



Caractérisation des effluents laitiers en vue de leur valorisation : Cas de lactosérum (Characterization of dairy effluents in view of their valorization: Case of whey)

S. Lhanafi¹, R. Aba-aaki¹, S. Et-taleb¹, R. Elhaouti¹, M. Abbaz¹, M. Ez-zahery¹,
H. El bari² et N. El alem¹

¹Laboratoire Matériaux et Environnement (LME), Université Ibn Zohr, Faculté des Sciences, Département de chimie, cité DAKHLA B.P 8106, Agadir, Maroc

²Laboratoire de biotechnologie de l'environnement et de la qualité (LABEQ), équipe de Biogaz, Faculté des Sciences, Université Ibn Tofail, Kénitra, Maroc

Received 20 September, Revised 15 October 2014, Accepted 28 October 2014

*Corresponding author. E-mail: misslhanafi@gmail.com ; Tél: 00212666333276

Résumé

Les effluents des industries laitières sont parmi les rejets agroalimentaires les plus riches en matière organique (protéine, lactose, vitamine, minéraux ... etc) et en microorganisme. Cette charge redoutable, fait de ces effluents une source de pollution environnementale. La gestion de ces déchets préoccupe les producteurs, pour cela l'objectif de cette étude est de contribuer à la caractérisation de ces effluents et particulièrement du lactosérum (LS). Ce dernier constitue la forme la plus riche en matière organique (MO) (86,80% MS) et la plus complexe. Des analyses physico-chimiques et bactériologiques de cet effluent ont permis de donner une idée sur la teneur des différents types de polluants : DCO (28620 mgO₂/l), SV (73,435 g/l), DBO₅ (7476 mgO₂/l), CT (2 10³ UFC/ml) et GT (37,51 10⁴ UFC/ml), ce qui va permettre de prendre une décision pour une éventuelle valorisation.

Mots clés : lactosérum, effluent laitier, paramètres physico-chimique et bactériologique, pollution.

Abstract

The effluents of dairy industries are among food waste that contains the most of organic matter (protein, lactose, vitamin, minerals etc ...) and microorganism. This redoubtable load of these effluents is a source of environmental pollution. The waste management preoccupies the producers, for this the objective of this study is to contribute to the characterization of these effluents and particularly the whey (W). This last, is the form richest in organic matter (OM) (86,80% MS) and the more complex. The Physical-chemical and bacteriological analysis of this effluent allowed to give an idea about quantity of different kind of pollutants: COD (28620 mg O₂ / l), SV (73.435 g / l) BOD₅ (7476 mg O₂ / l), CT (2 10³ CFU / ml) and GT (37, 51 10⁴ CFU / ml), which will allow making a decision for an eventual valorization.

Keywords: Whey, Dairy effluent, Physical-chemical and bacteriological parameters, Pollution.

Introduction

Le secteur de l'industrie agro-alimentaire est l'un des secteurs les plus actifs au Maroc. Ils représentent environ 29% du PIB industriel, 26% des entreprises industrielles, 20% des emplois formels et 15% de l'export de produits transformés, d'après le Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Investissement et de l'Economie Numérique [1]. Néanmoins, La filière agroalimentaire en générale et les industries laitières en particulier consomme beaucoup d'eaux. La production industrielle augmente d'une année à l'autre [2], ce qui génère d'énormes rejets. La quantité des effluents produite dépend de la quantité du lait traité (forte en été : haute lactation et faible en hiver : faible lactation). La nature et la composition de ces eaux usées, découlent en majeure partie de procédé de

fabrication et la nature des produits fabriqués. En effet, les effluents produits par les unités de production du lait et de fromages sont parmi les rejets les plus polluants pour l'environnement [3], avec des DCO supérieur à 10g/l. Cette charge polluante est due à la composition organique et minéralogique de ce type d'effluent. Ceci dit, le lactosérum qui est un des rejets principal des unités laitières (représente 1/3 des effluents), se compose principalement de l'eau 93-94%, et le lactose (4,5-6,0%), en plus des protéines, la matière grasse et les minéraux [4].

Les études réalisées sur les rejets laitiers sont faibles surtout dans notre pays le Maroc. Pour cela, cette étude sera accomplie sur les déchets générés par une coopérative de la région d'Agadir, afin de mettre le point sur le degré de la pollution produite. Aussi une caractérisation qualitative et quantitative de l'effluent laitier principalement le lactosérum, avec des propositions de traitement convenable.

2. Matériels et méthodes

2.1. Les échantillons

Les rejets liquides étudiés proviennent d'une unité de production de lait et de produits laitiers de la région d'Agadir. Elle s'active dans plusieurs secteurs allant de la production agricole jusqu'à la transformation. L'activité de la coopérative génère différentes ressources provenant de divers secteurs (tableau 2), seule trois types de déchets sont retenus pour analyse : les boues biologiques liquide (BBL), le lactosérum pur (LSP) et le lactosérum chaulé (LSC) (addition de chaux pour ajuster le pH aux alentours de la neutralité).

2.2. Prélèvement

L'échantillonnage est réalisé lors d'une période normale de fonctionnement de tous les ateliers de l'unité de la production. En effet, un échantillon moyen de 2L est reconstitué à partir des prélèvements élémentaires effectués lors d'une journée. L'échantillon de LS est pris directement après son rejet de l'unité de fabrication de fromage avant et après d'être chaulé. Tandis que, les échantillons des boues biologiques liquides (boues activé), elles sont prélevées dans la station d'épuration de la coopérative ; elle se situe à 1km de l'industrie et elle est fonctionnelle depuis juin 2006; au niveau de réservoir de 40 m³ où elles sont stockées dans l'attente d'être passer dans le filtre presse pour séparer l'eau traitée du reste de la matière en suspension. En ce qui concerne les analyses microbiologiques, 250 ml de différents échantillons sont prise dans des flacons de verre stériles à l'autoclave (120°C pendant 15 min). Les prélèvements se déroulent d'une façon périodique une fois par mois, sauf pour le LSP, prélevé une seule fois.

2.3. Les analyses physico-chimiques et microbiologiques

Les échantillons recueillis sont transportés et conservés à 4°C. Les analyses sont effectuées dans les quatre heures qui suivent selon la méthode préconisé par Rodier et al. 2009 [5].

Un ensemble de paramètres physicochimiques et bactériologiques ont été sujet d'étude et de suivi au cours de ce travail. En effet, le pH est mesuré in situ tandis que les autres analyses sont réalisées aux laboratoires de l'unité de production et de la faculté de science d'Agadir. Les paramètres physico-chimiques analysés sont : le pH, l'alcalinité, le solide total, DCO, DBO₅, calcium et le phosphore total [5]. Les analyses bactériologiques ont été focalisées sur quatre types de bactéries les plus présentés (tableau 1), des dilutions allant jusqu'à 10⁻⁵ à 10⁻⁸ ont été réalisées dans de l'eau peptonée en fonction de la charge microbienne de chaque échantillon. Le nombre de bactéries est représenté en unité formant colonies (UFC) par ml, seule les boites contenant 30 à 300 colonies sont dénombrés. Pour chaque paramètre trois analyses ont été réalisés, les résultats sont reportés dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 1 : les paramètres microbiologiques et les conditions d'analyse

Bactéries	Milieu de culture sélectif	Condition d'incubation	Technique d'ensemencement
Coliformes totaux (CT)	Gélose lactosée au tergitol et TTC	37°C pendant 24h	Etalement en surface de 0,1 ml de l'échantillon ou l'une de ces dilutions
Germes totaux (GT)	PCA	37°C pendant 24h	
Bactéries sulfito-réductrices (BSR)	Gélose TSC	37°C pendant 24h dans une jarre d'anaérobiose	
Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus (LB)	MRS	30°C pendant 72h dans la jarre d'anaérobiose	

3. Résultats et discussion

3.1. Choix des effluents

La coopérative dispose de différentes ressources (89075 t/an) provenant de divers secteurs (tableau 2). Néanmoins, trois déchets sont retenus pour analyse et caractérisation : le lactosérum (LSP et LSC) et les boues biologiques liquides (BBL). La quantité énorme générée de ces déchets (48200 t/an), les rendent un grand souci pour la coopérative en terme d'élimination ; en outre ils renferment des quantités importantes de matière organique (MO), respectivement correspondante à 86,8% et 70% de la matière sèche (MS) contenue dans ces effluents, ce qui constitué une source de pollution et de développement des germes.

Tableau 2 : la quantité des flux produite par la coopérative

Biomasses	Qté (t/a)	Qté (t/j)	MS (%)	MS (t/a)	MO (%)	MO (t/a)
Fumier bovin	20000	55	45,2%	9040	85,00%	7684
Boues physico-chimiques	16425	45	7,6%	1248	78,83%	984
Boues biologiques	29200	80	1,0%	292	70,00%	204
Sérum	19000	52	5,7%	1083	86,80%	940
Déchets de fruits	1000	3	18,3%	183	95,80%	175
Contenu des panses	800	2	17,0%	136	87,90%	120
Sang	850	2	23,1%	196	95,10%	187
Jus du 2 ^{ème} pressage	1800	5	1,0%	18	97,00%	17
Total	89075	244	13,69%	12197	84,54%	10312

3.2. Caractérisation physico-chimique

Les résultats des analyses sont regroupés dans le tableau 3. En effet, une faible siccité est remarquée pour les BBL (1,78%), contrairement au LS, où elle est plus importante de l'ordre de 6,07 et 7,18 respectivement pour le LSP et LSC. Par ailleurs, les valeurs enregistrées pour la DBO₅ et la DCO, sont loin d'être négligeables et dépassent les normes autorisées, cela s'expliquent par le faite que le LS ou les effluents drainés vers la STEP de l'industrie, contiennent des résidus de la matière organique (MO) issue des produits laitiers. Cependant, cette MO moyennement biodégradabilité ($3 < DCO/DBO_5 < 5$) pour les BBL et LSP, est facilement biodégradable pour le LSC ($DCO/DBO_5 < 3$) [5], pour l'ensemble des échantillons évalués, constitue une source de pollution une fois jeté dans la nature sans traitement préalable.

Les valeurs de pH et de l'alcalinité de LSP sont faibles (respectivement 5,16 et 2500 mg CaCO₃/l), à l'inverse de celle trouvée pour LSC (6833,33 mg CaCO₃/l). Cela est due à la faible capacité tamponne de LSP (~ 50 meq/L) d'après Malaspina et al., 1995 [6]. Cependant l'ajout de la chaux permet d'augmenter le pouvoir tampon de celui-ci, afin de faciliter sa concentration pour aboutir à une poudre stockable, vendu aux agriculteurs. Néanmoins, cette technique efficace mais très énergivore, pousse la coopérative à chercher d'autre alternative quant à la valorisation de LS. La concentration en phosphore totale (143,21mg/l) trouvé dans BBL, dépasse largement les normes autorisées (10 mg/l), ce qui va impliquer une eutrophisation des milieux dont lesquels il est rejeté.

Tableau 3 : les résultats d'analyses physico-chimiques de LSP, LSC et BBL

Paramètres	LSP	LSC	BBL	Valeur Normative*
pH	max	-	7,94	6,5-8,5
	min	-	7,6	
	Moy	5,16	7,73	
Alcalinité (CaCO ₃) (mg/l)	max	-	7000	-
	min	-	6500	
	Moy	2500	6833,33	
Calcium (mg/l)	max	-	3847,67	500
	min	-	1643,28	
	Moy	761,52	2378,07	
Phosphore total (mg/l)	max	-	3,96	10
	min	-	0,264	
	Moy	1,76	2,158	

Solide total à 105°C (g/l)	max	-	93,464	39,152	-
	min	-	61,492	5,364	
	Moy	61,752	73,435	17,865	
Siccité (%)	max	-	9,14	3,88	-
	min	-	6,01	0,54	
	Moy	6,07	7,18	1,78	
Humidité (%)	max	-	93,99	99,46	-
	min	-	90,86	96,12	
	Moy	93,93	92,82	98,22	
DCO (mg O₂/l)	max	-	29800	6370	500
	min	-	27400	1400	
	Moy	25930	28620	3223,33	
DBO₅ (mgO₂/l)	max	-	19660	1473	100
	min	-	7476	806	
	Moy	7935	13947,66	1046,33	
DCO/DBO₅	Moy	3,27	2,05	3,08	-

*Normes marocaines en mg/l sauf pour le pH
 (max : maximum, min : minimum, Moy : moyenne)

3.3. Les analyses microbiologiques

Les analyses microbiologiques accomplies lors de cette étude dévoilent la présence de différents microorganismes CT, GT, BSR et LB (tableau 4). En effet, les GT représentent respectivement $37,51 \cdot 10^4$ UFC/ml et $18,58 \cdot 10^6$ UFC/ml dans le LSC et dans les BBL. Tandis que les CT -des indicateurs de contamination fécale- présente dans le LSC ($2 \cdot 10^3$ UFC/ml), sont apportés par la chaux additionnée (0 UFC/ml de CT d'après les contrôles effectués dans les laboratoires de l'industrie). Les BSR (0 UFC/ml) sont par contre absente dans le LSC -intolérable dans le domaine agro-alimentaire puisque ils causent des Toxi-infection alimentaire- ce qui indique le degré de salubrité appliqué par cette coopérative. À l'inverse des BBL qui comporte des CT ($28,59 \cdot 10^5$ UFC/ml) et des BSR ($12 \cdot 10^5$ UFC/ml), importé via le drainage des eaux sanitaires de la coopérative vers la STEP (ces germes ont pour origine la matière fécale humaine et animale et/ou l'infiltration de l'eau de surface). Le rejet de ces effluents directement dans la nature cause une dissémination de ces germes nuisible pour la santé publique. Contrairement, aux bactéries lactiques spécialement lactobacillus bulgaricus dénombrées dans le LSC ($39,1 \cdot 10^3$ UFC/ml) et dans les BBL ($51,25 \cdot 10^5$ UFC/ml), qui sont inoffensives. Ces bactéries -homofementative- (appelé aussi ferments) fermentent le lactose en produisant de l'acide lactique [7], et par conséquent, une acidification de milieu d'où une diminution de pH. La répercussion de ces bactéries ; consommées en générale par l'homme ; sur les nouveaux écosystèmes naturelles où elles sont jetées reste à démontrer.

Tableau 4 : les résultats des analyses bactériologiques

Bactéries		Lactosérum chaulé	Boue biologique liquide
Coliformes totaux (UFC/ml)	max	$39 \cdot 10^2$	$55,8 \cdot 10^5$
	min	100	$13,8 \cdot 10^4$
	Moy	$2 \cdot 10^3$	$28,59 \cdot 10^5$
Germes totaux (UFC/ml)	max	$73 \cdot 10^4$	$32,2 \cdot 10^6$
	min	$20,2 \cdot 10^3$	$49,6 \cdot 10^5$
	Moy	$37,51 \cdot 10^4$	$18,58 \cdot 10^6$
bactéries sulfito-réductrices (UFC/ml)	max	0	$18 \cdot 10^5$
	min	0	$60 \cdot 10^4$
	Moy	0	$12 \cdot 10^5$
Lactobacillus bulgaricus (UFC/ml)	max	$76 \cdot 10^3$	$63,1 \cdot 10^5$
	min	$22 \cdot 10^2$	$39,4 \cdot 10^5$
	Moy	$39,1 \cdot 10^3$	$51,25 \cdot 10^5$

(max : maximum, min : minimum, Moy : Moyenne)

3.4. Comparaison des résultats avec d'autres études similaires

La présente étude a permis de caractériser le LCP et LSC d'une coopérative, la DCO moyenne trouvée est respectivement 25930 et 28620 mgO₂/l. Cependant, cette valeur qui est largement supérieure à celle trouvée au niveau de l'industrie de Rabat (6000 mgO₂/l) [8], mais très faible par rapport à celle trouvée au niveau d'une industrie de Korea (71 410 mgO₂/l)[15], cela est due probablement aux types de produits formés et la quantité d'effluent généré. Dans la littérature, plusieurs auteurs ont travaillé sur les effluents laitiers globaux (LS incluse ou non) et/ou le lactosérum. Les informations recueillies sont regroupées dans le tableau 5 (on ne présente que les paramètres traités dans notre cas).

Les résultats présentés dans ce tableau montrent que les effluents laitiers en générale et le LS en particulier, ont des DCO et DBO₅ qui dépassent les normes européennes (DCO < 125 mgO₂/l et DBO₅ < 25 mgO₂/l), ce qui est de même pour notre échantillon. Par ailleurs, la concentration en PT -qui ne fait l'objet de cette norme actuellement- dépasse largement ce qu'on a trouvé (1,76 - 2,158 mg/l). Cependant, et par acte de précaution ils s'engagent pour qu'elle soit inférieure à 0,2 mg/l, ce qui n'est pas le cas même pour l'effluent de la coopérative. Ceci dit, le traitement et/ou la valorisation de ces effluents, avant leurs rejets dans le réseau public ou directement dans la nature est devenu une nécessité pour préserver l'environnement et assurer un développement durable.

Tableau 5 : Caractérisation quantitative de quelques effluents des unités laitières

Effluents/ paramètres	pH	DCO (mg/l)	DBO ₅ (mg/l)	PT (mg/l)	Réf
Effluents total (LVRS Rabat/Salé)	6,6	11000	6470	225	[8]
Lactosérum (LVRS Rabat/Salé)	4,3	6000	4000	149	
Effluents total (la région d'Oujda)	7,2	1588	551	22,69	[9]
Effluents total (Laiterie de Doukkala)	ND*	6140	ND*	29	[10] [11]
Effluents laitiers	5,8-11,4	1155-9185	ND*	8-68	[12]
Rejet global (Centrale laitière Fquih Ben Salah)	9,5-10,5	3500	2600	ND*	[11]
Effluents laitiers	7,1	5000	2800	38,6	[13]
Effluents laitiers	8,6	2520	1225	32	[14]
Lactosérum (Korea)	5,92	71 410 (10) °	ND*	ND*	[15]
LSP (Agadir)	5,16	25930	7935	1,76	La présente étude
LSC (Agadir)	7,73	28620	7476	2,158	

(*) ND : Non disponible

(°) déviation standard

3.5. Techniques de valorisation et de traitement

Les traitements à boues activés généralement appliqués aux effluents laitiers (LS incluse ou non), génèrent de grande quantité de boue biologique qu'elle faut valorisé vues leur richesse en MO moyennement biodégradable (présente étude). D'autres techniques spécialement conçues pour la valorisation de LS, en source de nutriment et valeur additif (lactose, protéines, éthanol,...etc.) via plusieurs méthodes sont utilisées [16]. Ces méthodes sont très coûteuses et demandent un grand investissement [17]. Toutefois, la digestion anaérobie est considérée comme la méthode la plus favorable pour réduire la charge polluante de ce type d'effluent et d'autres type de déchets de 70 à 80% [18,19], ainsi que leur charge microbienne, en plus de la production d'un biogaz constitué en major partie du méthane [19,20,21]. La digestion anaérobie (méthanisation) des déchets organiques laitiers peut avoir un potentiel en biogaz de 330L/Kg de DCO, avec une composition en méthane entre 60 à 70%. En

effet, la production en CH₄ est de l'ordre de 0.28 à 0.32 m³/Kg DCO par jour pour les effluents laitiers [13]. Alors, que dans la littérature on estime le rendement de CH₄ à 21.2m³/m³ de lactosérum digéré.

Conclusion

Les résultats trouvés pour les effluents (le lactosérum (LSP et LSC) et les boues biologiques liquides (BBL) montrent que ces résidus contiennent principalement de la matière organique qui dépasse les normes, ainsi que le nombre important de germes qu'ils contiennent. En revanche, le lactosérum peut être considéré comme une source d'énergie plutôt qu'une source de pollution, surtout si un traitement approprié lui y été assuré. Les méthodes de traitement de LS existant jusqu'à présent sont limitées. La digestion anaérobie peut être envisagée comme la méthode la plus favorable pour réduire la charge organique polluante de ce type d'effluent. En effet, cette technique constitue une alternative pour la coopérative pour valoriser ces déchets, par la production d'un biogaz (méthane) qui peut être utilisé selon ces besoins. Cela présente des gains intéressants en termes économie d'énergie, et de développement pour la coopérative.

Références

1. Le Ministère de l'Industrie, du Commerce, de l'Investissement et de l'Economie Numérique.
2. Araba A., Benjelloun S., Hamama A., Hamimaz R., et Zahar M., les filières et marchés du lait et dérivés en Méditerranée, *OptionMéditerranéennes*, Sér.B/n°32 (2001).
3. Papachristou E., Lafazanis. C., *Water Sci.Techno.* 32 (1997) 361–367.
4. Prazeres A.R., F. Carvalho, J. Rivas., *Journal of Environmental Management.* 110 (2012) 48e68
5. Rodier J., Legube B., Nicole M et coll., L'analyse de l'eau. 9^e édition, Dunod, Paris (2009).
6. Malaspina F., Stante L., Cellamare C.M., Tilche A., *Water Sci. Technol.*32 (1995) 59–72.
7. Elmer H.M., James L.S., *Applied Dairy microbiology*. Second edition (2001)
8. Eloutassi N, Louasté B, Boudine L, Chaouch M., *ScienceLib*. Editions Mersenne : V 5. N ° 131212 (2013).
9. Sophia F., Ben Aissa A., Abdel Hafed C., *ScienceLib*. Editions Mersenne : V 4 .N °121005 (2012).
10. Hamdani A., Chennaoui M., Assobhet O., Mountadar M., *Lait*. 84 (2004) 317–328.
11. El khabbaz H., thèse de doctorat, Univ. Moh.V. Rabat. Maroc (2008).
12. Burak D., Orhan Y., Turgut T.O., *Process Biochemistry*. 40 (2005) 2583–2595
13. Rajesh Banu J., Anandan S., Kaliappan S., Ick-Tae Y., *Solar Energy*. 82 (2008) 812–819
14. Ayeche R., Balaska A., *J.Soc.Alger.Chim.*, 20(2) (2010) 83-93.
15. Keunyoung Y., Youngseob Y., Seokhwan H., *Water Research*. 37 (2003) 2467–2477
16. Audic J.L., Chaufer B., Daufin G., *Lait*, 83(2003) 417–438. A review.
17. Thierry L., et Marie-Laure F., *Solution. Industries Alimentaires et Agricoles*.Janv/Fév (2012).P 29.
18. Spachos T., Stamatis A., *Renew. Energy*. 36 (2011) 2097–2105.
19. M. E. Afilal, N. Belkhadir, H. Daoudi, O. Elasri, *J. Mater. Environ. Sci.* 4 (1) (2013) 11-16.
20. Najafpour G.D., Hashemiyeh B.A., Asadi M., Ghasemi M.B., *Am. Eurasian J. Agric. Environ. Sci.* 4 (2008) 251–257.
21. Chen Y., Cheng J.J., Creamer K.S., *Bioresour. Technol.* 99 (2008) 4044–4064, A review.

(2014) ; <http://www.jmaterenvirosnci.com>