

Effets des variations des températures saisonnières sur les modifications des phosphates dans des eaux usées

Effects of seasonal temperature variations on the modifications of phosphates in wastewaters

S. NARASIAH (1), J. SHOIRY (2), C. MORASSE (3)

RÉSUMÉ

Le phosphore est l'élément responsable de l'eutrophisation des lacs et des cours d'eau. Ainsi, il faudrait prendre les précautions nécessaires pour que la concentration maximale de phosphate total dans l'effluent des usines d'épuration soit 1 mg/L. On sait que l'élimination biologique du phosphore peut conduire à une réduction des phosphates totaux d'environ 40 %. Ici les facteurs comme la température de l'eau et de l'air ambiant peuvent influencer les divers processus de modification des phosphates. La présente étude évalue l'importance de ces paramètres sur les modifications telles que l'orthophosphate filtrable et le phosphate total. Les résultats obtenus sont utilisés pour définir les rapports entre les diverses modifications à l'aide de modèles mathématiques simples et utilisables dans la pratique.

Mots clés : Étangs aérés, effets de la température sur le phosphore, élimination des phosphates, épuration des eaux en climat froid.

(1) Professeur titulaire, Département de génie civil, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec), J1K 2R1, CANADA.

(2) M.Sc.A., M. Env., Associé de recherche, Département de génie civil, Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec), J1K 2R1, CANADA.

(3) Ingénieure des projets, Gendron, Lefebvre inc., Laval (Québec), CANADA.

SUMMARY

The presence of phosphorus is undesirable in treated wastewater effluents as it leads to eutrophication in the lakes or river systems. Municipal wastewater treatment plants should therefore give particular attention to keep total phosphate concentrations below 1 mg/l in their effluents. Phosphorus can be removed by biological methods up to about 40 % of its influent concentration. Bacteria hydrolyse and convert the condensed phosphates in to the easily removable orthophosphate form. Temperature variations of air and wastewater can have significant influence on the form of phosphate fraction present in wastewater. In the present study, the effects of temperature variations in summer and winter on the relationships between filterable orthophosphates and total phosphates in wastewater are reported. Using results from laboratory studies as well as from existing wastewater treatment plants treating domestic wastewater, simple mathematical models are developed for various phosphate species. These relationships are useful in day-to-day operation of a treatment plant in monitoring the total phosphates leaving with the treated effluent : if orthophosphate measurement is utilized to characterize the effluent total phosphate, then the plant operator will be well advised to watch the seasonal variations of the various phosphate concentrations.

Key-words : *Aerated lagoons, temperature effects on phosphorus, phosphorus removal, wastewater treatment in cold climate.*

INTRODUCTION

Les eaux usées domestiques renferment du phosphore provenant essentiellement de l'activité humaine. On observe que la concentration moyenne de phosphore dans les eaux usées domestiques est généralement de l'ordre de 10 g/m³. Après un traitement biologique conventionnel, cette concentration est réduite à environ 3 g/m³ (USEPA, 1978). Puisque le phosphore et l'azote jouent un rôle important dans le déclenchement du processus d'eutrophisation, il semble donc qu'il y ait intérêt à orienter et accélérer les efforts vers une réduction d'un de ces éléments au cours d'un traitement biologique ou physico-chimique des eaux usées. Les variations de la température ambiante et celle des eaux usées semblent influencer les diverses modifications chimiques des phosphates dans ces eaux. Il existe des travaux de recherche sur l'enlèvement des phosphates notamment ceux de BARTH *et al.*, (1968) ; HARRIGER *et al.*, (1979) ; BALDWIN *et al.*, (1974) ; KAVANAUGH *et al.*, (1978) ; LEENTVAAR *et al.*, (1978) ; MALHOTRA *et al.*, (1964) ; SCHMID *et al.*, (1969) ; STUMM *et al.*, (1964) ; et COSSU *et al.*, (1986). Cependant, ces auteurs ne discutent pas de l'influence de la température sur les diverses modifications de phosphates. En raison de l'importance de plus en plus grande de la déphosphatation biologique des eaux résiduaires, il est opportun d'étudier l'influence de la température sur le procédé.

L'objectif principal de cette étude est d'abord de déterminer si les variations de la température de l'air et celle de l'eau affectent les modifications de phosphore dans les eaux usées et, si oui, de trouver

des relations mathématiques simples entre les différentes formes de phosphates, comme par exemple, entre l'orthophosphate filtrable et le phosphate filtrable (OPF : PF), entre l'orthophosphate filtrable et le phosphate total (OPF : PT) et entre l'orthophosphate total et le phosphate total (OPT : PT). Une connaissance de ces rapports pourrait être très utile dans la pratique d'épuration des eaux usées, car elle nous permet d'effectuer un meilleur contrôle de la concentration de phosphates à la sortie d'un système d'épuration.

FORMES DE PHOSPHORE

Le phosphore est un élément pouvant contrôler la croissance biologique. Il se trouve presque uniquement sous forme de types variés de phosphate. Ces formes sont classées en :

Phosphates totaux	Orthophosphate : H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}	- soluble
	Polyphosphate : pyrophosphate	$\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$, - soluble
		$\text{H}_2\text{P}_3\text{O}_7^{3-}$ - soluble
	tripolyphosphate	$\text{H}_2\text{P}_3\text{O}_{10}^{3-}$ - soluble
	trimétaphosphate	$\text{HP}_3\text{O}_9^{2-}$, - soluble
		$\text{P}_3\text{O}_9^{3-}$ - soluble
	Phosphate organique sous forme complexe	- insoluble

Dans les eaux résiduaires domestiques, avec un pH de 7,5, la forme prédominante de phosphate est l'orthophosphate, enlevable par l'addition d'un coagulant et une précipitation subséquente. Par contre, les polyphosphates sont, dans la plupart des cas, des polymères d'acide phosphorique sans l'eau de cristallisation. Dans une épuration biologique, les bactéries jouent un rôle significatif dans l'assimilation de phosphore sous forme d'orthophosphate. Les phosphates condensés comme des pyrophosphates et les tripolyphosphates sont souvent soumis à une hydrolyse enzymatique pour se transformer en orthophosphate avant d'être assimilés. HURWITZ *et al.*, (1980) rapportent qu'entre 50 - 80 % des phosphates condensés se trouvant dans des eaux usées domestiques sont hydrolysés par des micro-organismes aérobies et anaérobies.

EXPÉRIENCES

Une usine d'épuration située en banlieue de l'Université de Sherbrooke (North Hatley) a été choisie pour étudier le problème dans des conditions pratiques. Le laboratoire de génie sanitaire de l'Université a été utilisé aussi pour effectuer les analyses et des essais préparatoires. L'usine d'épuration consiste en deux étangs aérés desservant une population de 1 500 habitants. La température moyenne maximum de l'air ambiant est de

l'ordre de 24 °C en été. En hiver, la moyenne mensuelle de cette température est de -12,8 °C. La température moyenne de l'eau varie de 20 °C en été à 0,5 °C en hiver. La figure 1 montre les écarts de température entre l'air ambiant, l'affluent et l'effluent de l'usine d'épuration au cours d'une année. Les eaux usées étudiées sont d'origine domestique, mais avec un apport important d'eaux d'infiltration. Le taux d'infiltration peut atteindre jusqu'à 150 % du débit moyen. Les étangs ont respectivement une superficie de 0,15 à 0,10 ha et environ 3,0 m de profondeur. Des aérateurs de surface de type AQUAJET sont utilisés dans les étangs.

On retrouve dans le premier étang un aérateur d'une puissance de 7,5 kW tandis qu'il y a deux aérateurs de 5,6 kW chacun dans le deuxième étang. Le temps de rétention hydraulique mesuré dans les étangs est de 13,0 jours en hiver. La figure 2 montre un schéma général de l'implantation de l'usine.

Un échantillonneur automatique pouvant collecter des échantillons composés à 9 h 00 et à 18 h 00 a été installé à l'usine d'épuration. En plus, quelques prélèvements manuels aux mêmes heures ont été effectués. Les points de prélèvements sont le collecteur, les étangs 1 et 2, et le déversoir d'effluent. Ces échantillons sont transportés immédiatement au laboratoire pour effectuer les analyses suivantes : la demande biochimique en oxygène (DBO), matière en suspension (MES), demande chimique en oxygène (DCO), et les concentrations de phosphore.

Les diverses analyses ont été effectuées selon "Standard Methods" (APHA, 1985). Les analyses des phosphates ont été faites plus en détail. Comme on le sait, cela implique essentiellement deux étapes : premièrement, la conversion de phosphate en orthophosphate soluble et, ensuite, la détermination colorimétrique de l'orthophosphate. Pour pouvoir trouver la fraction soluble, l'échantillon est filtré à travers un filtre à membrane de 0,45 micron. L'hydrolyse avec l'acide chlorydrique à une température de 100 °C a pour but de convertir les phosphates filtrables et condensés en orthophosphates filtrables. La méthode couramment utilisée pour l'hydrolyse est celle de persulfate. Par ailleurs, la méthode "Stannous Chloride" est utilisée pour une meilleure détermination du phosphore par la colorimétrie. Les formes suivantes de phosphore ont été déterminées au cours de nos essais :

Orthophosphates filtrables (OPF), orthophosphates totaux (OPT), phosphates filtrables (PF) et phosphates totaux (PT).

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Le tableau 1 montre les concentrations moyennes annuelles des diverses formes de phosphate dans les eaux d'affluent et d'effluent.

En se basant sur les données ci-dessus, les figures 3 et 4 montrent la distribution de chaque fraction de phosphate par rapport aux phosphates totaux dans des eaux résiduelles. On peut remarquer sur les figures 3 et 4 que la forme prédominante de phosphate dans les eaux usées est l'orthophosphate qui représente environ 65 % des phosphates totaux. La figure 3 montre une comparaison entre les diverses fractions

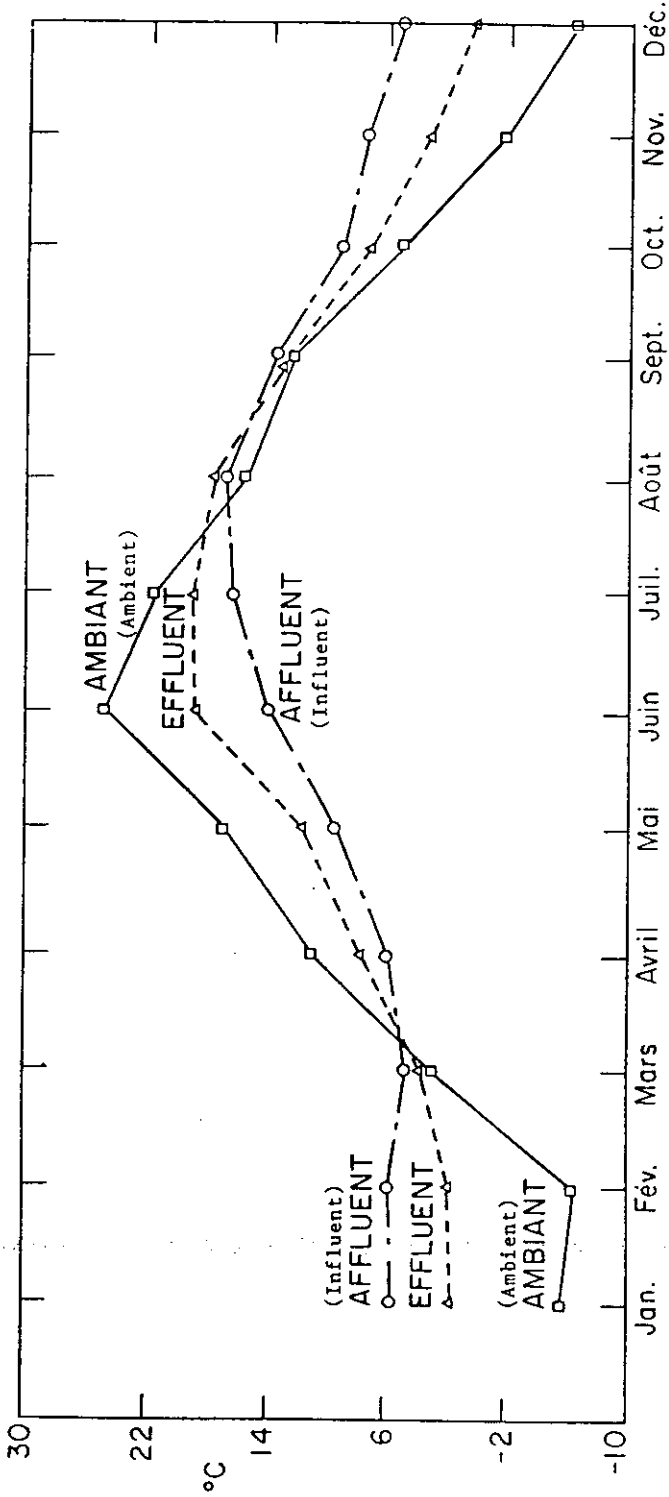
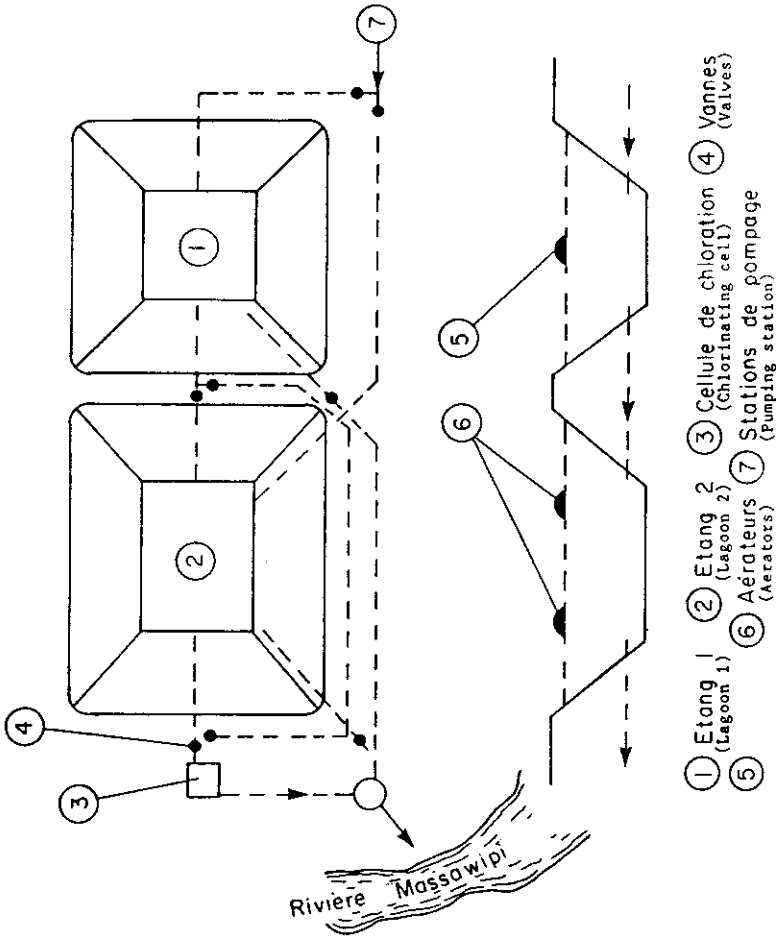


Figure 1.- Température moyenne mensuelle de l'affluent et l'effluent.

Figure 1.- Monthly average temperature of influent and effluent wastewater.



- ① Etang 1 (Lagoon 1)
- ② Etang 2 (Lagoon 2)
- ③ Cellule de chloration (Chlorinating cell)
- ④ Vannes (Valves)
- ⑤ Aérateurs (Aerators)
- ⑥ Stations de pompage (Pumping station)
- ⑦ Vannes (Valves)

Figure 2.- Disposition des étangs aérés.
 Figure 2.- Arrangement of aerated lagoons.

de phosphate durant l'été et l'hiver. Il est évident sur cette figure que la fraction de l'orthophosphate filtrable (OPF) n'est pas significativement différente pour les deux saisons, c'est-à-dire 48 % pendant l'été et 43 % (des phosphates totaux) pour l'hiver. De la même façon, les phosphates filtrables (PF) constituent 59 % des phosphates totaux (PT) pour l'hiver et 62 % pour l'été. Pour ce qui est des orthophosphates totaux (OPT), les chiffres correspondant sont 65 % pour chaque saison. En d'autres termes, la distribution des diverses fractions de phosphate dans l'affluent ne semble pas être très différente d'une saison à l'autre. Les observations de BALDWIN *et al.*, (1974) sont similaires à ces résultats dans ce cas.

Tableau 1.- Valeurs moyennes des concentrations de phosphate dans l'affluent et l'effluent (g/m^3).

Table 1.- Average values of phosphate concentrations in the influent and effluent (g/m^3).

Saison		Ortho-phosphate filtrable	Ortho-phosphate total	Phosphate filtrable	Phosphate total
Season		Filtrable Ortho-phosphate	Total Ortho-phosphate	Filtrable Phosphate	Total Phosphate
Hiver Winter	Affluent Influent	1,92	2,89	2,64	4,47
	Effluent Effluent	1,17	1,52	1,55	2,45
Eté Summer	Affluent Influent	2,01	2,72	2,57	4,17
	Effluent Effluent	1,83	2,22	2,03	2,62

Nombre d'échantillons: Hiver (novembre-avril) = 302 échantillons
Number of Samples : Winter (november-april) = 302 samples

Eté (mai-octobre) = 290 échantillons
Summer (may-october) = 290 samples

Pour ce qui est de la concentration de l'effluent, les résultats ne suivent pas la même tendance. Les concentrations des différentes formes de phosphates varient de l'été à l'hiver. La figure 4 montre que le rapport d'orthophosphate filtrable (OPF) sur le phosphate total augmente de 48 % en hiver pour atteindre 70 % en été, tandis que la concentration de phosphate filtrable (PF) passe de 65 % en hiver à 77 % durant les mois d'été.

Une comparaison des figures 3 et 4 nous permet de réaliser que le taux de conversion des phosphates organiques et des polyphosphates en orthophosphates est accéléré pendant la période estivale bien que la charge organique, le taux de mélange et le temps de rétention soient raisonnablement constants.

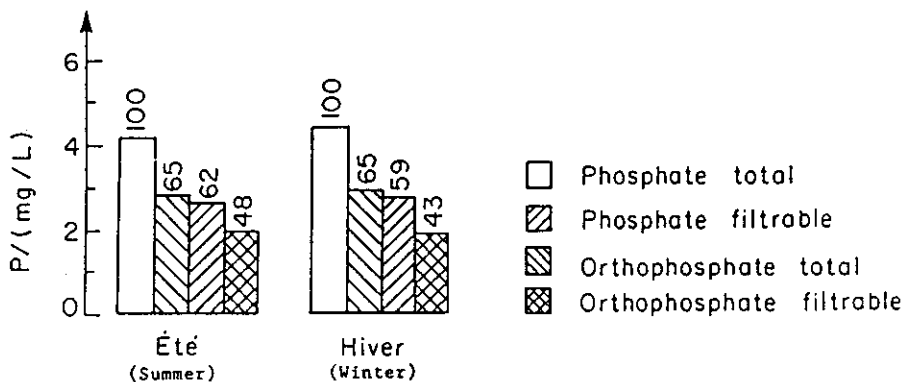


Figure 3.- Concentration de diverses formes de phosphates dans l'affluent d'étangs.

Figure 3.- Concentration of various forms of phosphates in the influent wastewater of the lagoons.

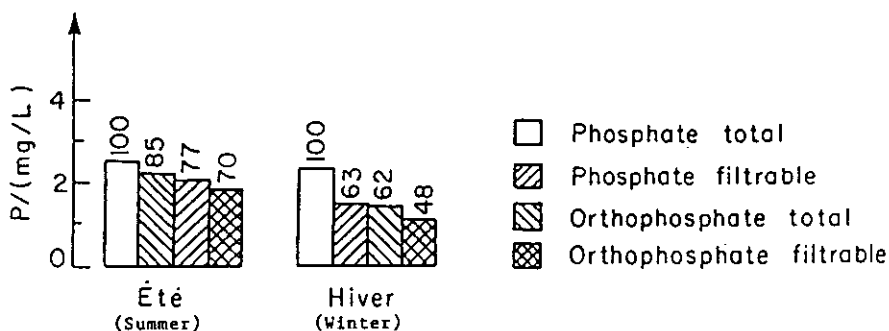


Figure 4.- Concentration de diverses formes de phosphates dans des effluents d'étangs.

Figure 4.- Concentration of various forms of phosphates in the effluent wastewater of the lagoons.

Bien sûr, ceci est dû à l'activité biologique plus intense en été qu'en hiver. Au fur et à mesure que la température baisse à l'arrivée de l'automne, les rapports OPF : PT et OPF : PF diminuent. Au cours de l'hiver, l'activité biologique est réduite au strict minimum dans les étangs, et, par conséquent, il y a une chute du taux de conversion des phosphates en orthophosphates.

Ces constatations nous ont poussé à effectuer une série d'essais sur une deuxième usine d'épuration par étangs aérés à St-François-Xavier, traitant des eaux usées dont les caractéristiques sont semblables à la première usine. Les résultats des essais, dont la durée est de 12 mois, sont montrés sur les tableaux 2 et 3. Chaque valeur aux tableaux est une moyenne d'au moins quatre observations par semaine. Les modifications du phosphate sont montrées uniquement dans les tableaux 2 et 3 tandis que les autres paramètres pertinents tels que pH, DBO et DCO

Tableau 2.- Résumé des modifications de phosphore dans l'affluent et l'effluent des eaux usées (concentration en mg/l).

Table 2.- Summary of phosphate modifications in influent and effluent wastewater (mg/l).

Saison (Season)	Température moyenne		Affluent influent			Effluent Effluent		
	Air	Eau (water)	OPF	PF	OPF/PF	OPF	PF	OPF/PF
	°C	°C						
			0.62	0.75	0.83	0.40	0.50	0.80
			0.62	1.00	0.62	0.43	0.92	0.83
Hiver (Winter)			0.95	1.50	0.63	0.40	0.70	0.57
			0.70	1.75	0.40	0.42	0.74	0.57
(Novembre - Avril)	-12.44	5.18	0.55	2.00	0.28	0.50	1.11	0.45
(November-April)		Affluent (Influent)	1.10	2.00	0.55	1.00	1.40	0.71
			1.45	1.75	0.83	1.25	1.40	0.89
			1.50	1.78	0.84	1.11	1.60	0.69
			1.55	1.80	0.86	1.20	1.50	0.80
			1.75	2.10	0.83	1.20	1.60	0.75
			1.80	2.40	0.75	1.50	1.90	0.79
			1.85	2.42	0.76	1.50	2.00	0.75
			1.75	2.90	0.60	1.60	2.00	0.80
		1.40 Effluent (Effluent)	1.95	2.91	0.67	1.90	2.20	0.86
			2.00	2.75	0.77	1.60	3.14	0.51
			2.40	3.15	0.76			
			2.60	3.50	0.74			
			2.75	3.30	0.83			
			2.60	4.50	0.58			
			3.60	4.25	0.85			
			4.20	4.70	0.88			
			4.60	5.50	0.84			
Moyenne de la saison (Average for the season)			1.95	2.67	0.75	1.06	1.51	0.70
			1.00	1.12	0.89	1.10	1.11	0.99
			1.25	1.75	0.71	1.10	1.20	0.92
Eté (Summer)			1.60	2.00	0.80	1.13	1.40	0.81
(Mai - Octobre)	23.85	20.10	1.40	2.12	0.66	1.50	1.50	1.00
(May-October)		Affluent (Influent)	1.70	2.40	0.71	1.60	1.60	1.00
			2.00	2.40	0.83	1.90	2.00	0.95
			1.75	2.75	0.64	2.00	2.10	0.95
			1.50	2.75	0.55	2.00	2.20	0.91
			2.00	3.00	0.67	2.22	2.10	1.06
			2.15	2.65	0.81	2.35	2.50	0.94
		17.90 Effluent (Effluent)	2.15	3.25	0.66	2.40	2.50	0.96
			2.30	3.25	0.71	2.22	2.75	0.81
			2.75	3.50	0.79	2.40	2.75	0.87
			3.00	3.70	0.81	2.44	2.80	0.87
			3.50	4.50	0.78	2.03	3.60	0.56
MOYENNE de la saison (Average for the season)			2.08	2.74	0.76	1.89	2.14	0.88

OPF : Orthophosphate filtrable (Filterable Orthophosphate)

PF : Phosphate filtrable (Filterable Phosphate)

Tableau 3.- Résumé des modifications de phosphore dans l'affluent et l'effluent des eaux usées (concentration en mg/l).

Table 3.- Summary of phosphate modifications in influent and effluent wastewater (concentration in mg/l).

Saison (Season)	Température moyenne		Affluent Influent			Effluent Effluent			
	Air (air)	Eau (water)	OPF	PT	OPF/PT	OPF	PT	OPF/PT	
	°C	°C							
Hiver (Winter) (Novembre - Avril) (November-April)			0.65	1.20	0.53	0.50	1.50	0.33	
			0.64	2.25	0.28	0.48	1.55	0.31	
			1.00	2.25	0.44	0.45	1.51	0.30	
			0.64	3.10	0.21	0.45	1.90	0.24	
	-12.44	5.18	1.00	3.07	0.33	0.50	2.30	0.22	
		Affluent	0.50	2.96	0.51	1.00	2.00	0.50	
		(Influent)	0.75	3.85	1.19	0.90	1.75	0.51	
			1.50	4.10	0.37	1.11	2.25	0.49	
		1.40		1.54	3.80	0.41	1.00	2.40	0.42
		Effluent	2.00	4.30	0.47	1.11	2.50	0.44	
	(Effluent)	1.85	4.45	0.42	1.75	3.75	0.47		
		2.45	5.00	0.49	1.20	2.48	0.48		
		3.75	6.50	0.58	1.40	2.90	0.48		
		4.25	6.75	0.63	1.00	3.00	0.33		
		4.50	2.90	0.57	1.40	3.40	0.41		
					2.50	4.40	0.57		
					1.38	3.45	0.40		
Moyenne de la saison (Average for the season)			1.87	4.10	0.46	1.07	2.53	0.46	
Eté (Summer) (Mai - Octobre) (May-October)			1.10	2.40	0.46	1.00	1.90	0.53	
			1.40	2.50	0.56	1.25	2.10	0.60	
			1.60	3.25	0.49	1.20	2.10	0.57	
			1.50	3.33	0.45	1.40	2.40	0.58	
	23.85	20.10	1.80	3.60	0.50	1.50	2.40	0.63	
		Affluent	2.00	3.75	0.53	1.00	2.25	0.44	
		(Influent)	2.00	4.12	0.49	1.40	1.50	0.93	
			2.22	4.50	0.49	1.60	3.30	0.48	
			2.25	5.00	0.45	2.00	2.75	0.73	
			3.50	7.50	0.47	2.10	3.30	0.64	
	17.90	3.25	7.50	0.43	2.40	3.25	0.74		
	Effluent	2.90	7.50	0.39	2.25	4.00	0.56		
	(Effluent)								
Moyenne de la saison (Average for the season)			2.13	4.58	0.47	1.59	2.60	0.61	

OPF : Orthophosphate filtrable(Filterable Orthophosphate)

PT : Phosphate total (Total Phosphate)

sont mesurés mais non rapportés ici. Basées sur l'évaluation des résultats des tableaux 2 et 3, les figures 5(a) et 5(b) et 6(a) et (b) sont préparées. Sur le graphique 5(a), il est à noter que dans le cas d'affluent seulement, la relation entre les phosphates filtrables (PF) et les orthophosphates filtrables (OPF) pour les saisons d'été et d'hiver forme une seule population qui suit une droite.

Relation entre l'orthophosphate filtrable (OPF) et le phosphate filtrable (PF), c'est-à-dire (OPF : PF)

Affluent (hiver et été) :

$$\text{OPF} = 0,85 \text{ PF} - 0,24 \quad (1)$$

(le coefficient de corrélation vaut 0,91).

Dans le cas d'effluent, toutefois, il y a deux populations distinctes qui lient les concentrations de OPF et PF pour les mêmes deux saisons étudiées. La figure 5(b) montre les deux droites représentant la relation entre OPF et PF. On voit sur le graphique que le rapport OPF : PF pour l'été n'est pas le même qu'en hiver. En effet, celui-ci est 18 % plus élevé en été qu'en hiver. Cette divergence est exprimée par les deux relations mathématiques suivantes :

Effluent (hiver) :

$$\text{OPF} = 0,82 \text{ PF} - 0,12 \quad (2)$$

(le coefficient de corrélation vaut 0,94).

Effluent (été) :

$$\text{OPF} = 0,85 \text{ PF} + 0,14 \quad (3)$$

(le coefficient de corrélation vaut 0,96).

Les figures 6(a) et 6(b) montrent la relation entre l'orthophosphate filtrable (OPF) et le phosphate total (PT). En ce qui concerne le rapport entre l'orthophosphate filtrable (OPF) et le phosphate total (PT), comme dans le cas OPF : PF, on peut remarquer qu'il existe une seule relation linéaire pour les deux saisons.

Relation entre l'orthophosphate filtrable et le phosphate total (OPF : PT)

Affluent (hiver et été) :

$$\text{OPF} = 0,58 \text{ PT} - 0,43 \quad (4)$$

(le coefficient de corrélation vaut 0,92).

Tel que prévu, il y a deux relations distinctes pour ce qui est du rapport OPF : PT, qui sont tracées sur le graphique 6(b). Dans ce cas, le rapport OPF : PT augmente de 15 - 20 % durant l'été par rapport à l'hiver. Les équations correspondantes sont données ci-après.

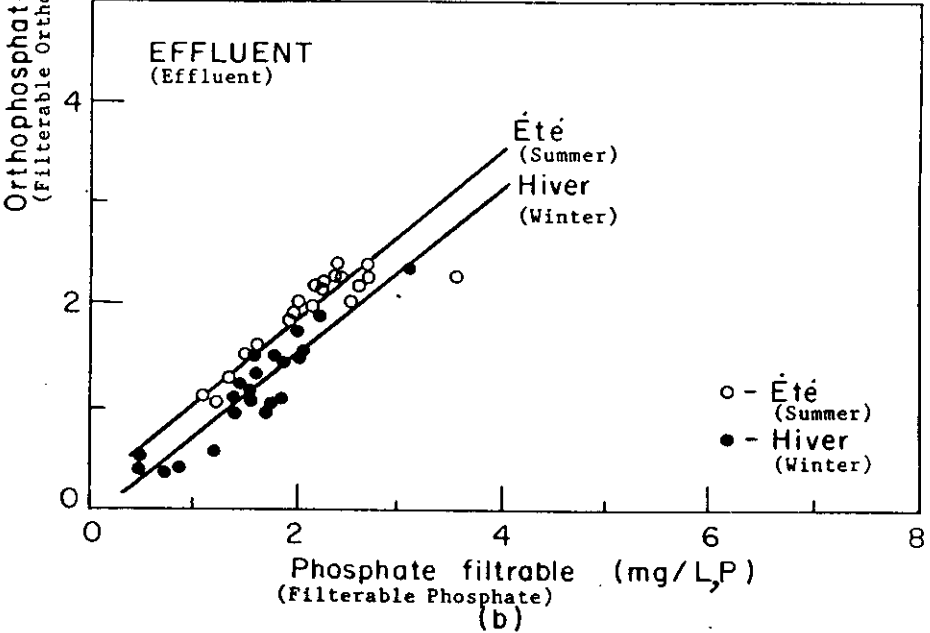
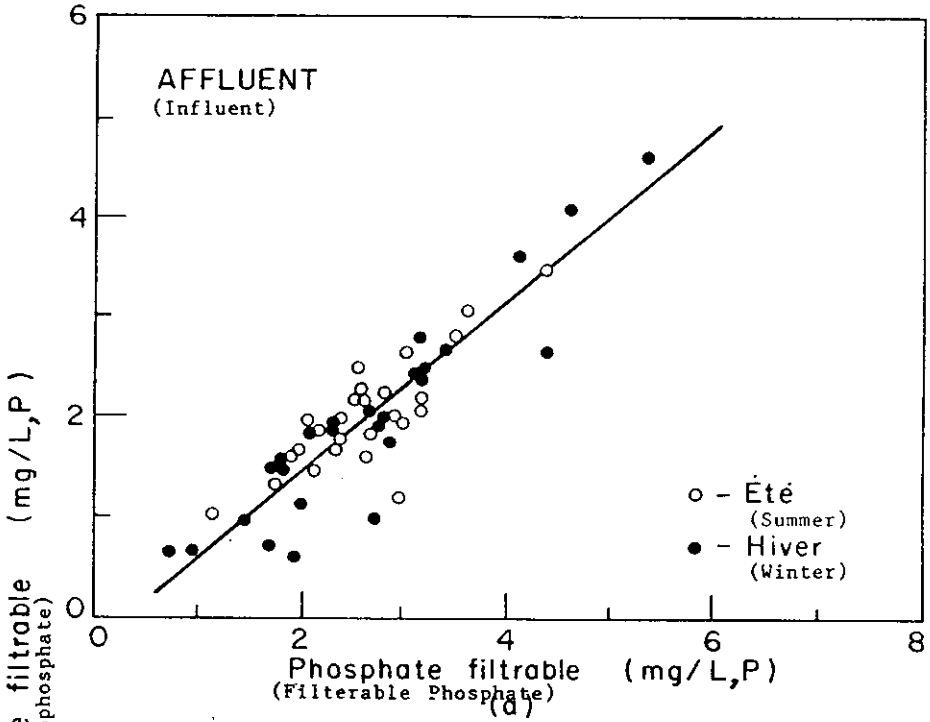


Figure 5.- Relation entre l'orthophosphate filtrable et le phosphate filtrable.

Figure 5.- Relationship between filterable orthophosphate and filterable phosphate.

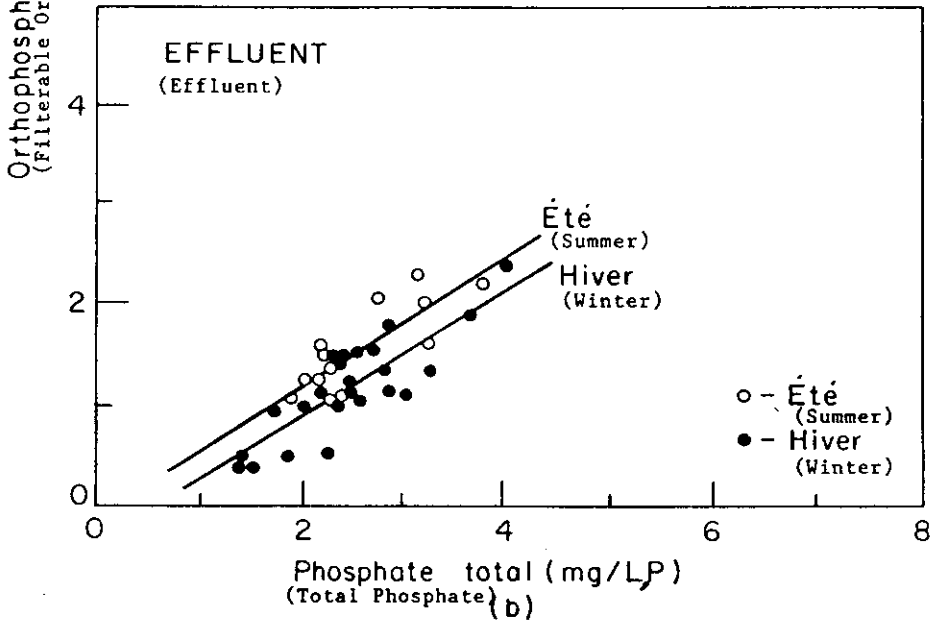
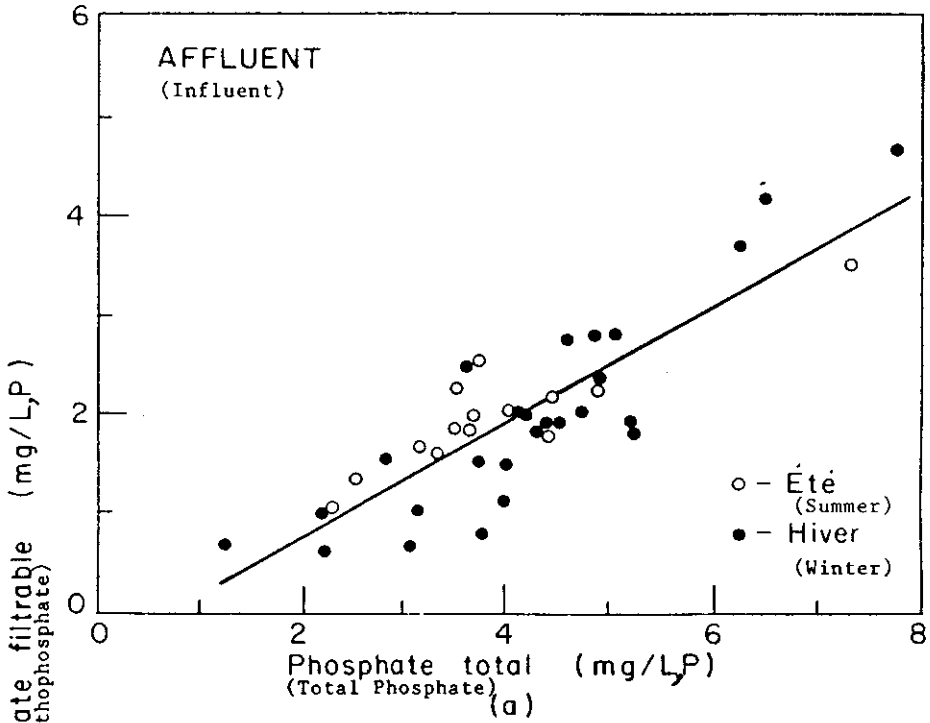


Figure 6.- Relation entre l'orthophosphate filtrable et le phosphate total.

Figure 6.- Relationship between filterable orthophosphate and total phosphate.

Effluent (hiver) :

$$\text{OPF} = 0,63 \text{ PT} - 0,41 \quad (5)$$

(le coefficient de corrélation vaut 0,90).

Effluent (été) :

$$\text{OPF} = 0,64 \text{ PT} - 0,14 \quad (6)$$

(le coefficient de corrélation vaut 0,90).

Les coefficients de corrélation élevés rencontrés démontrent que le degré de linéarité des droites proposées, est élevé.

Signalons que dans les études antérieures (NARASIAH et MORASSE, 1984), des résultats similaires ont été obtenus concernant l'orthophosphate total (OPT) et le phosphate total (PT). Dans quelques cas particuliers, il y a eu une augmentation d'environ 30 % du rapport OPT : PT pour les mois d'été comparés à l'hiver, pour ce qui est des effluents des étangs aérés.

En comparant les figures 5(a), 5(b), 6(a) et 6(b), on remarque que la concentration des orthophosphates filtrables et des phosphates filtrables ne varie pas significativement dans l'affluent pendant toute l'année. Par contre, ces mêmes modifications touchant le phosphore montrent un changement important dans le cas des effluents durant l'été. De la même façon, les orthophosphates totaux et les phosphates totaux augmentent sensiblement leur teneur dans les effluents estivaux comparés à ceux de l'hiver. En faisant la comparaison du rapport OPF : PF pour les saisons d'été et d'hiver, on note qu'il n'y a pas une différence marquée, c'est-à-dire 0,75 en hiver à 0,76 pour l'été (tableau 2). Les rapports OPF : PT changent légèrement de 0,46 en hiver à 0,47 en été (tableau 3). Par comparaison, les mêmes ratios OPF : PF augmentent d'une valeur de 0,70 en hiver à 0,88 en été pour les effluents des étangs (voir tableau 2). Il y a aussi une augmentation du rapport OPF : TP de 0,46 en hiver à 0,61 en été dans le cas de l'effluent (tableau 3). Nos observations précédentes des ratios OPT : PT en été dans l'effluent de l'usine sont similaires à celles citées ci-dessus qui confirment le fait que la température qui est la cause principale de cette différence. Ainsi, il est raisonnable d'avancer l'hypothèse que, si d'autres facteurs tels que le débit des eaux usées et les caractéristiques de l'affluent ne varient que très peu durant une saison, le taux d'hydrolyse des polyphosphates et organo-phosphates dans les eaux usées est accéléré durant la saison estivale. Dans ce contexte, les études menées par FINSTEIN et HUNTER (1967) démontrent que l'hydrolyse des polyphosphates par la flore biologique peut réduire les concentrations jusqu'à 60 %. Notre expérience indique que ce taux est de l'ordre de 45 % l'été, et plus bas en hiver.

Finalement, en examinant les équations de 1 à 6, on peut constater qu'il y a une différence marquée entre les valeurs des diverses modifications des phosphates dans les effluents pour la période d'été. La concentration d'orthophosphate est presque toujours plus élevée en été, dû très probablement à l'activité biologique intense retrouvée à l'intérieur du réacteur biologique. Entre autres, le processus d'hydrolyse des phosphates totaux en orthophosphates est accéléré par les températures plus élevées durant l'été. Ceci contredit l'affirmation de chercheurs comme DANIELS (1971, 1973) qui mentionne que, pour une eau usée donnée, il existe des relations fixes entre les différentes espèces de phosphates et que celles-ci peuvent demeurer constantes. Toutefois, les chercheurs n'indiquent pas l'influence possible des températures de l'air

ambiant et de l'eau sur les modifications de phosphate au cours du traitement biologique. A partir de nos résultats, il est possible d'affirmer que les conclusions de DANIELS *et al.*, ne sont valables que pour les affluents précédant un traitement biologique. Après le traitement biologique, il existe deux relations distinctes entre les orthophosphates et les phosphates totaux.

Dans la pratique, les relations définies précédemment entre les (OPF) et (PF) et entre les (OPT) et (PT) peuvent servir à une meilleure opération d'une usine d'épuration, comme elles indiquent un changement de ces relations d'une saison à l'autre. La détermination analytique de l'orthophosphate filtrable (OPF) étant plus facile par rapport à celle du phosphate total (PT), il serait préférable d'utiliser l'orthophosphate filtrable comme le paramètre de contrôle de la qualité de l'effluent. Dans ce cas, l'opérateur de l'usine qui utilise une mesure de (OPF) pour la caractérisation de (PT) de l'effluent sera bien conseillé d'être vigilant aux changements saisonniers des diverses modifications de phosphates.

CONCLUSIONS

1/ Les variations de température saisonnière ont un effet marqué sur les modifications particulières de phosphates présents dans l'eau usée.

2/ Dans des étangs aérés, le taux d'hydrolyse des polyphosphates en orthophosphates est plus accéléré en été qu'en hiver.

3/ En connaissant au préalable les relations modifiées entre les diverses espèces de phosphore causées par la température, il est possible d'effectuer un contrôle simple et rapide de l'usine d'épuration en minimisant les paramètres à analyser à l'aide des modèles mathématiques simples. Ces relations ont été établies pour les températures de l'eau suivantes : été : 20 °C, hiver : 0,5 °C, correspondant aux conditions rencontrées au Québec.

ABRÉVIATIONS

PT = Phosphates totaux

PF = Phosphates filtrables

OPT = Orthophosphates totaux

OPF = Orthophosphates filtrables.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les autorités de Conseil de Recherche Scientifique Nationale en Sciences et Génie, Ottawa, Canada, pour l'appui financier du projet. Les municipalités de North Hatley et St-François-Xavier, Québec, sont également remerciées pour leur coopération durant cette étude.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- APHA (1985). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 16th Edition. American Public Health Association, New-York, 1 265 p..
- BALDWIN, MONTEITH and WARRINER. (1974). *Phosphate Removal using Waste Alum Sludge from Water Purification*. Research Report, Environmental Protection Service, Environment Canada, 86 p..
- BARTH E.F. et al., (1976). *Process Design Manual for Phosphorus Removal*. Research Report EPA 625/176-001a, 845 p..
- BARTH E.F., BRENNER R.C., LEWIS R.F. (1968). Chemical-Biological Control of Nitrogen and Phosphorus in Wastewater Effluent. *JWPCF*, 40(12): 2040-2054.
- COSSU R.E., DE PRAJA FRANGIPANE et al., (1986). Pollution and Eutrophication in the Venice Lagoon. *Proceedings of 12th IAWPRC International Conference, Rio de Janeiro* : 813-823.
- DANIELS S.L. (1971). Phosphorus Removal from Wastewater by Chemical Precipitation and Flocculation, presented at the *American Oil Chemists' Society 1971, Short Course, Lake Placid, New-York* : 16.
- DANIELS S.L. (1973). Removal of Phosphorus and Nitrogenous Species from Wastewater, presented at the *45th Annual Meeting of the Water Pollution Control Association, New-York* : 26.
- EPA (1974). Physical Chemical Analysis of Water and Wastewater. *Manual of Reference, US Environmental Protection Agency*, 296 p..
- FINSTEIN M.S. and HUNTER J.V. (1967). Hydrolysis of Condensed Phosphates during Aerobic Biological Sewage Treatment. *Water res.*, 1: 247-254.
- HARRIGER R.D. and HOFFMANN F.L. (1970). *Phosphorus Removal Tests, Two Rivers, Wisconsin*. Allied Chemicals Ltd., Syracuse, New-York : 18.
- HURWITZ et al., (1980). In : *Biological Process Design for Wastewater Treatment* by Benefield L.D. and Randall C.W., Prentice Hall : 98-99.
- KAVANAUGH et al., (1978). Phosphorus Removal by Post-Precipitation with Fe (III). *JWPCF* : 216-233.
- LEENTVAAR J., WEREMEUS BUNING W.G. and KOPPERS H.M. (1978). Physico-Chemical Treatment of Municipal Wastewater Coagulation - Flocculation. *Water Res.*, 12(1): 35-40.
- MALHOTRA S.K. et al., (1964). Nutrient Removal from Secondary Effluent by Alum Flocculation and Lime Precipitation. *Int. J. Air Water Pollut.*, 8: 487.
- NARASIAH K.S., MORASSE C. (1984). Seasonal Variations of Phosphate Species in Wastewater. *J. Am. Soc. Civ. Eng.*, 110(5): 1005-1008.
- SCHMID L.A. and MCKINNEY R.E. (1969). Phosphate Removal by Lime - Biological Treatment Scheme. *JWPCF*, 41: 1259.
- STUMM W. (1964). Chemical Elimination of Phosphates as a Third Stage Sewage Treatment, Advances in Water Pollution Control Research, *Proceedings, 1st International Conference on Water Pollution Research*, Pergamon Press Ltd., London, 2: 216.
- USEPA (1978). *Phosphorus Removal Process Design Manual*, US Environmental Protection Agency, 1 141 p..