

**IMPACT DE L'EUTROPHISATION DE L'EAU SUR
L'ENVIRONNEMENT, APPLICATION SUR LE LAC HALLWIL EN
SUISSE.**

**IMPACT OF THE EUTROPHICATION OF WATER ON THE
ENVIRONMENT, APPLICATION ON LAKE HALLWIL IN
SWITZERLAND.**

SEMAOUNE Mansour¹, KETTAB Ahmed², GAFSI Mustapha³, BENMAMAR Saâdia⁴.

¹*Post-Graduant « Sciences de l'Eau », ENP, Alger ;*

²*ENP/Directeur de Laboratoire de Recherches en Sciences de l'eau, Alger ;*

³*Université Amar Téliidji, Laghouat ;* ⁴*Maître de Conférences, ENP/Laboratoire de Recherches en Sciences de l'Eau, Alger.*

Résumé : L'eutrophisation des lacs est un processus évolutif naturel dû principalement à un excès de substances telles que l'azote ou le phosphore. Ces excès favorisent le développement d'espèces végétales nuisibles (algues, macrophytes, ...), une forte putridité de l'eau, la prolifération d'insectes, la disparition d'espèces végétales et animales; ceci se traduit globalement par une détérioration générale de la qualité de l'eau. Face à cette situation, les techniques de restauration des lacs ou prévention contre l'eutrophisation sont nombreuses (chimiques, biologiques et mécaniques). Dans ce présent article on présente les moyens de lutte préventifs et curatifs contre le phénomène de l'eutrophisation des lacs et réservoirs, et de contrer aux éléments chimiques qui provoquent la pollution de ces lacs, qui influent sur la faune et la flore aquatique. On présente ainsi les graphes de l'évolution de la concentration de l'oxygène dissous et la concentration du phosphore total, avant et durant l'aération par déstratification et l'aération hypolimnique, qui varie en fonction de la profondeur du lac. Dans le but de préserver la qualité de l'eau du lac de Hallwil.

Mots Clés: Pollution, eutrophisation, gestion des ressources en eau.

Abstract : The eutrophication of the lakes is a natural evolutionary process due mainly to an excess of substances such as the nitrogen or phosphorus. These excesses support the development of harmful vegetable species (algae, macrophytes...), a strong putridity of water, the proliferation of insects, the disappearance of vegetable and animal species; this results overall in a general deterioration of the quality of the water. Face to this situation, the technics of restoration of the lakes or prevention against eutrophication is numerous (chemical, biological and mechanical). In this present article we present the preventive and curatives means of fight against the phenomenon of the eutrophication of the lakes and reservoirs, and to counter with the chemical elements which cause the pollution of these lakes, which influence fauna and the watery flora. We thus present the graphs of the evolution of the concentration of dissolved oxygen and the concentration of total phosphorus, before and during ventilation by destratification and the hypolimnetic ventilation, which varies according to the depth of the lake. With an aim of preserving the quality of the water of the Lake Hallwil.

Key Words: Pollution, eutrophication, stock management out of water.

Nomenclature

C : Concentration dissoute, $mol\ m^{-3}$;	F_D : Flux de l'espèce dissous, $mols^{-1}$
F_G : Flux de l'espèce gazeux, $mols^{-1}$;	F_S : Flux de la salinité, $kg\ s^{-1}$
F_T : Flux de la température, $^{\circ}C\ m^3\ s^{-1}$;	g : Accélération gravitationnelle, ms^{-2}
H : Coefficient de Henry, $mol\ m^{-3}\ bar^{-1}$;	K_L : Coefficient du transfert de masse, ms^{-1}
L : Longueur de la plume, m ;	M : La vitesse de l'eau, $m^4\ s^{-2}$
N : Flux du nombre de bulles, s^{-1} ; ;	P : Pression, bar
Q : Taux du débit de la plume, $m^3\ s^{-1}$;	r : Rayon de la bulle, m
S : Salinité, $g\ kg^{-1}$;	T : Température, $^{\circ}C$
v : Vitesse, ms^{-1} ;	W : Largeur de la plume, m
y : Concentration gazeuse, $mol\ m^3$;	z : Profondeur, m
α : Coefficient de l'entraînement	λ : Coefficient d'allongement.
ρ : Densité, $kg\ m^{-3}$;	a : Eau ambiante.
b : Bulle ;	i : Espèce du gaz, oxygène ou azote.
P : Eau de la plume et mélange du gaz. ;	w : Eau de la plume

INTRODUCTION

L'eutrophisation des eaux naturelles est l'un des conséquences de l'interaction croissante entre l'homme et son environnement. L'augmentation des sels minéraux (nitrates et phosphates) provenant essentiellement des effluents urbains et agricoles provoque une prolifération massive de la végétation aquatique, en particulier les algues. Ces algues en excès conduisent, lorsqu'elles se décomposent, à une augmentation en matières organiques biodégradables. Les algues mortes se déposent au fond des lacs, les bactéries aérobies qui s'en nourrissent consomment l'oxygène des couches d'eau profondes. Pour contrer à ce phénomène, on procède à l'aération mécanique (la déstratification en hiver et l'aération hypolimnique en été). Dans cet article on concentre sur l'aération par déstratification et hypolimnique, ces techniques d'aération permettent de conserver l'écosystème thermique en l'état et de sauvegarder en particulier les espèces animales et végétales vivants à basse température.

LES MILIEUX TOUCHEES

L'eutrophisation peut atteindre le milieu marin comme les milieux continentaux :

Les eaux dormantes, telles que les lacs et les étangs, les cours d'eau ayant un débit faible ou qui accueillent des rejets trop importants, par exemple, de grosses exploitations agricoles, humaines ou industrielles. Les golfes, baies et autres étendues semi-fermées (Bernard, 2001).

LES CAUSES DIRECTES

L'apport excessif en nutriments et en matières organiques biodégradables principalement issues de l'activité humaine. Ils proviennent principalement des

phosphates contenus dans les détergents, les engrais, et des nitrates contenus dans les engrais azotés, mais aussi de l'ammoniac issu de la décomposition des effluents organiques par des bactéries (Soyris, 2004).

LES CAUSES INDIRECTES

L'industrie, l'agriculture, les ménages, la circulation, l'urbanisation, les forces armées. Le rejet de ces eaux dans le milieu naturel est la principale pollution qui affecte nos lacs et plus généralement tout le milieu naturel (Bernard, 1996).

LES CONSEQUENCES DE L'EUTROPHISATION DANS LE TRAITEMENT DES EAUX POTABLES

L'accroissement des frais d'investissement et de fonctionnement des stations de potabilisation.

Risque sanitaire, difficultés de potabilisation et la diminution de la biodiversité.

La baisse de la qualité de l'eau en tant que ressource et les effets négatifs sur le tourisme, elle présente, un risque sur la qualité organoleptique de l'eau distribuée (Galvez-Cloutier, 2002).

LUTTE CONTRE L'EUTROPHISATION

Les moyens préventifs de lutte

L'élimination des apports d'origine domestique, utilisons le traitement des eaux usées, l'élimination de l'azote et du phosphore. La réduction des apports d'origine agricole, on déterminant la fertilisation strictement nécessaire des sols. Le traitement ou la déviations des eaux tributaires [Galvez-Cloutier, 2002].

Les moyens curatifs de lutte

La désactivation des nutriments, L'aération de l'hypolimnion, l'activation de la circulation, l'augmentation de l'écoulement, effet « chasse d'eau », l'évacuation sélective des eaux hypolimnique, l'élévation du niveau d'eau, l'abaissement du niveau d'eau et assèchement, le dragage, le recouvrement des sédiments, décapage ou curage mécanique, l'enlèvement des sédiments, l'épandage d'argile à la surface de l'eau, faucarder et récolter les macrophytes, le contrôle chimique, l'irradiation ultrasonique des algues, les bâches de recouvrement des eaux, les encres spéciales, l'ajout de bactéries, le contrôle biologique (la biomanipulation) et la technique des îles flottantes [Bernard Baudot, 2001].

L'AERATION PAR DESTRATIFICATION

Fonctionnement

L'air est envoyé sous pression dans un réseau de canalisations immergées et judicieusement perforées reposant sur le fond du plan d'eau. Ces lignes de diffusion d'air, dont la longueur totale peut atteindre plusieurs kilomètres, créent des rideaux de bulles. En montant, les bulles entraînent avec elles des masses d'eau très importantes par effet d'air lift. Ces masses d'eau sont, certes aérées au

contact des bulles, mais surtout par leur mise en contact avec l'atmosphère : les couches froides du fond sont progressivement ramenées en surface où elles s'aèrent avant d'être retournées au fond.

L'installation de déstratification fonctionne durant la période hivernale d'Octobre à Avril.

L'AERATION HYPOLIMNIQUE

L'aérateur hypolimnique aère les couches profondes des plans d'eau en y maintenant une teneur minimale en oxygène dissous (3g/l), sans les déstratifier (Galvez-Cloutier, 2002).

Principe de fonctionnement

L'air est envoyé sous pression dans un diffuseur placé à la base du Limno. Les bulles d'air montent et entraînent avec elles une masse d'eau anoxique importante par effet d'air lift. L'eau entraînée est aérée au contact des bulles lors de la montée dans le Limno puis retourne vers le bas pour être éjectée horizontalement sur le fond de la retenue. L'air en excès s'échappe naturellement par un évent. Il est mis en service d'avril à octobre pendant la période de stabilité thermique du plan d'eau (Galvez-Cloutier, 2002).

Aérateurs hypolimnique

Il existe plusieurs types d'aérateurs hypolimnique qui sont comme suit : L'injection d'air, l'agitation mécanique et l'aérateur à oxygène pur [Beutel, 1999].

FORMULATION MATHEMATIQUE DU SYSTEME D'ERATION MECANIQUE

Le mouvement ascendant ou descendant des bulles d'air dans un modèle expérimental, ce phénomène modelé par des équations d'état ainsi que des variables clés des formules données dans les deux tableaux suivants :

Tableau 1 : Les équations d'état (Vickie, 2002)

Paramètres	Équations
Pression totale	$P_{total} = P_{am} + \rho_{avg} g z 10^{-5}$
Pression partielle	$P_i = \left(\frac{Y_i}{Y_0 + Y_N} \right) P_{tot} = \left(\frac{M_{Gi}}{M_{GO} + M_{GN}} \right) P_{tot}$
Le contenu du gaz	$\varepsilon = \left[\frac{(Y_0 + Y_N)}{P_{tot}} \right] RT$
Rayon de la bulle	$r = \left[\frac{3\varepsilon A_r (v_L + v_b)}{4\pi N} \right]^{\frac{1}{3}}$

Tableau 2 : Les modèles des variables de flux (D.F.McGinnis, 2001):

Variabes	Formules	Unités
Facteurs d'entraînement	$E = 2(L + W)\alpha v$	$m^2 s^{-1}$
Flux du Volume de la plume d'eau	$Q = LWv$	$m^3 s^{-1}$
Flux de la quantité de mouvement	$M = LWv^2$	$m^4 s^{-2}$
Flux de la température	$F_T = QT_P$	$^{\circ}Cm^3 s^{-1}$
Flux des solides dissous	$F_S = QS\rho_w$	$kg s^{-1}$
Flux de l'oxygène et de l'azote dissous	$F_{Di} = QC_i$	$mols^{-1}$
Flux de l'oxygène et de l'azote gazeux	$F_{Gi} = LW\lambda(v + v_b)y_i$	$mols^{-1}$

Tableau 3 : Les équations différentielles non-linéaires du flux (D.F.McGinnis, 2001)

Flux du volume de l'eau	$\frac{dQ}{dz} = E$
Flux de la vitesse	$\frac{dM}{dz} = \frac{\rho_a - \rho_p}{\rho_p} gLW\lambda^2 + \frac{\rho_a - \rho_w}{\rho_p} gLW(1 - \lambda^2)$
Flux de la température	$\frac{dF_T}{dz} = ET_a$
Flux de la salinité	$\frac{dF_S}{dz} = E\rho_a S_a$
Flux du gaz dissous	$\frac{dF_{Di}}{dz} = EC_a + \frac{4\pi r^2 N}{v + v_b} K_L (H_i P_i - C_i)$
Flux du gaz	$\frac{dF_{Gi}}{dz} = -\frac{4\pi r^2 N}{v + v_b} K_L (H_i P_i - C_i)$

ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSION

Aération par déstratification

La concentration en oxygène dissous

La figure 5 représente, l'évolution journalière de la concentration de l'oxygène dissous dans l'eau en fonction de la profondeur du lac, avant et durant l'aération par déstratification.

**L'oxygène dissous en fonction de la profondeur du lac avant et
durant l'aération par déstratification**

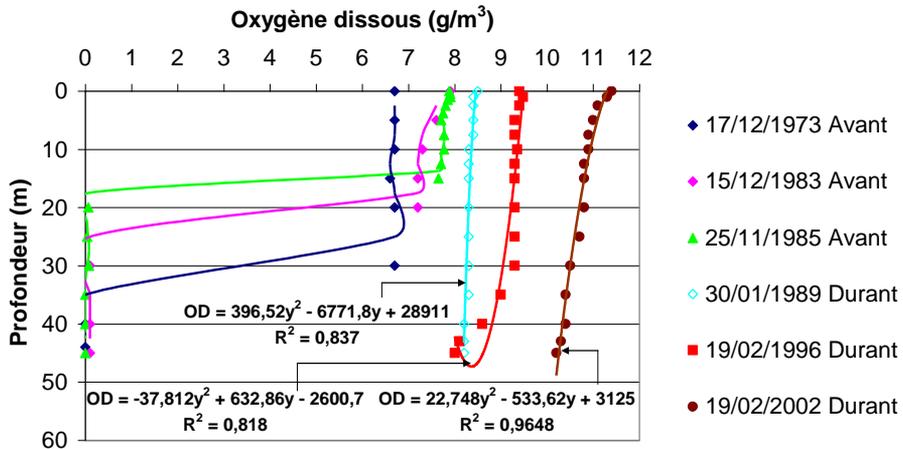


Fig. 1 : Profils verticaux de l'oxygène dissous en fonction de la profondeur du lac avant et durant l'aération par déstratification

L'évolution de l'oxygène dissous durant la déstratification est régie par les équations de type paraboliques suivantes :

$$OD = 396.52y^2 - 6771.8y + 28911, \text{ avec } R^2 = 0.837.$$

$$OD = -37.812y^2 + 632.86y - 2600.7, \text{ avec } R^2 = 0.818.$$

$$OD = 22.748y^2 - 533.62y + 3125, \text{ avec } R^2 = 0.9648.$$

OD : L'oxygène dissous ; y : Profondeur du lac (m) et R^2 : Coefficient de détermination.

La concentration du phosphore total

La figure 2 représente, l'évolution journalière de la concentration du phosphore total en fonction de la profondeur du lac, avant et durant l'aération par déstratification.

Concentration du phosphore total en fonction de la profondeur du lac avant et durant l'aération par déstratification

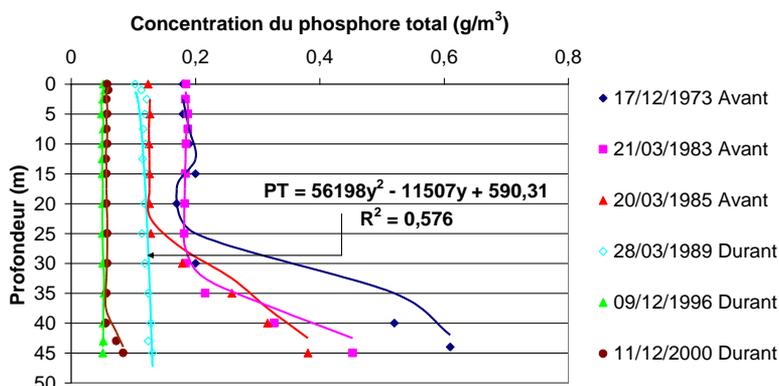


Fig. 2 : Profils verticaux de la concentration du phosphore total en fonction de la profondeur du lac avant et durant l'aération par déstratification.

L'évolution du phosphore total durant la déstratification, est régie par une équation de type parabolique suivante :

$$PT = 56198y^2 - 11507y + 590,31, \text{ avec } R^2 = 0,576.$$

PT : Concentration du phosphore total (g/m^3) ; y : Profondeur du lac (m).

Aération hypolimnique

La concentration en oxygène dissous

La figure 7 représente, l'évolution journalière de la concentration de l'oxygène dissous en fonction de la profondeur du lac, avant et durant l'aération hypolimnique.

L'oxygène dissous en fonction de la profondeur du lac avant et durant l'aération hypolimnique

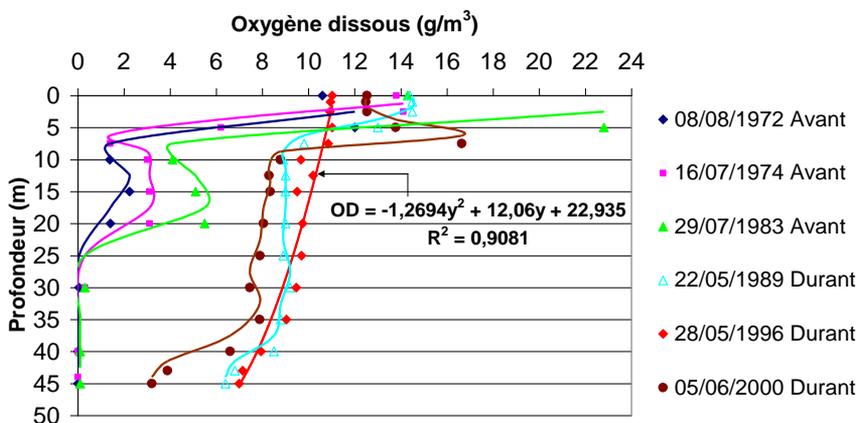


Fig. 3. Profils de la concentration de l'oxygène dissous en fonction de la profondeur du lac avant et durant l'aération hypolimnique.

L'équation d'approximation de type parabolique suivante est donnée par :
 $OD = -1.2694y^2 + 12.06y + 22.935$, avec $R^2 = 0.9081$.
 OD : Concentration de l'oxygène dissous (g/m^3) , y : Profondeur du lac (m).
 R^2 : Coefficient de détermination, tel que $1 - R^2 = 0$.

La concentration du phosphore total

La figure 4 représente, l'évolution journalière de la concentration du phosphore total en fonction de la profondeur du lac, avant et durant l'aération hypolimnique.

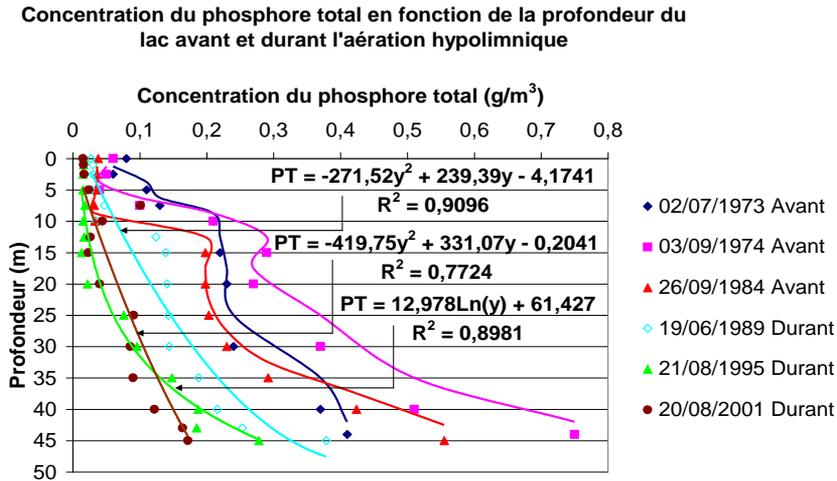


Fig. 4. Profils de la concentration du phosphore total en fonction de la profondeur du lac avant et durant l'aération hypolimnique.

L'évolution du phosphore total est régie par des équations de type paraboliques suivantes :

$PT = -271.52y^2 + 239.39y - 4.1741$, avec $R^2 = 0.7724$.

$PT = 12.978\ln(y) + 61.427$, avec $R^2 = 0.8981$.

$PT = -419.75y^2 + 331.07y - 0.2041$, avec $R^2 = 0.7724$.

PT : Concentration du phosphore total (g/m^3) , y : Profondeur du lac (m)

Les profils montrent la diminution de la concentration en phosphore total durant l'aération hypolimnique, entraînant la diminution de l'eutrophisation de l'eau.

CONCLUSION

Ce présent article, nous a donné brièvement une synthèse sur l'impact de l'eutrophisation de l'eau des lacs et réservoirs et ses conséquences sur l'environnement. On a entamé les moyens de lutte préventifs et curatifs contre ce phénomène, nous avons donné l'importance de l'aération mécanique pendant la déstratification et l'aération hypolimnique du lac de Hallwil. L'analyse des résultats expérimentaux nous a donnée les profils de l'évolution de l'oxygène

dissous ainsi que le phosphore total avant et durant l'aération par déstratification et l'aération hypolimnique. Cette évolution est régie par des équations de corrélation qui donnent des courbes de type parabolique. Ces profils nous montre une augmentation de l'oxygène dissous et la diminution du phosphore total durant la déstratification et l'aération hypolimnique. Entraînant une diminution de l'eutrophisation de l'eau du lac. Ce qui facilite les procédés de traitement de l'eau et son exploitation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alfred Wüest, Norman H. Brooks, 1992 : W. M. Keck, Dieter M. Imboden, 1992 Bubble Plume Modeling for Lake Restoration . Water Resources Research, Vol.28, NO 12, Pages 3235-3250, December.
- Bernard Baudot, 2001 Agence de l'Eau réalisatrice de l'étude : Agence Rhône-Méditerranée – Corse, « Aide à la Décision pour le Traitement des Plans d'Eau, Etude sur l'Eau en France », 2001.
- Beutel, M. W. et A. J. Horne, 1999 A Review of the Effects of Hypolimnetic Oxygenation on Lake and Reservoir Water Quality , Journal of Lake and Reservoir Management, vol. 15, n° 4, 1999. p. 285-297.
- Bernard Baudot, Rhône Méditerranée Corse, 1996 Eutrophisation des milieux aquatiques : Bilan des Connaissances et Stratégie de Lutte , Décembre 1996.
- Fast, AW., William J. Overholtz, et Richard A. Tubb., 1975 Hypolimnetic Oxygenation Using Liquid Oxygen . Water Ressources Research, II, 294-29, (1975).
- McGinnis, D.F et Little, J.C. (1997), Bubble dynamics and oxygen transfer in Speece Cone . In Proceeding of the IAWQ/IWSA joint Specialist Conference, Reservoir Management and water Supply- an Integrated System, Prague, Czech Republic, 19-23 May, 1997.
- Dr. Marc Beutel, 2002 Improving raw water quality with hypolimnetic oxygenation, Brown and Caldwell Environmental Engineering and Consulting 201 North Civic Drive, Walnut Creek, CA 94596, 925-210-2844, 2002.
- McGinnis, D.F et Little, J.C. 2002, Nutrient Control in Standley lake : Evaluation of Three Oxygen Transfer Devices. In Proceeding of the IAWQ/IWSA joint Specialist Conference Reservoir Management and Water Supply-an Integrated System Prague, Czech Republic, May 1997, (2002).
- Rosa Galvez-Cloutier, Sylvaine Ize, Sylvain Arsenault, 2002 La détérioration des plans d'eau : Manifestations et moyens de lutte contre l'eutrophisation , novembre 2002.
- Soyris David, Valette jennifer, Vitrolles julie, 2004 L'eutrophisation des étangs et des lacs (une étude précise : la région de montpellier) , 2004.
- S. Devidal, C. Rivard-Sirois, M-F. Pouet, O. Thomas, 2007 Solutions curatives pour la restauration de lacs présentant des signes d'eutrophisation, rapport interne, Observatoire de l'environnement et du développement durable , 2007.
- Vickie L. Burris, Daniel F. McGinnis and John C. Little, 2002 Predicting oxygen transfer and water flow rate in airlift aerators . Water Research 36, (2002), 4605-4615.
- Wuest, A., Brooks, N.H.et Imboden, D.M., 1992 Bubble plume modelling for lake restoration . Water Resources Research, 28,12, (1992), p.3235-3250.