodes d'essai, recueil de normes françaises*. Afnor, Paris (1986).

[7] Degremont: *Memento technique de l'eau*. Tome I. Tec. et Doc. Lavoisier, Paris, France (1989).

[8] R. Moletta, M. Torrijos: *Impact environnemental de la filière laitière*. *Technique de l'ingénieur*, F-1500 (1999) 1-9.

[9] M. Torrijos, B. Gsell, R. Moletta: *Application d'un procédé SBR à la dépollution des eaux usées de petites coopératives laitières*. *Eau Ind. Nuisances* 202 (1997) 31-35.

[10] R. Bremont, R. Vuichard: *Paramètres de la qualité de des eaux*. Edt. Firmin-Didot S. A., Paris, France (1973).

[11] P. P. Seraline: *Industries alimentaires et agricoles: mieux consommer, moins polluer*. *Eau Ind. Nuisances*, 214 (1998) 30-32.

[12] M. Zaouche: *La pollution par les établissements industriels*. *R. I. A.* 291 (1981) 73-81.

[13] J. W. Barnet: *effluent treatment systems of the dairy industry*. *Australian Biotechnol.*, 4 (1994) 26-30.

[14] M. J. Donkin: *Bulking in anaerobic biological systems treating dairy processing wastewaters*. *Int. J. Dairy Technol.*, 50 (1997) 67-72.

[15] A. B. Menar, D. Jenkins: *Fate of phosphorus in wastewater treatment process: enhanced removal of phosphorus*