

# Fonctionnement hydrogéochimique d'un réservoir polymictique chaud : cas du réservoir Daourat (Maroc)

Hydrogeochemical functioning of a warm polymictic reservoir: case of the Daourat reservoir (Morocco)

I. EL KARIM <sup>1</sup>\*, M. EL JAKANI <sup>1</sup>, J.E. DAFIR <sup>1</sup>, M. BENZAKOUR <sup>2</sup>

---

## SUMMARY

The study of the Daourat reservoir during the hydrological cycle 1996-1997, focus on the water column and the sediment in order to understand the hydrogeochemical functioning. The hydrological mode of the Daourat reservoir (9,5 Mm<sup>3</sup>) is a result of the external contributions of the area catchment and the management of the reservoir. The water column of this reservoir does not present any period of stratification and any period of anoxia. It is a warm polymictic lake. The influence of the upstream reservoir (Al Massira 2 800 Mm<sup>3</sup> and Imfout 18 Mm<sup>3</sup>) does not explain the physicochemical and geochemical functioning of the Daourat reservoir. Indeed, this reservoir seems to be much more controlled by the contributions of the local area catchment and by the internal load of the reservoir.

**Key-words:** *lake reservoir, functioning, spatial and temporal evolution, chemical fractionation of phosphorus, Daourat, Morocco.*

## RÉSUMÉ

Le réservoir du barrage Daourat a fait l'objet, au cours du cycle hydrologique 1996-1997, d'une étude pour comprendre le fonctionnement hydrogéochimique du réservoir. Le régime hydrologique du réservoir Daourat (9,5 Mm<sup>3</sup>) résulte des apports externes et de la gestion propre du réservoir. La colonne d'eau ne présente aucune période de stratification (lac polymictique chaud) ni d'anoxie. L'influence des réservoirs situés en amont (Al Massira

---

1. Laboratoire de sédimentologie et de l'environnement Casablanca Ain Chock, 14, rue des Glaeuils Beau-séjour, Casablanca, Maroc.

2. Faculté des sciences de Rabat.

\* Correspondance. E-mail : elkarim70@hotmail.com

Les commentaires seront reçus jusqu'au 31 mars 2003.

**2 800 Mm<sup>3</sup> et Imfout 18 Mm<sup>3</sup>) ne permet pas d'expliquer le fonctionnement biogéochimique du réservoir Daourat. Cette retenue semble être beaucoup plus contrôlée par les apports du bassin versant local et par la charge interne du réservoir.**

*Mots clés : lac réservoir, fonctionnement, évolution spatiotemporelle, spéciation du phosphore, Daourat, Maroc.*

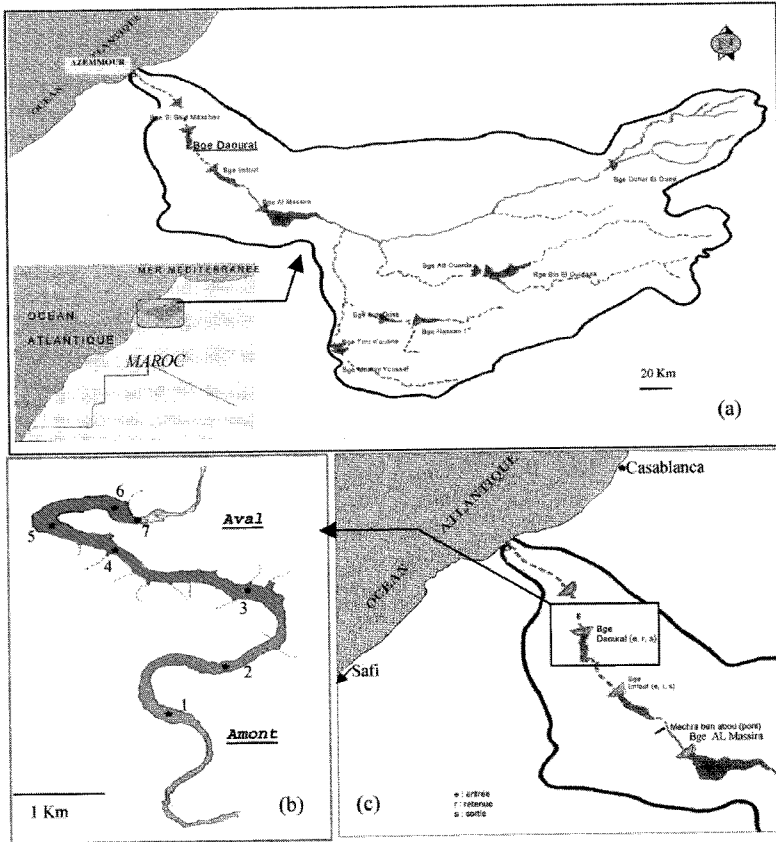
## 1 – INTRODUCTION

Le fonctionnement des écosystèmes aquatiques et en particulier des lacs réservoirs, a été étudié par de nombreux auteurs (VOLLENWEIDER, 1968 ; RYDING et RAST, 1994 ; POURRIOT et MEYBECK, 1995) compte tenu des risques de dégradation de la qualité des eaux qui peuvent affecter ces milieux, et de leur importance dans l'approvisionnement en eau potable des agglomérations.

Le réservoir du barrage Daourat est situé sur le cours inférieur de l'oued Oum er rbia (32° 55'N, 8° 05'W) (*figure 1a*), il participe à l'alimentation en eau potable de près de 5 millions d'habitants de Casablanca à Safi. Ce réservoir se caractérise par un faible temps de résidence des eaux et par un niveau d'eutrophisation élevé (EL ABED, 1996). Notre objectif consiste à étudier l'influence des réservoirs en amont et du bassin versant local (entre Imfout et Daourat) sur le transfert des éléments nutritifs et, par conséquent, sur le fonctionnement de cet écosystème en tenant compte des variations spatiales et temporelles.

## 2 – MATÉRIEL ET MÉTHODES

Les prélèvements d'eau ont été effectués à l'aide d'une bouteille VAN DORN (1 L) à différentes profondeurs (0 m, 2 m, 5 m, 10 m et le fond fluctuant entre 14 et 17 m) au niveau du point le plus profond (*figure 1b*) situé à proximité de la digue à la station 7. Des prélèvements d'eau de surface ont été également effectués depuis le barrage Al Massira jusqu'au barrage Daourat (*figure 1a*). Pour le sédiment, des prélèvements des cinq premiers centimètres ont été réalisés à l'aide d'une benne de type Eckman de l'entrée du réservoir (station 1) jusqu'à la digue (station 7) (*figure 1b*). L'oxygène dissous est dosé selon la méthode de WINKLER (RODIER, 1984). Le phosphore total est déterminé après minéralisation pendant deux heures (120 °C, 1 bar) à l'autoclave en milieu acide et en présence de persulfate de sodium (pour les échantillons d'eau) ou de persulfate de potassium pour le sédiment, ensuite les orthophosphates sont dosés selon la méthode de MURPHY et RILEY (1962). Les résultats relatifs aux concentrations en phosphore sont exprimés en P-PO<sub>4</sub>. Le fractionnement du phosphore dans le sédiment a été effectué selon la méthode de GOLTERMAN et BOOMAN (1988). Le temps de séjour des eaux dans le réservoir ( $\tau$  en unité de temps) est calculé selon la formule : Volume du plan d'eau (Mm<sup>3</sup>)/Débits à l'exutoire (Mm<sup>3</sup>·mois<sup>-1</sup>).

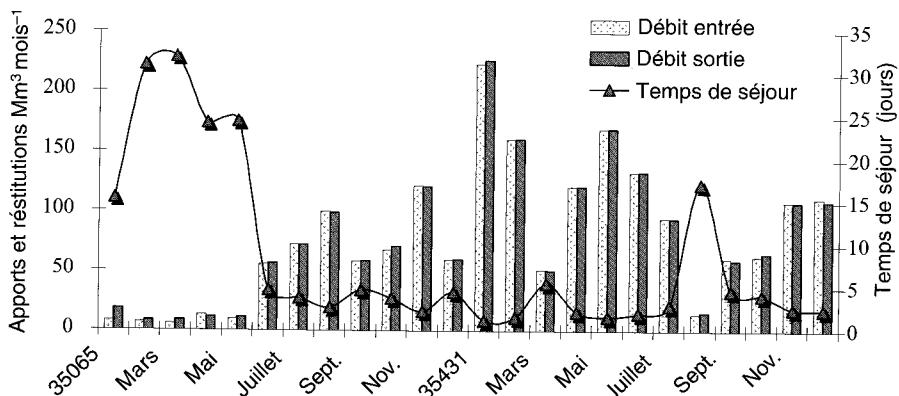


**Figure 1** Situation géographique du barrage Daourat (a), emplacement des stations de prélèvement dans le réservoir Daourat (b) et sur le cours aval de l'oued Oum er rbia (c).

*Localization of the Daourat reservoir (a), of sampling stations in the Daourat reservoir (b) and on the downstream river of Oum er rbia (c).*

### 3 – RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le régime hydrologique du réservoir Daourat résulte des restitutions des réservoirs en amont, des apports du bassin versant local et de la gestion propre du réservoir. Les eaux du réservoir sont fortement renouvelées, le temps de résidence de l'eau varie entre 2 et 35 jours pour une valeur moyenne annuelle de 8 jours (figure 2). Ce faible temps de résidence semble avoir des répercussions positives sur la qualité des eaux. Ainsi, le lac réservoir Daourat ne présente aucune stratification thermique (lac polymictique chaud) et aucune période d'anoxie, les concentrations en oxygène dissous variant de  $16,5 \pm 2,8$  à  $3,9 \pm 1,6$  mg·L<sup>-1</sup>. Dans le réservoir Sidi Mohamed Ben Abdellah (situé à 200 km au nord de Daourat) à fort temps de séjour (44 mois en moyenne), la présence d'anoxie en période estivale contribue à la dégradation de la qualité



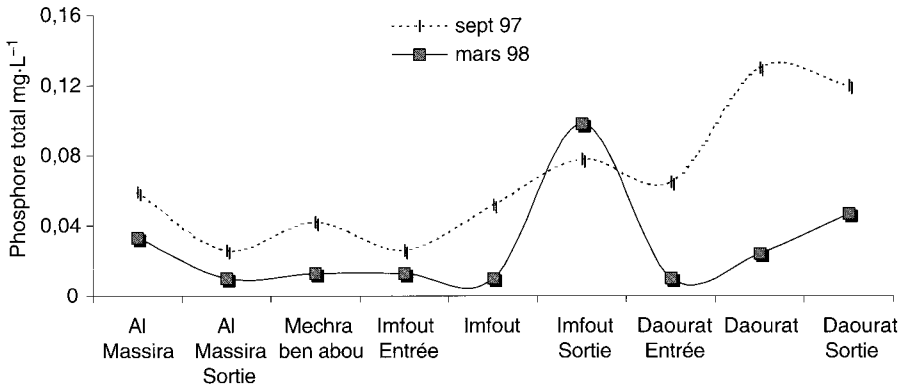
**Figure 2** Relation entre le temps de séjour et le débit ( $\text{Mm}^3 \cdot \text{mois}^{-1}$ ) à l'entrée et à la sortie du réservoir.

*Relation between the water retention time and the flows ( $\text{Mm}^3 \cdot \text{month}^{-1}$ ) input and output into the Daourat reservoir.*

des eaux (ONEP, 1996). Dans le réservoir de Petit Saut la forte consommation en oxygène dissous pour la dégradation de la matière organique dans la colonne d'eau et dans le sédiment s'accompagne d'un déficit en oxygène dissous, malgré le renouvellement important lié aux forts apports (RICHARD, 1996).

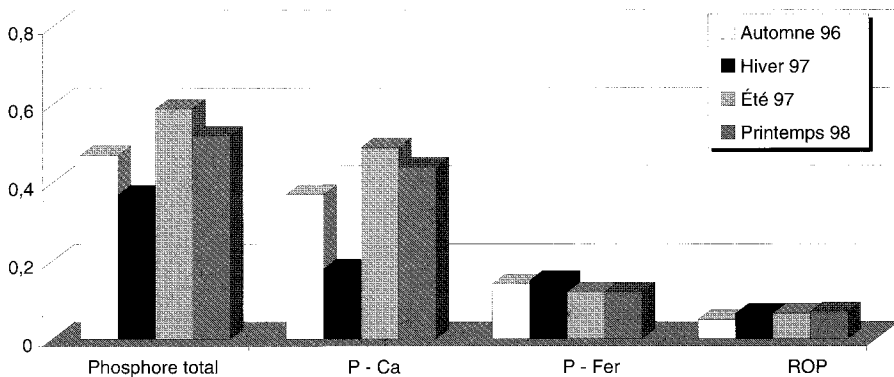
À l'entrée du réservoir Daourat, les concentrations en phosphore total dans l'eau (variant de  $0,04 \pm 0,02$  à  $0,23 \pm 0,03 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) et le débit fluctuant entre 56 et  $160 \text{ Mm}^3$  sont liés par une corrélation positive ( $r^2 = 0,86$ ) suggérant que les apports externes en phosphore sont, en grande partie, liés au lessivage des sols du bassin versant local de Daourat et à l'apport par les restitutions des barrages en amont (Al Massira et Imfout, *figure 1a*). L'influence de ces réservoirs en amont (*figure 1a*) sur les apports en phosphore semble être partielle. En effet, le phosphore total présente des teneurs minimales ( $0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ) à la sortie de la retenue Al Massira (*figure 3*) qui exporte peu ou pas de phosphore. ALAOUI MHAMDI (1993) et DAFIR (1997) ont montré que près de 90 % du phosphore qui entre au barrage Al Massira est stocké localement. Le phosphore total présent dans le réservoir Daourat ( $0,07 \pm 0,01 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  en moyenne annuelle) peut donc provenir des apports du barrage Imfout qui présente une forte charge interne ( $0,39 \text{ mg} \cdot \text{P} \cdot \text{g}^{-1}$  d'après EL ABED, 1996), du bassin versant local de Daourat et/ou de la charge interne (recyclage interne, relargage à partir du sédiment).

Aussi au niveau de la station 7 (*figure 1b*), l'évolution saisonnière des concentrations des différentes formes du phosphore (*figure 4*) montre que le stock en phosphore total le plus élevé ( $0,59 \pm 0,18 \text{ mg} \cdot \text{P} \cdot \text{g}^{-1}$ ) est observé en été alors que ce stock est minimal en hiver ( $0,37 \pm 0,03 \text{ mg} \cdot \text{P} \cdot \text{g}^{-1}$ ). En été la fraction calcique P-Ca qui varie de  $0,18 \pm 0,03$  à  $0,49 \pm 0,1 \text{ mg} \cdot \text{P} \cdot \text{g}^{-1}$  est la mieux représentée et constitue près de 69 % du phosphore total. Sa disponibilité est favorisée par l'élévation du pH dans l'eau (8,1) et de la température ( $22,1^\circ \text{C}$ ) comme le notent également HOUSE (1990) et ECKERT (1997). Dans le lac réservoir Balaton (ISTANOVICS, 1994), les lacs collinaires Fidh ben Ali en Tunisie (RAHAINGOMANANA, 1998) et dans le réservoir Al Massira (DAFIR, 1997) on



**Figure 3** Évolution spatiale (Al Massira, Daourat) des concentrations en phosphore total dans la masse d'eau au mois de septembre 1997 et au mois de mars 1998.

*Spatial evolution (Al Massira, Daourat) of total phosphorus concentrations in the water column in september 97 and march 98.*



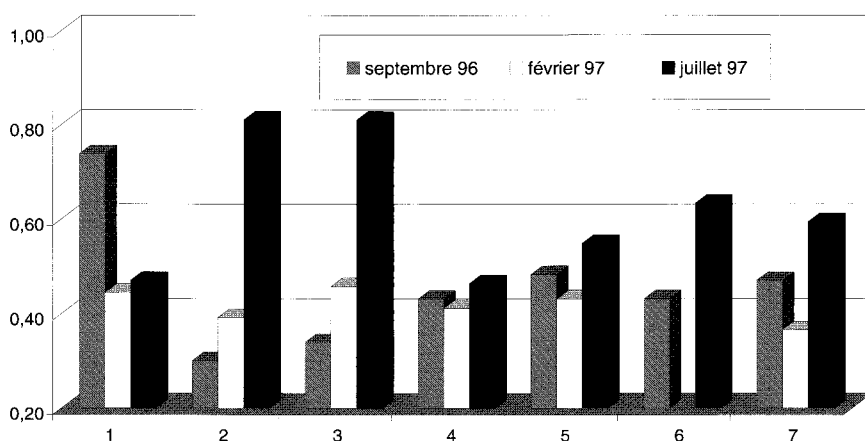
**Figure 4** Évolution saisonnière des concentrations des différentes fractions du phosphore et du phosphore total dans le sédiment à la station 7.

*Temporal evolution of the different fractions of phosphorus and of total phosphorus in the sediment at the station 7.*

retrouve également, la prédominance de la fraction liée au calcium. À l'inverse ce n'est pas le cas du réservoir de Bort-les-Orgues (France) où la fraction calcique n'excède pas 20 % du phosphore total (RUBAN et DEMARE, 1998). La fraction calcique a été pendant longtemps considérée comme peu mobilisable dans les écosystèmes aquatiques (MOUTIN, 1992). Les résultats propres au réservoir Daourat suggèrent que la fraction calcique puisse être mobilisable.

La fraction ferrique P-fer (25 % du phosphore total) et la fraction organique résiduelle ROP (15 % du phosphore total) (figure 4) ne présentent pas de fluctuations significatives en raison de l'absence d'anoxie dans la colonne d'eau et, de la nature de la matière organique vraisemblablement facilement minéralisable (FAHDE, 1994 ; MALKI, 1994).

De l'amont (Station 1) à l'aval (Station 7) du réservoir (*figure 1b*), la profondeur maximale croissante, de 2 à 15 m, instaure des conditions hydrodynamiques de plus en plus calmes vers l'aval du réservoir, ce qui augmente les phénomènes de sédimentation, de productivité et de minéralisation de la matière organique et contrôle, ainsi la répartition spatiale des éléments chimiques et, notamment, du phosphore. En effet, les concentrations en phosphore total dans le sédiment, qui oscillent entre  $0,30 \pm 0,1$  et  $0,81 \pm 0,15 \text{ mg}\cdot\text{P}\cdot\text{g}^{-1}$  (*figure 5*), laissent apparaître une homogénéisation en hiver liée à des débits élevés. En automne, mis à part la station 1 qui représente une zone d'accumulation au contact des eaux fluviales et des eaux du réservoir, les concentrations en phosphore total présentent une élévation de l'amont à l'aval (de  $0,30 \pm 0,06$  à  $0,47 \pm 0,08 \text{ mg}\cdot\text{P}\cdot\text{g}^{-1}$ ). En été, le niveau de la retenue baisse et l'entrée se situe dans la zone des stations 2 et 3 et non plus à la station 1. Cela explique la sédimentation du phosphore à ces niveaux et l'enrichissement progressif de la station 4 à la station 7. Une répartition similaire avec un gradient spatial des concentrations en phosphore, s'observe dans les retenues Al Massira (DAFIR, 1997) et El Kansera (ABDELLAOUI et al., 1998).



**Figure 5** Évolution saisonnière et spatiale (amont-aval) du phosphore total en septembre, février et juillet dans le sédiment.

*Spatial evolution (upstream-downstream) of total phosphorus concentrations in september, february and july in the sediment.*

#### 4 - CONCLUSION

Le fonctionnement hydrologique du réservoir Daourat, caractérisé par un faible temps de résidence des eaux (8 jours en valeur moyenne annuelle) résulte, pour l'essentiel, des effets liés aux apports externes et à la gestion propre du réservoir. Cela contribue à l'homogénéisation de la colonne d'eau qui évite l'effet néfaste de la stagnation des eaux sur les évolutions biogéochimiques. L'influence des réservoirs (Al Massira et Imfout) situés en amont, sur le fonctionnement physicochimique et géochimique du réservoir Daourat ne per-

met pas d'expliquer totalement le fonctionnement du plan d'eau. Ce lac réservoir semble être beaucoup plus contrôlé par les apports du bassin versant local et les échanges au niveau du sédiment. L'évolution du statut apparent du réservoir, qui est à tendance eutrophe en période estivale, est ralentie par la circulation rapide des eaux.

## 5 – REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier pour leur collaboration :

- le laboratoire central de l'Office national de l'eau potable (ONEP), Rabat ;
- le laboratoire central du ministère de l'Environnement, Rabat ;
- le laboratoire de pédologie du Centre national de la recherche forestière, Rabat.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDELLAOUI A., DERRAZ M., BENABDEL-LAH M.Z., LEK S., 1998. Contribution à l'étude de la relation entre les différentes formes du phosphore dans les sédiments d'une retenue de barrage eutrophe en climat méditerranéen (EL Kansera, Maroc). *Rev. Sci. Eau*, 1, 101-116.
- ALAOUI MHAMDI M., 1993. Intérêts de l'étude des bilans biogéochimiques de l'azote et du phosphore pour la compréhension du déterminisme de l'eutrophisation de quelques retenues marocaines. *Th. Doct. Univ. Sidi Med Ben Abdallah Fès*, 180 p.
- DAFIR J.E., 1997. Organisation et fonctionnement des écosystèmes aquatiques, application de la dynamique du phosphore (Al Massira Maroc). *Th. Doct. Univ. Hassan II Ain Chock – Casablanca*, 825 p.
- ECKERT W., NISHIRI A., PARPAROVA R., 1997. Factors regulating the flux of phosphate at the sediment – water interface of a subtropical calcareous lake: A simulation study with intact sediment cores. *Water, Air and Soil Pollution*, 99, 401-409.
- EL ABED L., 1996. Contribution à l'étude de l'impact des sédiments sur la qualité de l'eau : Cas des retenues des barrages Daourat et Imfout Comportement du phosphore à l'interface eau-sédiment. *Th. Doct. Univ. Mohamed V Rabat*, 394 p.
- FAHDE A., 1994. Étude des peuplements cladocères et rotifères dans le lac du barrage (Al Massira Maroc) (Hétérogénéité horizontale, dynamique des populations, broutage). *Th. Doct. Univ. Hassan II Ain Chock – Casablanca*, 226 p.
- GOLTERMAN H.L., BOOMAN A., 1988. Sequential extraction of iron-phosphate and calcium-phosphate from sediments by chelating agents. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 23, 904-909.
- HOUSE W.A., DONALDSON L., 1986. Adsorption and coprecipitation of phosphate on calcite. *J. Coll. Interf. Sci.*, 112 (2), 309-324.
- ISTANOVIC V., 1994. Fractional composition, adsorption and release of sediment phosphorus in the Kis Balaton reservoir. *Wat. Res.*, 28 (3), 717-726.

- MALKI M., 1994. Étude de la communauté phytoplanctonique et des caractéristiques physicochimiques des eaux du lac réservoir Al Massira. *Th. Doct. Univ. Hassan II Ain Chock - Casablanca*, 287 p.
- MOUTIN T., 1992. Contribution à l'étude du cycle du phosphate dans les écosystèmes lagunaires. *Th. Doct. Univ. Montpellier II*, 251 p.
- MURPHY J., RILEY J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 27, 31-36.
- ONEP, 1996. État de la qualité des eaux superficielles du bassin de l'Oum er rbia. *Office National de l'Eau Potable Maroc*, 30 p.
- POURRIOT R., MEYBECK M., 1995. Limnologie générale. Collection d'écologie n° 25, Masson Ed., 931 p.
- RAHAINGOMANANA N., 1998. Caractérisation géochimique des lacs collinaires de la Tunisie semi-aride et régulation géochimique du phosphore. *Th. Doct. Univ. Montpellier I*, 311 p.
- RICHARD S., 1996. La mise en eau du barrage de Petit Saut (Guyane française) : hydrochimie du fleuve Sinnamary avant la mise en eau, de la retenue pendant la mise en eau et du fleuve en aval. *Th. Doct. Univ. Aix-Marseille I*, 278 p.
- RODIER J., 1984. L'analyse de l'eau, 7<sup>e</sup> édition, Dunod, Paris.
- RUBAN V., DEMARE D., 1998. Sediment phosphorus and internal phosphate flux in the hydroelectric reservoir of Bort-les-Orgues, France. *Hydrobiologia*, 373, 349-359.
- RYDING S.O., RAST W., 1994. Le contrôle de l'eutrophisation des lacs et des réservoirs. *Collection des Sciences de l'Environnement*, 294 p.
- VOLLENWEIDER R.A., 1968. Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD Technic. Report. DAS/CSI, 68.27. OCDE, Paris, 192 p.