

ETUDE DE CLARIFICATION ET DESINFECTION D'UNE EAU RESIDUAIRE URBAINE (VILLE DE ANNABA) PAR LA CHAUX LOCALE

N. LASKRI, M. OUCHEFOUN, N. NEDJAH.

Université Badji Mokhtar - Annaba, Faculté des Sciences de l'Ingénieur,
Laboratoire de Génie de l'Environnement B.P. 12, 23.000 Annaba (Algérie)
e-mail : petrole_eau2000@yahoo.fr

RÉSUMÉ

A partir d'une chaux produite au complexe sidérurgique d'El Hadjar (Annaba, Algérie), nous avons effectué des essais de purification par coprécipitation des éléments en suspension et des colloïdes des eaux résiduaires de la ville de Annaba ; tout en suivant l'évolution des paramètres critères de pollution. Nous avons dans un premier temps mis en évidence l'efficacité de l'hydroxyde de calcium dans la coprécipitation des eaux résiduaires urbaines (par rapport aux coagulants classiques), puis nous avons caractérisé la qualité de l'eau usée ainsi purifiée. Une eau résiduaire urbaine peut contenir divers éléments dissous ou en suspension, organiques ou minéraux, toxiques ou non, et éventuellement pathogènes ou saprophytes. Ce qui nous conduit à étudier à la fois l'évolution, des concentrations d'un certain nombre de composés chimiques (composés azotés, sulfates, ortho phosphates et oxygène dissous) et des concentrations en micro-organismes (coliformes totaux et fécaux). A partir des résultats obtenus, nous avons constaté que contrairement au cas des eaux naturelles, la chaux est un bon précipitant pour les eaux résiduaires urbaines. La coprécipitation s'accompagne d'une réduction notable des taux des facteurs de pollution chimique (le cas des ortho phosphates est remarquable) et d'une diminution de la pollution bactériologique jusqu'à des valeurs en dessous des normes admises.

Mots clés : Chaux, Eau résiduaire, Purification, Coagulation, Flocculation.

SUMMARY

From a lime produced at the steel-making of El Hadjar (Annaba, Algeria), we made purification tests by co precipitation of elements in abeyance and colloids of the residuary waters of Annaba city ; while following the evolution of pollution parameters criteria. First, we have put in evidence the efficiency of the calcium hydroxide in the urban residuary water coprecipitation (compared to the classic coagulants), and then we characterized the quality of the worn-out water thus purified. An urban residuary water can contain some various dissolved elements or in abeyance, organic or mineral, poisonous or not, and possibly pathogeneses or saprophytes. To this effect we studied simultaneously the evolution at a time of concentrations of a certain number of chemical compounds (Nitrogen compound, sulfates, orthophosphates and oxygen dissolved) and of concentrations in microorganisms (total and fecal coliformeses). As well as the physico-chemical parameters (turbidity, pH). According to the results, we noted that contrary to the case of the natural waters the lime is a good precipitant for the urban residuary waters. Moreover, the co precipitation itself goes with : a considerable reduction of rates of chemical pollution factors (the case of orthophosphates is remarkable) and the reduction of the bacteriological pollution less than the admitted norms values.

Key words : Residual water, Lime, Purification, Coagulation, Flocculation.

INTRODUCTION

La chaux est utilisée couramment dans la décarbonatation des eaux naturelles au but d'éliminer la dureté bicarbonatée, calcique ou magnésienne (HAMDAOUI *et al.*, 1999) ou encore pour neutraliser l'acidité due au coagulant métallique. Il est connu qu'en absence de germes de cristallisation, la précipitation est extrêmement lente, sauf dans le cas d'une précipitation préalable cristalline de carbonate de calcium (LEROY, 1994). En présence de colloïdes organiques gênant la cristallisation, la coprecipitation nécessite l'ajout d'agents coagulants (DEDIEU *et al.*, 1994) comme semble être le cas des eaux résiduaires urbaines sur les quelles nous travaillons.

Mais contrairement à cela, les deux catégories de chaux locale utilisées dans des rejets fortement turbides ont donné une eau parfaitement limpide et caractérisée par une diminution satisfaisante des facteurs de pollution (LASKRI, 2000) comme les sulfates, nitrites, nitrates, ammoniacque, et à un degré plus les orthophosphates.

MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Matériel et milieu

2.1.1 Chaux utilisée

La chaux hydratée utilisée est un produit local fabriqué par l'unité de chaux du complexe sidérurgique d'El Hadjar (Annaba, Algérie), en

deux catégories (chaux vive*, chaux éteinte**) dont la composition est indiquée au tableau I.

2.1.2 Eaux utilisées

L'eau utilisée est une eau résiduaire urbaine de la ville de Annaba. Elle est prélevée au niveau d'une station de relevage principale de refoulement vers une station de traitement des eaux usées par procédé lagunage.

2.1.3 Caractérisation des eaux usées urbaines

Les matières contenues dans l'eau étant pratiquement innombrables et de nature très diverse, l'objet du traitement ne peut être leur élimination dans l'ensemble ; il sera défini d'une manière tout à fait spécifique en fonction de l'usage prévu pour l'eau (recyclage pour l'agriculture ou l'industrie...). La qualité de cette eau sera définie par un suivi régulier des paramètres critères de pollution pendant une période de temps fixé d'avance ; la connaissance de l'évolution de ces paramètres permet de qualifier l'eau étudiée.

Nous avons envisagé de travailler sur l'analyse périodique des éléments critères de pollution choisie comme suit (Recueil de normes françaises AFNOR 1987) :

- dosage de l'azote nitreux (NO_2^-) par spectrophotométrie UV-VIS ;
- dosage de l'azote nitrique (NO_3^-) par spectrophotométrie UV-VIS ;
- dosage de l'azote ammoniacal (NH_4^+) par spectrophotométrie UV-VIS ;

Tableau I : Composition de la chaux utilisée dans le traitement

Eléments	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	MgO	Al ₂ O ₃	PF	H ₂ O
Chaux vive*	Néant	98.28	0.93	4.66	0.76	2.16	-----
Chaux éteinte **	Néant	70-75	02-04	-----	0.12-0.45	23-28	-----

- dosage des orthophosphates (PO_4^{3-}) par spectrophotométrie UV-VIS ;
- dosage des sulfates (SO_4^{2-}) par spectrophotométrie UV-VIS ;
- mesure de l'oxygène dissout ;
- mesure de la DBO_5 de l'échantillon d'eau usée ;
- mesure de turbidité ;
- mesure du pH.
- Mesure de la conductivité ;

L'étude de la qualité des eaux usées de la ville de Annaba nous a conduit à suivre l'évolution de ces paramètres pendant des échelles de temps différents : quatre heures ; une journée ; et un mois (IVES DELEU, 1984).

2.1.3.1. Méthode de travail

Au cours de la campagne d'étude sur la qualité de l'eau de la ville de Annaba ; il fût envisagé de travailler à plusieurs échelles de temps et qui s'imbriquaient les unes des autres ; nous définissons par :

*variation horaire : l'évolution des paramètres critères de pollution pendant un intervalle de quatre heures, pendant une journée et durant une période de trois mois ;

*variation journalière : qui constitue l'évolution des paramètres critères de pollution pendant une semaine effectuée pendant une période de trois mois.

*variation mensuelle: celle-ci concerne l'évolution des paramètres cités en dessus pendant une période de six mois.

2.1.3.2. Plan d'échantillonnage

Les échantillons d'eaux usées proviennent d'une station de relevage de la ville de Annaba et qui envoie les eaux résiduares vers des étangs de stabilisation. Ces échantillons sont obtenus par prélèvement manuel chaque quatre heures dans le cas de la variation horaire, par contre les

Tableau II : Variation horaire des paramètres critères de pollution : octobre à mars 2001.

Heure Paramètres	13h	17h	21h	1h	5h	9h
Turb (NTU)	42.2	118	79.3	55.9	54.9	56.7
pH	7.19	7.22	6.86	7.42	7.30	7.45
Cond (S/cm)	1090	1500	1120	1070	1120	1130
NO_2^- (mg/l)	0.0355	0.174	0.122	0.128	0.128	0.133
NO_3^- (mg/l)	1.66	0.738	1.01	0.94	0.844	0.71
NH_4^+ (mg/l)	0.194	0.194	0.194	0.1947	0.190	0.1947
PO_4^{3-} (mg/l)	0.37	0.234	0.598	0.344	0.312	0.388
SO_4^{2-} (mg/l)	184.04	241.68	219.82	233.15	213.68	219.96
O_2 (mg/l)	4.90	5.55	4.09	4.51	4.76	7.95
DBO_5 (mg/l)	100	120	160	140	120	120

échantillons journaliers sont obtenus par mélange de six échantillons pris dans l'intervalle de la variation horaire (échantillon composite) ; Concernant les échantillons mensuels ; ils sont au moins de nombre huit. Les échantillons sont ramenés au laboratoire à la fin pour l'analyse.

Les variations des facteurs de pollution sont regroupées sur les tableaux II, III et IV.

RESULTATS ET DISCUSSION

Les paramètres prélevés pour détecter les variations horaires, journalières et mensuelles se conservent quelque soit l'échelle de temps utilisée. Les ions sulfates présentent des pics pendant le mois de février et octobre. Les ions nitrates diminuent pendant le mois de mars, par contre les nitrites et les phosphates évoluent de façon constante. La variation est en générale semblable pendant la période étudiée.

2.2 Essais de purification des eaux résiduaires

Nous avons étudié la possibilité de la purification des eaux usées urbaines par procédé coagulation-floculation (MILAUDE, 1990).

Au préalable nous avons effectué des essais afin de tester l'effèt de l'hydroxyde de calcium en comparaison aux coagulants classiques, à des doses habituelles. Les résultats de purifications obtenus sont concluants, comme le montre les rendements d'élimination des paramètres retenus comme critères de pollution portés sur le tableau V. A ce stade nous avons entamé les essais de floculation au but de précipiter les colloïdes et les diverses suspensions caractérisant les eaux résiduaires urbaines par la chaux locale, tout en étudiant :

- L'évolution des paramètres critères de pollution
- L'analyse bactériologique.
- La consommation en oxygène de la boue de chaux.

Tableau III : Variation journalière des paramètres critères de pollution : octobre à mars 2001.

Jour Paramètres	Sam	Dim	Lun	Mar	Mer	Jeu	Vend
Turb (NTU)	67.5	90.8	65.3	103	183	137	245
pH	7.24	8.11	6.66	7.11	7.62	7.82	7.33
Cond (S/cm)	1172	740	1240	1330	1120	2260	1120
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.131	0.064	0.074	0.113	0.094	0.063	0.157
NO ₃ ⁻ (mg/l)	-	0.33	0.893	0.641	0.51	0.417	1.764
NH ₄ ⁺ (mg/l)	3.005	0.165	0.36	0.917	0.517	0.242	0.96
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.37	0.092	0.091	0.74	0.123	0.51	1.65
O ₂ (mg/l)	4.79	3.14	3.79	6.45	6.16	4.05	3.51
DBO ₅ (mg/l)	127	120	200	180	200	100	100
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	218.77	644.15	90.19	121.17	121.72	174.91	165.17

Tableau IV : Variation mensuelle moyenne des paramètres critères de pollution : octobre à mars 2001.

Mois Paramètres	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	δ	C.V
Turb (NTU)	44.56	73.15	119.38	179.14	183.82	166	53.572	41.96
pH	7.308	7.38	7.39	-	7.74	7.14	0.196	2.65
Cond (S/cm)	1784.4	1300.1	1269.2	1469	1938	2770	514.7	29.32
NO ₂ ⁻ (mg/l)	0.1002	0.1099	0.1022	0.2116	0.131	0.063	0.0398	31.64
NO ₃ ⁻ (mg/l)	3.408	1.3535	0.7868	1.404	0.573	0.708	0.963	70.205
NH ₄ ⁺ (mg/l)	2.52	0.946	0.331	2.814	3.85	0.28	1.351	75.45
PO ₄ ³⁻ (mg/l)	0.827	0.619	0.494	1.026	0.783	0.932	0.1796	23.02
SO ₄ ²⁻ (mg/l)	1826.48	446.08	219.42	158.6	1784.34	271.062	727.39	92.74
O ₂ (mg/l)	-	3.172	4.585	5.81	2.90	2.33	1.266	33.67
DBO ₅ (mg/l)	237.75	196.25	144.21	100	240	260	57.29	29.12

Tableau V : Rendement de dépollution des eaux usées : incluant l'hydroxyde de calcium.

Paramètres	Rendement de dépollution en %			
	Sulfate d'alumine	Chlorure ferrique	Chlorosulfate Ferrique	Hydroxyde de Calcium
Turbidité	92.60	94.00	92.50	94.00
NO ₂ ⁻	31.27	44.26	67.81	73.89
NH ₄ ⁺	21.9	36.7	23.26	66.59
SO ₄ ²⁻	44.00	58.45	39.58	64.64
DBO ₅	28.60	71.50	28.60	57.50

Tableau VI : Rendements d'élimination des critères de pollution par coprécipitation à la chaux vive ** et éteinte* (doses optimales de 400 à 600 mg/l).

Chaux	Rendement des paramètres critères de pollution en %						
	Turbidit.	Nitrites	Nitrates	Ammoniaque	Phosphates	Sulfates	DBO ₅ DCO
CaO **	95.00	10.5	21.80	74	<u>64.50</u>	31.50	<u>87.5</u> <u>64</u>
Ca(OH) ₂ *	96.00	32.00	47.00	80.25	<u>62.00</u>	18.00	<u>93.50</u> <u>40</u>

Tableau VII : Test bactériologique des eaux usées urbaine traitées à la chaux.

Echantillon	Turbidité (NTU)	Coliformes T NPP/100 ml	Coliformes fécaux NPP/100 ml	Plomb (mg/l)
Eau brute	351	>1100	>1100	0.10
Eau traitée au CaO *	5.30	4	4	Néant
Eau traitée au Ca (OH) 2	4.35	21	21	Néant

2.3 Protocole opératoire des essais

Pour les essais de floculation, nous avons suivi les paramètres fixés par optimisation, à savoir : une vitesse d'agitation de 50 tr/min, durant 10 min à des doses habituelles pour les coagulants classiques de 200 à 300 mg/l et de 200 à 800 mg/l pour les essais avec la chaux. Les critères de pollution sont dosés par spectroscopie UV-Vis., Les analyses bactériologiques des coliformes totaux et fécaux sont effectuées au niveau du laboratoire central de l'entreprise publique des eaux de Annaba (EPEA), et la consommation de l'oxygène par la boue de chaux estimée selon la norme NF T90 340. Cette mesure permet de voir la nocivité des boues rejetées après traitement vis à vis de la nature. Elle s'effectue suite à une aération de l'échantillon de boue pendant une période de six heures. Ensuite une mesure de l'oxygène dissout de l'échantillon avant et après aération est effectuée. Quant aux métaux, l'analyse est effectuée par absorption atomique.

2.4 Résultats

Au préalable nous avons comparé l'effet de l'hydroxyde de calcium à celui des coagulants classiques ou nous avons obtenu une floculation performante comme le résume le tableau V. A ce stade, nous avons utilisé la chaux locale, au but de coprécipiter les colloïdes et les diverses suspensions des rejets urbains à moyenne et forte turbidité. Les résultats sont illustrés par la figure 1. Pour une turbidité initiale de 221 NTU et plus, l'eau usée est ramenée à une turbidité inférieure à 10 NTU.

Nous avons enfin confirmé la purification en étudiant : l'évolution des paramètres critères de pollution rassemblés au tableau VI, l'analyse bactériologique représentée au tableau VII et enfin la consommation de l'oxygène par la boue de chaux figure 2.

Ces résultats nous montrent que contrairement au cas des eaux naturelles, la chaux agit en tant qu'excellent coagulant dans les eaux usées urbaines. Les eaux résiduaires urbaines étant des milieux complexes, contenant des ions étrangers en particuliers les sulfates, phosphates, carbonates, ...successibles de conduire à la précipitation d'autres sels insolubles et à la formation d'ions complexes.

Ainsi la précipitation des colloïdes est activée par la présence :

- d'oxyde de magnésium qui se solubilise facilement en hydroxyde
- d'un pH basique (9 à 10.5) favorable à la précipitation des sels des ions présents
- des ortophosphates dont l'élimination (à hauteur de 65 %) par effet combiné d'adsorption, d'échange, et de précipitation avec le calcium (EDELIN, 1993) en forme d'hydroxylapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, qui est un précipité des plus stables, favorisant certainement la sédimentation, ainsi que l'élimination des métaux lourds (ROQUES, 1990).

Nous remarquons également que le taux de consommation de la boue en oxygène de la boue est très faible et atteint seulement une valeur maximale de 0.8 mg/l d'oxygène

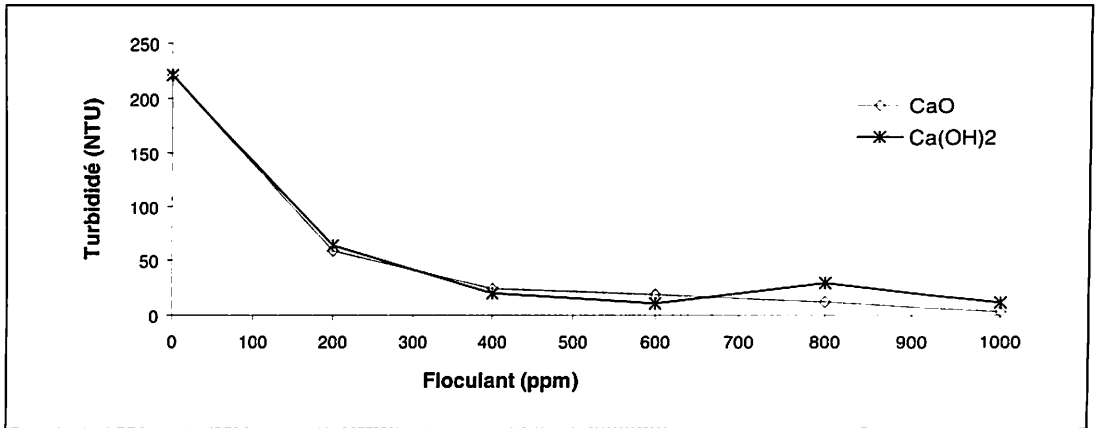


Figure 1 : Variation de la turbidité des eaux usées en fonction des doses de chaux utilisées.

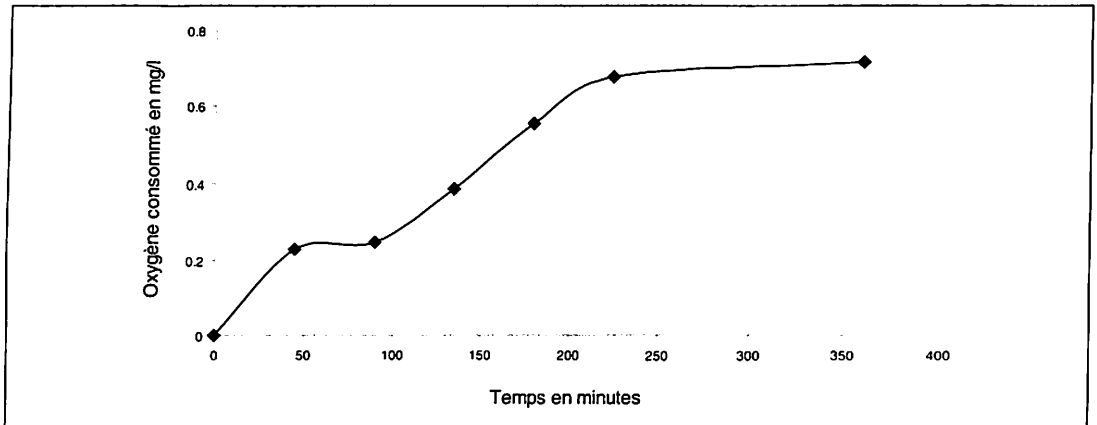


Figure 2 : Evolution de la consommation en oxygène dissout par la boue de chaux.

consommé pour un temps de 400 min, ce qui nous permet de dire que la boue procurée suite au traitement physico-chimique par la chaux n'est pas nocive et ne contient pas de micro-organismes actifs.

CONCLUSION

D'après les résultats nous remarquons que la chaux de Sider donne de très bon rendement d'élimination avec :

- Une dose efficace comprise entre 400 à 600 mg/l pour le $\text{Ca}(\text{OH})_2$; et de 600-800 mg/l

pour le CaO ;

- Une vitesse d'agitation faible de l'ordre de 50 tr/min ;
- Un temps d'agitation de 10 min.

Les résultats enregistrés dans le tableau IV montrent une nette amélioration du rendement en ce qui concerne les phosphates (56 %), l'ammoniaque (75 %), la turbidité est presque totalement éliminée, par contre les nitrates et les sulfates, leur rendement d'élimination est faible.

Nous attribuerons ceci à l'augmentation du pH de l'eau qui est de :

Ca(OH)_2 1^{er} choix : 10.70 - 11.67
 CaO : 9.29 - 10.21

La valeur du pH compatible avec la vie des poissons est comprise entre 5 et 9 ; cependant ; pour la plupart des espèces chimiques aquatiques, la zone du pH favorable se situe entre 6 et 7. Les bactéries ; en général ; préfèrent les milieux neutres avec un pH égale à 7 - 7.5 avec pour la plupart des tolérances à des variations de 6 à 9 (SCRIBAN, 1993). Mais certaines sont sensibles aux variations du pH. L'effet du pH sur l'ensemble de l'activité cellulaire est très important. Si on suit l'évolution de la vitesse de croissance en fonction du pH, pour un micro-organisme donné et dans un milieu donné, on remarque qu'elle prend une valeur maximale pour une valeur du pH ou dans une zone de pH optimale. De part et d'autre de cette valeur ou de cette zone elle est plus faible et devient nulle (croissance microbienne inhibée). Les pH alcalins sont, d'une façon générale, préjudiciables aux micro-organismes, la limite de leurs développement se situant pour des valeurs de l'ordre de 9 à 9.5 (LARPENT *et al.*, 1992). Ainsi, les bactéries sont-elles, en règle générale, neutrophiles, présentant une meilleure croissance pour les pH voisins de 7 (ANTONINI, 1991). C'est pourquoi, lorsqu'on fait augmenter le pH on fait stopper la biodégradation des micro-organismes aboutissant à la formation des dépôts fossiles. Concernant les sels nous remarquons une élimination élevée de l'ammoniaque ; les phosphates, quant à la turbidité est totalement éliminée.

L'usage de la chaux dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, aboutit à une eau parfaitement limpide. Il se comporte en effet en agent floculant (clarifiant) satisfaisant, doublé d'une action stabilisante des boues. La diminution notable des facteurs de pollution chimique et bactérienne (DBO_5), pourrait requérir à celle-ci une qualité analogue à celle des eaux d'irrigation si elle est effectivement accompagnée

d'une diminution notable des métaux lourds tel le cas du plomb. D'autant que les coliformes totaux et fécaux se situent au dessous de la norme de contamination, qui est de 20 NPP (NAHIMANAO *et al.*, 1990). Ces analyses sont étayées par l'absence de consommation d'oxygène par la boue de chaux, ce qui nous met à l'abri des risques de contamination microbienne. Il est certain que la réutilisation des eaux usées urbaines contribuerait à réduire le déficit chronique en Eau enregistré. Cette optique étayée par une étude bactériologique approfondie permet d'une part, de réduire ce déficit hydrique par la réutilisation des eaux usées dans les secteurs susceptibles de tolérer certaines insuffisances qualitatives de ces eaux et d'autre part, solutionner le problème posé par ses rejets résiduaires et leurs conséquences sur l'environnement.

Références bibliographiques

- ANTONIONI G., BEN AIM R., 1991. Procédés de séparation. édition TEC ET DOC.
- DEDIEU L., HORT C., MARTIN-DOMINIGUEZE A., OLA M., ROQUES H., 1994. Tribune de l'eau V. 47, n°575/3, p.3.
- EDLINE F., 1993. L'épuration biologique des eaux. TEC ET DOC Lavoisier éd. Paris.
- HAMDAOUI O., OUCHEFOUN M., ZERDAOUI M., 1999. Cahiers de l'assoc. Scient. Europ. V.41-99 pp. 53 à 65.
- IVES DELEU, 1984. Le caractère fractal de courbes de mesure de la qualité de l'eau CEBE-DOC 1984, PP315-321 n° 489-490.
- LARPENT M., GOUGNARD J.J., SANGLIER, 1992. Biotechnology principes et méthodes. édition Doin.

LASKRI N., 2000. Caractérisation et traitement des eaux résiduaires de la ville de Annaba, Th. de Magistère V. 1.

LEROY P., 1994. Tribune de l'eau V. 47 n° 567/7 pp. 37 à 42.

MILAUDE N., 1990. Le traitement des eaux usées des communes à forte population estivale. Eau, l'industrie ; les nuisances 1990, n°113, pp 55-57.

NAHIMANAO , BOHATIER J., DORAT J.F., 1990. Observation et estimation quantitative de micro-organismes des boues activées d'une station d'épuration d'eaux usées urbaines. Eau, l'industrie ; les nuisances ; 1990 ; n° 113 pp 68-70.

ROQUES H. 1990. Fondement théoriques du traitement des eaux Technique et documentation Lavoisier éd. Paris.

SCRIBAN R., 1993. Biotechnologie CEBEDOC.