

# Comment gérer la stratification thermique dans les réserves d'eau

A. Kettab<sup>1</sup> - M. Gafsi<sup>2</sup> - S. Benmamar<sup>1</sup> - R. Kettab<sup>1</sup> – N. Bennaçar<sup>1,3</sup>

1. Laboratoire de recherches en sciences de l'eau - LRS-EAU/ENP - Ecole nationale polytechnique, El Harrach, avenue Hassen Bad - Alger

2. Laboratoire de recherches de génie civil - LRGC - Equipe de recherches en ressources hydriques, Université Ammar Telidji de Laghouat ([m.gafsi@mail.lagh-univ.dz](mailto:m.gafsi@mail.lagh-univ.dz) or [msgafsi@yahoo.fr](mailto:msgafsi@yahoo.fr))

3. Docteur de l'Université de Nice-Sophia Antipolis (France) - Centre d'étude et de recherches sur le droit des activités maritimes et de l'environnement - 23, Huxley Road, Leyton, E10 5QT, London

Pour toute correspondance : [lrs-eau@netcourrier.com](mailto:lrs-eau@netcourrier.com)

## Résumé

La stratification thermique des lacs et réservoirs peut conduire à une perte d'oxygène dans l'hypolimnion, ce qui peut avoir des impacts négatifs sur la faune aquatique et la qualité de l'eau à l'aval des réservoirs alimentant des ouvrages hydroélectriques. La restauration par déstratification est adaptée pour des lacs ou réservoirs de faibles profondeurs ayant des exploitations destinées à l'alimentation ou l'irrigation. L'aération hypolimnétique peut être préférée à la déstratification car elle permet l'oxygénation des eaux en préservant la stratification thermique, favorable à la faune et à la qualité des eaux. Si la déstratification peut être plus adaptée par temps froid et pour des lacs ou réservoirs de faibles profondeurs et pour des exploitations destinées exclusivement à l'alimentation ou l'irrigation, l'aération hypolimnétique, en maintenant la stratification thermique, permet de créer un climat convenable pour la faune aquatique, et assure une température favorable pour la qualité de l'eau.

**Mots clés :** eutrophisation, aération, oxygène dissous, stratification thermique, techniques de restauration, pollution.

## I. Introduction

La stratification thermique des lacs et réservoirs peut entraîner une perte d'oxygène dans l'hypolimnion et des impacts négatifs sur les poissons des eaux froides, l'eau d'alimentation et la qualité de l'eau à l'aval des réservoirs alimentant des ouvrages hydroélectriques [1, 2]. L'aération artificielle des lacs des eaux dépourvues d'oxygène est l'une des méthodes de restauration les plus employées [3, 4, 5] en raison son faible coût et de la facilité des technologies mises en œuvre. La pratique de l'aération hypolimnétique consiste à introduire de l'oxygène dans l'hypolimnion sans distribution du gradient de température. Cette technique peut être particulièrement adaptée pour améliorer la répartition de l'oxygène dans les réservoirs d'eaux destinées à la consommation et assurer leur qualité.

## 2. L'aération par le système de déstratification

L'aération par déstratification est décrite par Scott et Foley en 1919. Cette technique est plus fréquemment conduite par injection de l'air à travers un seul diffuseur, lié à un compresseur [6]. En plus de l'injection de l'air, d'autres techniques incluent une circulation forcée de l'eau par pompage du fond du lac vers la surface et de surface vers le fond [6].

La figure 1 représente les valeurs de la concentration d'oxygène et de la température du réservoir d'El Capitan (San Diego, USA) avant et durant la déstratification artificielle. Ces valeurs sont prises pour la période mi-août pour chaque année ; le lac n'a pas été aéré durant l'année 1964, il l'a été en juin 1965 et en mars 1966 [6].

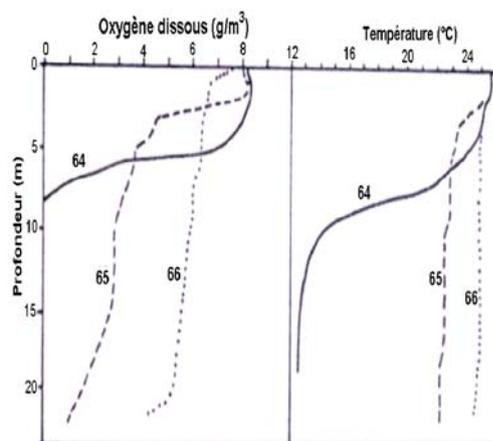


Figure 1 : Evolution de l'oxygène dissous et de la température avant et durant la déstratification artificielle du réservoir d'El Capitan [6]

## 3. L'aération hypolimnétique

L'hypolimnion est la couche thermique la plus profonde d'un lac ou d'une mer fermée, toujours froide et à température peu variable ; elle est située selon la saison en des-

sous de 15 à 30 m de profondeur. L'épilimnion est la couche d'eau plus chaude et moins dense située au-dessus de l'hypolimnion. C'est la couche thermique la plus bioproductive. Son épaisseur varie selon la saison et la profondeur du lac. Elle mesure souvent de 15 à 30 m d'épaisseur. La pratique de l'aération hypolimnétique consiste à introduire de l'oxygène seulement dans l'hypolimnion sans distribution du gradient de température. Cette technique est particulièrement adaptée pour améliorer la répartition de l'oxygène dans les réservoirs des eaux potables quand l'étendue de l'hypolimnion est supérieure à 10 m et le volume de l'épilimnion est supérieur au double de celui de l'hypolimnion [7, 8, 9].

La figure 2 représente les valeurs de l'oxygène et de la température au lac Waccabuc (San Diego, USA), avant et durant l'aération hypolimnétique. Ce lac n'est pas aéré durant l'année 1972, l'aération commence au début de juillet 1973. Les concentrations d'oxygène augmentent de 0 à plus de 4 mg/l, tandis que les températures n'ont pas beaucoup changé [6].

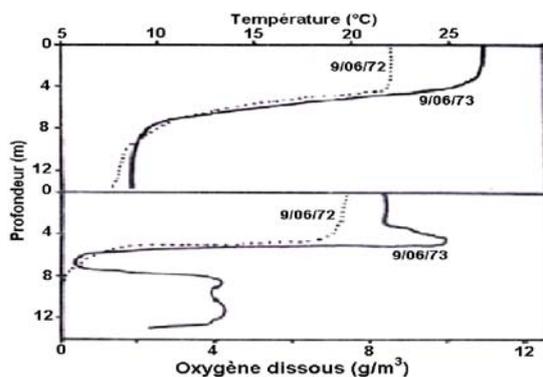


Figure 2 - Valeurs de l'oxygène et de la température avant et durant l'aération hypolimnétique au lac Waccabuc [6]

La figure 3 représente les schémas de trois techniques utilisées pour l'aération hypolimnétique [10] :

- A : aérateur par « élévation » d'air (*air lift*)
- B : injection par « panache de bulles » (*bubble plume*)
- C : oxygénateur « Speece Cone », par injection d'oxygène pur

L'oxygène pur est utilisé dans le Speece Cone. L'air est utilisé dans les aérateurs par élévation d'air (*air lift*). Les injecteurs de panache de bulles utilisent l'oxygène ou l'air [10]. L'oxygène pur est utilisé pour l'oxygénation hypolimnétique pour empêcher l'accumulation d'azote, toxique pour la faune aquatique [11, 12].

#### 4. Conclusions

L'injection d'air augmente la turbulence dans l'hypolimnion et peut par conséquent améliorer la répartition de l'oxygène après une déstratification accidentelle [13].

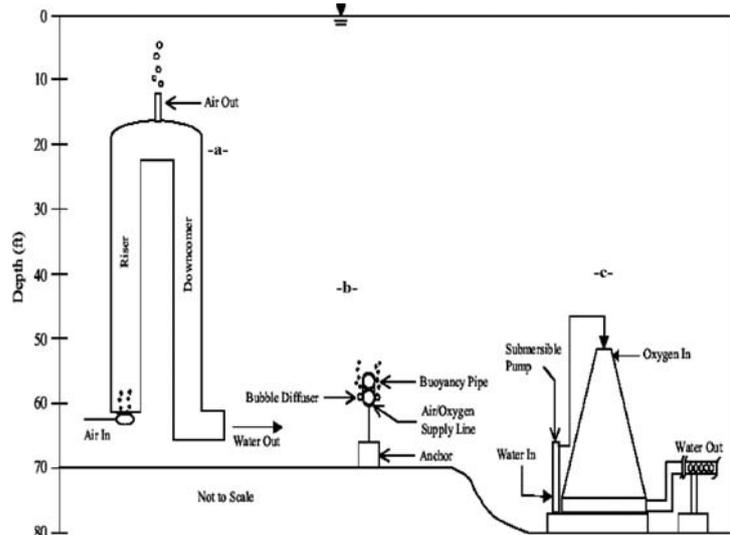


Figure 3 - Représentation des trois mécanismes d'aération hypolimnétiques [10]

L'aération hypolimnétique peut être préférée à la déstratification dans la gestion de la ressource halieutique et dans la gestion des eaux domestiques et industrielles, car il a été observé que le mélange des eaux peut promouvoir une croissance algale [6, 14]. Par contre, si les éléments nutritifs (azote et phosphore) ne sont pas transportés à l'épilimnion où ils peuvent stimuler la croissance algale, on peut préserver un habitat d'eau froide pour la faune [15]. L'avantage de l'aération hypolimnétique est alors la possibilité de réapprovisionner l'oxygène dissous tout en préservant la stratification thermique [16, 17].

La déstratification n'est pas recommandée dans les périodes chaudes de l'année, car elle entraîne une déstratification thermique qui conduit à des effets négatifs sur la faune et sur la qualité de l'eau d'alimentation. Par contre, l'aération hypolimnétique, en maintenant la stratification thermique, permet de créer un climat convenable pour les poissons des eaux froides, et assure une température adéquate pour l'eau de consommation.

La restauration par déstratification peut être plus adaptée par temps froid et pour des lacs ou réservoirs de faibles profondeurs pour des exploitations destinées exclusivement à l'alimentation ou l'irrigation.

#### Références

- [1] D.F. McGinnis, J.C. Little and A.Wuest (2001). Hypolimnetic.
- [2] M. Gafsi, A. Kettab, S. Benmamar, and S. Benziada. (2006). L'eutrophisation dans les eaux de surface : causes, effets et luttes. Third International Conference on Water Resources in Mediterranean Basin. Watmed3 Tripoli-Lebanon, 1-3 November 2006.

- [3] Janczak Jerzy and Andrzej Kowalik (2001). Assessment of the Efficiency of Artificial Aeration in the Restoration of Lake Goplo. *Limnological Review* 1(2001), pp. 151-158.
- [4] J. M. Davis. (1980). Destratification of reservoirs - A Design Approach for Perforated-Pipe Compressed-Air Systems. *Water Serv.*, 84, 497-505.
- [5] M. Gafsi, A. Kettab, S. Benmamar, and S. Benziada. (2007). L'aération artificielle et ses effets sur le contrôle de la pollution dans les réserves. Acte du 9<sup>e</sup> Symposium international de Cannes 2007 (France), 26-28 juin.
- [6] AW. Fast. (1978). Artificial Aeration as a Lake Restoration Technique. *Proceeding of National Conf on lake restoration*, 121-131.
- [7] H. Bernhardt, and J. Clasen. (1985). Recent Developments and Perspectives of Restoration for Artificial Basin Used for Water Supply. *Intern. Congr. on Lake Pollution and Recovery*, 1985, 213-227.
- [8] D.F. McGinnis, and J.C. Little. (2002). Predicting Diffused - Bubble Oxygen Transfer Rate Using the Discrete-Bubble Model. *Water Research* 36 (2002) 4627-4635.
- [9] L. Vickie Singleton and Jhon C. Little (2006). Designing Hypolimnetic Aeration and Oxygenation Systems. *Environmental Sciences and Technology*. Vol. 40, N° 20, 2006, 7512-7520.
- [10] D.F. McGinnis, and J.C. Little. (1997). 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*.
- [11] A. Kettab, M. Gafsi, S. Benmamar et S. Benziada. (2005). Etudes comparatives des différents systèmes mécaniques impliqués dans la restauration des lacs et réservoirs. *Proceeding 6th International Conference*. Menton. 7-10 September 2005. "Sharing a common vision for our water resources".
- [12] A. Wuest., N.H. Brooks., and D.M. Imboden. (1992). Bubble Plume Modelling for Lake Restoration. *Water Resources Research*, 28, 12, 3235-3250.
- [13] Marc Beutel. (2002). Improving Raw Water Quality with Hypolimnetic Oxygenation. *AWWA 2002 Annual Conference* Marc Beutel, Brown and Caldwell Environmental and Consulting 201 North Civic Drive, Walnut Creek, CA 94596 925-210-2844, mbeutel@brwnncald.com
- [14] AW. Fast, Brian Moss, et Robert G. Wetzel. (1973). Effets of Artificial Aeration on the Chemistry and Algae of Two Michigan Lakes. *Water Resources Research*, 9, 624-647.
- [15] L. Vickie. Burris, Daniel F. McGinnis and John C. Little. (2002). Predicting Oxygen Transfer and Water Flow Rate in Airlift Aerators. *Water Research* 36, 4605-4615.
- [16] D.F. McGinnis, A. Lorke, A. Wuest, A. Stockli, and J.C. Little. (2004). Interaction Between a Bubble Plume and the Near Field in a Stratified Lake. *Water Resources Research*, Vol. 40, W10206, doi:10.1029/2004WR003038, 2004.
- [17] D.F. McGinnis, J.C. Little and A. Wuest. (2001). Hypolimnetic Oxygenation : Coupling Bubble-Plume and Reservoir Models. *Proceedings of Asian WATERQUAL 2001, IWA Regional Conference, Fukuoka, Japan, September 2001*.