

*Rapport*

# Déstratification artificielle de la retenue de barrage Sidi Mohammed Ben Abdellah au Maroc

A. Foutlane,<sup>1</sup> L. Bouchich<sup>1</sup> et A. Bouloud<sup>1</sup>

## Introduction

Au Maroc, pays à climat semi-aride, le recours aux eaux superficielles devient une nécessité compte tenu de la limitation des eaux souterraines et du développement des agglomérations urbaines favorisé par l'accroissement démographique et l'exode rural.

En 1997, l'Office National de l'Eau Potable (ONEP), planificateur, producteur et distributeur de l'eau potable au Royaume du Maroc, a assuré 63% de sa production à partir des eaux superficielles dont la mobilisation est généralement assurée par la mise en oeuvre des retenues de barrage. Ces dernières sont souvent affectées par le phénomène d'eutrophisation qui est une réaction du milieu à un accroissement excessif en substances nutritives, essentiellement l'azote et le phosphore, manifesté par un développement considérable d'algues au niveau des couches superficielles au point de former un film à la surface de l'eau. Ce phénomène, appelé bloom algal, touche la majorité des retenues de barrage utilisées pour la production d'eau potable. Ces blooms constitués le plus souvent d'algues bleu-vert ou cyanobactéries ou, en plus de l'aspect inesthétique qu'elles donnent au plan d'eau, présentent entre au-

tres des risques sanitaires vis-à-vis des baigneurs, du bétail et des consommateurs d'eau brute. Bien que la toxicité des algues soit connue depuis longtemps, les toxines ont récemment attiré l'attention des producteurs d'eau suite à des problèmes d'intoxication des êtres humains ou des animaux rencontrés dans certains pays européens, américains et asiatiques (Carmichael et Falconer, 1993).

Aussi des projets de recherche sont en cours dans plusieurs pays, entre autres le Maroc, pour étudier l'étendue du problème, identifier les toxines et quantifier leur toxicité.

Parmi les conséquences de l'eutrophisation des lacs réservoirs utilisés pour la production de l'eau potable figure la communication à celle-ci d'un goût et d'une odeur désagréables qui risquent de faire détourner le consommateur vers d'autres ressources d'approvisionnement de qualité non contrôlée et présentant des risques pour la santé.

En précipitant vers les couches profondes, les algues mortes y apportent des quantités importantes de matières organiques qui entraînent une consommation importante de l'oxygène dissous.

Les pays chauds sont vulnérables au phénomène d'eutrophisation qui est ag-

<sup>1</sup>Direction Laboratoire de la Qualité des Eaux, Office National de l'Eau Potable, Rabat (Maroc).  
Reçu: 20/09/98; accepté: 20/05/99

gravé par l'établissement d'une stratification thermique des eaux du lac en période estivale. Les eaux chauffées par le rayonnement solaire restent en surface alors que les eaux des couches profondes non chauffées restent au fond. Il s'établit un gradient de température important entraînant une stratification thermique ferme qui empêche tout échange entre la surface et le fond. Cette stratification dure du mois d'avril au mois de novembre.

L'homogénéisation ou le brassage total de la masse d'eau du lac n'a lieu qu'à partir du mois de décembre et ne dure qu'environ trois mois de l'année. Durant la stratification des eaux, trois zones peuvent être distinguées dans le lac:

- une zone superficielle chauffée, bien éclairée et oxygénée appelée épilimnion;
- une zone profonde non chauffée, non éclairée et peu ou pas oxygénée appelée hypolimnion;
- une zone intermédiaire où la température chute rapidement, c'est la thermocline. Elle empêche les échanges entre les deux couches précitées.

Les métaux (fer et manganèse) drainés sur le bassin versant des retenues au cours des crues en hiver sont dans un premier temps précipités dans les sédiments sous forme d'hydroxydes, puis remis en solution suite à de nombreux phénomènes physico-chimiques et biologiques liés à la dégradation de la matière organique sédimentée et à l'absence d'oxygène dissous, dépréciant la qualité des eaux de la retenue. Il résulte aussi de cette dégradation de la qualité des eaux des couches profondes l'apparition de l'hydrogène sulfuré (gaz nauséabond) qui pose de sérieux problèmes aux traiteurs d'eaux.

Confronté à l'eutrophisation des retenues de barrage à vocation eau potable,

l'ONEP a mené entre 1979 et 1982 une étude approfondie de l'eutrophisation de la retenue Sidi Mohammed Ben Abdellah qui assure l'approvisionnement en eau potable des villes de Salé, Rabat, Mohammedia et Casablanca. Cette étude a dégagé un certain nombre de solutions de lutte contre l'eutrophisation, parmi lesquelles figure la déstratification artificielle par injection d'air dans les couches profondes de la retenue en vue d'obtenir le brassage artificiel du lac. Cette solution a été mise en oeuvre en 1992 au niveau de la retenue susmentionnée.

## Description et mode de fonctionnement du système

### Description du système

Le système de déstratification installé comprend trois compresseurs sans lubrifiant pouvant assurer un débit de 70 l/s chacun, et cinq aérateurs formés de tube en PVC, d'une longueur individuelle de 12 m et de 10 cm de diamètre. Ces tubes sont perforés spécialement pour la diffusion d'air.

Ces aérateurs ont été installés dans la retenue, près de la tour de prise d'eau brute pour l'alimentation de la station de traitement et cela comme suit:

- deux aérateurs placés juste en dessous de la thermocline qui généralement s'installe vers dix mètres de profondeur;
- trois aérateurs situés à un mètre du fond de la retenue.

### Mode de fonctionnement du système

Le système est mis en service au printemps (mars à mi-juin) pour retarder au maximum l'établissement de la stratification thermique des eaux de la retenue et en automne

(début octobre à fin novembre) pour provoquer la déstratification.

La mise en service du système durant la période automnale est conditionnée par le gradient de la température. En effet, lorsque la différence de température entre l'épilimnion et la zone des aérateurs placés sous la thermocline est voisine de 5 °C, les aérateurs placés près de la thermocline sont mis en service pour briser cette dernière et augmenter le volume de l'épilimnion.

Lorsque la différence de température entre l'eau au niveau des aérateurs en service et les eaux du fond avoisine 5 °C, les aérateurs du fond sont mis en marche pour provoquer la déstratification totale de la retenue.

## Résultats et discussion

Dans le but d'évaluer l'influence de l'aération artificielle sur la qualité de l'eau de la retenue, un programme de contrôle de la qualité des eaux a été instauré durant l'année 1992. Les résultats obtenus ont été comparés aux années antérieures.

Pour ce faire, le choix a porté sur l'année 1991, avant la mise en place du système de déstratification, où les apports liquides à la retenue ont été similaires à ceux de 1992.

### Variation du niveau de la thermocline

Une comparaison du niveau de la thermocline durant la période mai-novembre des années 1991 et 1992 laisse voir qu'au début du mois de mai 1991, la thermocline était placée vers 11 m de profondeur. A la fin du mois, elle est montée pour se stabiliser à 9 m de profondeur environ jusqu'à la fin du mois de septembre où elle a commencé, avec le refroidissement de l'air, à descendre doucement pour se situer vers

16 m de profondeur à la fin de novembre avant d'être diffuse et de disparaître complètement.

Tandis que durant l'année 1992 et grâce aux aérateurs, la thermocline s'est stabilisée à 14 m de profondeur environ jusqu'à mi-juin, date d'arrêt des aérateurs, à cause du réchauffement de la masse d'eau de la retenue (la température au voisinage de la prise d'eau brute, pour la station de traitement est de 17 °C). A ce moment-là, la thermocline a accusé une montée pour se stabiliser vers 8 m de profondeur jusqu'à la fin du mois de septembre où elle a commencé à descendre comme pour l'année 1991. Mais le démarrage à nouveau des aérateurs le 15 octobre 1992 a engendré une descente plus rapide de la thermocline par rapport à 1991 avant qu'elle ne soit diffuse vers la fin du mois de novembre (Figure 1).

L'aération artificielle a engendré deux phénomènes essentiels, à savoir:

- un retardement de l'établissement de la stratification thermique au printemps et donc un transfert d'oxygène de la sur-

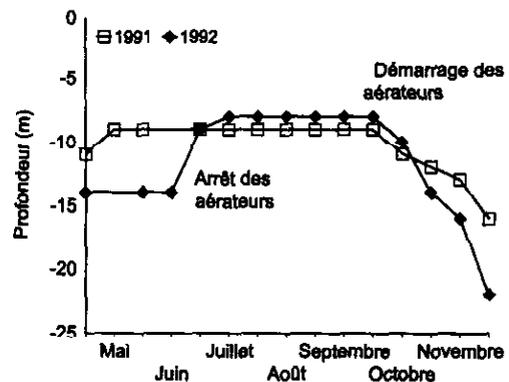


Figure 1 Variation du niveau de la thermocline durant la période mai-novembre

face vers les couches profondes. Cela a permis de retarder la disparition de l'oxygène dissous dans les couches profondes du lac.

- un allongement de la période de brassage total de la retenue en automne, ce qui a permis d'augmenter le stock d'oxygène nécessaire à l'oxydation de la matière organique qui sera accumulée dans la retenue au cours de l'année suivante.

### Oxygène dissous

Le profil d'oxygène dissous, après le brassage total des eaux de la retenue, montre que durant l'année 1992 la concentration en oxygène dissous était plus élevée qu'en 1991, malgré le fait qu'en 1992 la vidange des eaux du fond n'a pas eu lieu. Ces vidanges sont en général effectuées pour éliminer l'eau du fond de mauvaise qualité, présentant notamment un déficit en oxygène dissous et un excès d'hydrogène sulfuré et de manganèse.

L'aération artificielle a donc amélioré les conditions oxygènes des couches profondes de la retenue (Figure 2).

### Manganèse

Le manganèse peut donner, sous l'action de l'oxygène, des oxydes insolubles susceptibles de former des dépôts indésirables et de poser des problèmes de coloration des eaux dans le réseau de distribution. La consommation des eaux de boisson contenant du manganèse a des effets toxiques. La valeur guide fixée par l'OMS pour protéger la santé des consommateurs est 0,5 mg Mn/l.

Dans les eaux de l'hypolimnion, pauvres en oxygène, le manganèse peut atteindre des concentrations de l'ordre du milligramme par litre. En effet, les concentrations enregistrées au fond de la retenue à la fin de décembre 1991 étaient de 1 mg

Mn<sup>++</sup>/l alors qu'en 1992 aucune trace n'a été relevée, ce qui témoigne d'une amélioration des conditions oxygènes de la retenue d'autant plus que les vidanges automnales d'eau du fond n'avaient pas été effectuées.

L'aération artificielle a donc contribué à l'oxydation du manganèse (Figure 3).

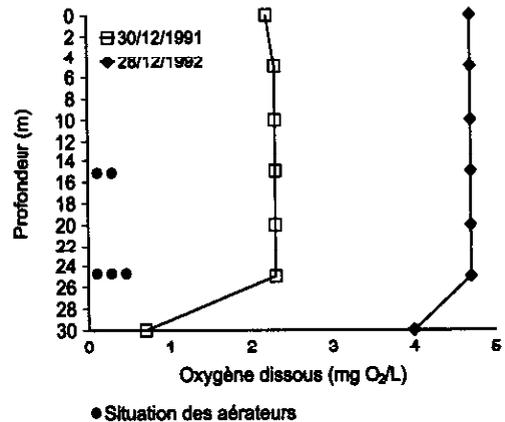


Figure 2 Profil d'oxygène

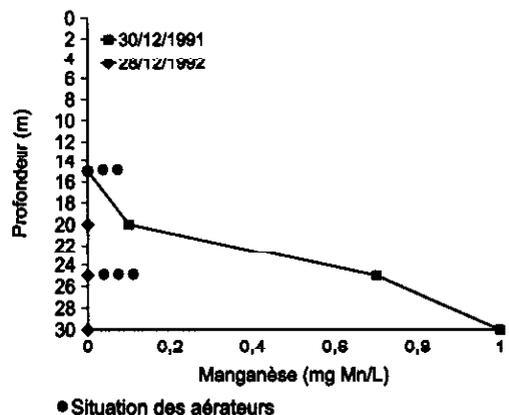


Figure 3 Profil de manganèse

## Conclusion

La mise en place du système d'aération artificielle a engendré des effets positifs sur la qualité de l'eau de la retenue en 1992.

Ces effets, par comparaison aux années antérieures, se traduisent notamment par la prévention de la formation d'hydrogène sulfuré, l'oxydation du manganèse et l'amélioration des conditions oxygènes de la retenue en période automnale. Ces résultats ont été obtenus alors que la vidange partielle des eaux du fond qui s'effectue en automne n'a pas eu lieu en 1992.

Le système de déstratification a ainsi provoqué un retard dans l'établissement de la stratification thermique au printemps, et un allongement de la période de l'homogénéisation totale de la retenue. Ceci a permis de minimiser la quantité en oxygène nécessaire à l'oxydation des matières organiques dans l'ensemble de la masse d'eau de la retenue, de démarrer l'année 1993 avec une faible demande en oxygène, et un stock d'oxygène dissous le plus élevé possible dans les couches profondes de la retenue.

## Références

1. *Protection de la qualité des eaux des lacs réservoirs*. Projet Maroc/PNUD/OMS, 1981.
2. Landner L, Wahlgren U. *Eutrophisation des lacs et réservoirs en climats chauds*. Copenhague, OMS, Bureau régional de l'Europe, 1986.
3. Abouzaid H, Foutlane A. Eutrophisation de quelques lacs réservoirs du Maroc. *Revue du Laboratoire de génie civil*, 1986, 14.
4. Abouzaid H, Foutlane A, Bourchich L. Qualité de l'eau de la retenue Al-Massira au Maroc. *Naturaliste canadien*, 1987, 114:389-96.
5. *Lutte contre l'eutrophisation de la retenue Sidi Mohamed Ben Abdellah. Introduction de la carpe argentée de Chine*. Maroc, Office National de l'Eau Potable, 1987.
6. Abouzaid H et al. *Effet de l'introduction d'un poisson phytoplanctophage sur la qualité de l'eau de la retenue Sidi Mohamed Ben Abdellah*. Actes du Colloque européen sur la gestion de l'eau, Paris, 4-6 décembre 1990:187-97.
7. *Contrôle de la pollution des eaux. Lutte contre l'eutrophisation du lac-réservoir Sidi Mohamed Ben Abdellah*. Maroc, Office National de l'Eau Potable, 1991.
8. *Lutte contre les conséquences de l'eutrophisation sur la qualité de l'eau des retenues de barrages. Résultats de l'introduction des poissons consommateurs d'algues*. Maroc, Office National de l'Eau Potable, 1996.