

L'ÉVAPORATION ET LE BILAN HYDROLOGIQUE DES ÉTANGS PELLICULAIRES. L'EXEMPLE DE L'ÉTANG CISTUDE EN BRENNÉ.

AL DOMANY M. ⁽¹⁾, TOUCHART L. ⁽¹⁾, BARTOUT P. ⁽¹⁾

(1) EA1210 CEDETE, Université d'Orléans, 10 rue de Tours, 45100 Orléans, France [mohammad-aldomany@hotmail.com, laurent.touchart@univ-orleans.fr, pascal.bartout@univ-orleans.fr]

Résumé – Nous avons équipé un étang de la réserve naturelle de Chérine en Brenne, typique des étangs pelliculaires des grandes régions d'étangs d'Europe de l'Ouest, pour pouvoir quantifier l'évaporation et définir la meilleure méthode adaptée à ce type de plan d'eau. A partir de la température de surface de l'eau, nous avons pu calculer l'évaporation en intégrant les valeurs observées dans différentes formules mathématiques et nous les avons comparées avec les mesures directes de l'évaporation. L'analyse a par la suite été étendue au bilan hydrologique montrant que ce type d'étang du Centre-Ouest de la France ne provoque sans doute pas de diminution de la ressource en eau.

Mots-clés : évaporation, bilan hydrologique, étang, température de l'eau.

Abstract – *Evaporation and water balance of shallow ponds, the example of the pond Cistude in Brenne.* We have equipped a pond in the Cherine Natural Reserve in Brenne, typical of shallow ponds of the major pond regions of Western Europe, to quantify the evaporation and determine the best method suitable for this type of water body. From the water surface temperature, we calculated the evaporation by integrating the values observed in different mathematical formulas and we compared them with the direct evaporation measurements. The analysis has subsequently been extended to the water balance and shows that this kind of pond in the French Midwest does not cause a decreasing water resource.

Keywords: evaporation, water balance, pond, water temperature.

Introduction

Malgré l'importance numérique (plus de 250.000 étangs selon Bartout et Touchart, 2013), socio-économique (Lemoine et Le Bihan, 2010) et écologique (Clément et Aidoud, à paraître) des étangs, il n'existe quasiment aucune étude consacrée au calcul du bilan hydrologique et à la mesure de l'évaporation à partir des plans d'eau libres de faibles profondeur et superficie en France. Or, le rôle de ces étangs est primordial pour comprendre le bilan de l'eau à l'échelle des hydrosystèmes, notamment dans les parties amont de tête de bassin. Les rares études limnologiques existantes sur ce sujet sont soit faites sur des territoires aux conditions géographiques très différentes de celles présentes en France métropolitaine (Bouchardeau et Lefèvre, 1957, Riou, 1975, sur le lac Tchad, Neumann, 1953, sur le lac Houle et le lac de Tibériade), soit réalisées à l'échelle de grands lacs (Afanas'ev, 1976, sur le lac Baïkal, Nicod et Rossi, 1979, sur le lac Victoria), soit effectuées à partir de méthodes mathématiques calculant l'évaporation à partir de la température de l'air et non de l'eau (Rosenberry *et al*, 2007). Pour cette triple raison, afin de mieux comprendre l'impact réel d'un étang sur le milieu et donc en améliorer sa gestion (DCE 2000, LEMA 2006), notre recherche tend vers quatre objectifs à partir de l'étude de l'étang Cistude en Brenne (figure 1), représentatif des plans d'eau pelliculaires caractérisant un certain nombre de grandes régions stagnantes françaises (Brenne, Sologne, Dombes, Woëvre, Forez, Bresse ...):

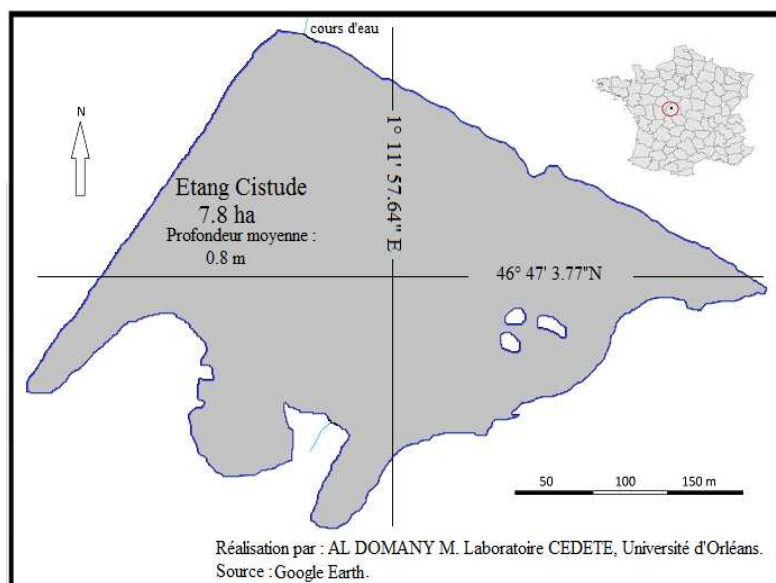


Figure 1. L'étang Cistude

* améliorer les prises de mesure évaporatoires en comparant un bac métallique de classe A et deux évaporomètres de Piche avec un bac flottant en plastique transparent utilisé pour la première fois dans cette étude ;

* tenter d'approcher la meilleure méthode mathématique pour calculer l'évaporation à partir des données météorologiques en comparant les mesures directes du meilleur outil identifié avec les résultats de chaque méthode mathématique usitée par les hydroclimatologues ;

* établir un bilan hydrologique complet ne négligeant aucun de ses composants en utilisant des instruments précis pour mesurer les débits entrant et sortant de l'étang, les précipitations, l'infiltration et l'évaporation sur une année hydrologique complète ;

* confirmer ou infirmer l'hypothèse qui dit que les étangs situés dans les parties amont des bassins-versants sont des sources importantes de perte en eau par évaporation (EPTB Vienne, 2012), en comparant la quantité d'eau perdue par évaporation lorsque l'étang existe et celle perdue au même endroit par l'ETP et l'interception si celui-ci n'existe pas.

1. Les données, les outils et les méthodes mathématiques utilisés dans cette étude

Cette étude est basée sur les mesures quotidiennes, pendant une année hydrologique complète, de l'évaporation grâce à trois outils différents (un bac flottant en plastique transparent, un bac métallique de classe A et deux évaporomètres de Piche placés à 5 m de l'étang), du débit entrant et sortant à l'aide d'un micro moulinet, de l'infiltration en utilisant un infiltromètre à double anneau. Nous avons obtenu aussi les données météorologiques grâce à une station météo *Weather Monitor II* qui est installée à 50 mètres de l'étang. Nous nous sommes également appuyés sur les données météorologiques de la station Météo-France de Rosnay, située à 10,6 km au sud-sud-est de l'étang, en complétant les quelques manques entrevus dans la série chronologique. Enfin, par l'utilisation de thermomètres *Tinytag Data Loggers*, nous avons constitué une base horaire de température de l'eau.

Nous avons recensé onze méthodes mathématiques utilisées pour calculer l'évaporation à partir des données météorologiques (Tableau 1).

Tableau 1. Les méthodes mathématiques utilisées et les facteurs pris en compte.

La méthode	La référence	T° de l'air	T° de l'eau	Humidité relative	Vitesse du vent	Rayonnement global	Point de rosée	Pression atmosphérique
Penman 1948	(Penman, 1948)	X	X	X	X	X	X	X
Stephens-Stewart	(McGuinness and Bordne, 1972)	X				X		
DeBruin-Kejman	(DeBruin and Kejman, 1979)	X	X	X		X		X
Makkink	(Winter <i>et al</i> , 1995)	X		X		X		X
Jensen-Haise	(Winter <i>et al</i> , 1995)	X		X		X		X
Primault	(MUSY <i>et HIGY</i> , 2004)			X		X		
Penman-Monteith	(ALLEN <i>et al</i> , 2006)	X		X	X	X		X
Bilan énergétique	(YAO, 2009)	X	X	X		X		X
Pristley-Taylor	(YAO, 2009)	X	X	X		X		X
Hamon modifiée	(Glenn R <i>et Harwell</i> , 2012)	X		X		X		X
Penman-Monteith modifiée	(AL Domany, 2013)	X	X	X	X	X		X

2. Résultats et discussion

2.1. Le meilleur instrument utilisé pour mesurer l'évaporation

Les premiers résultats montrent que le bac flottant est le meilleur instrument pour mesurer l'évaporation si l'on prend le critère de ce qu'il n'a quasiment aucune influence sur la température de l'eau qu'il contient (Figure 2). Par contre, le bac métallique de classe A réchauffe en général la température de l'eau qu'il contient (Figure 3) et cela perturbe les mesures d'évaporation.

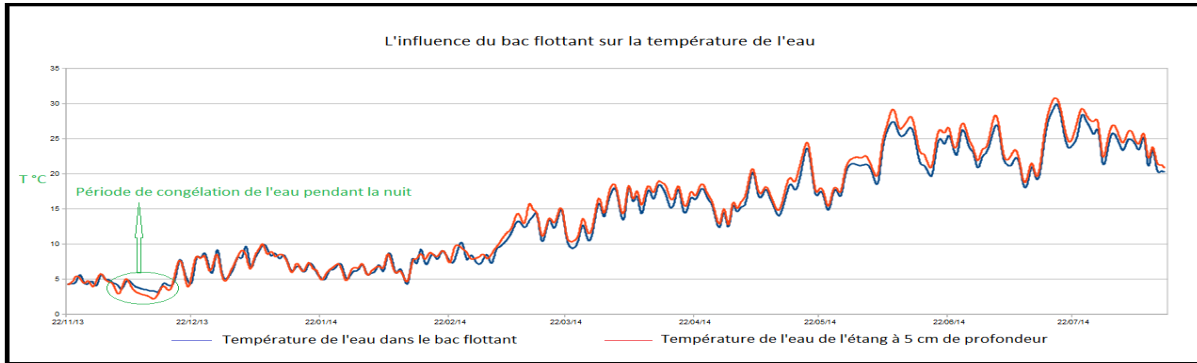


Figure 2. L'influence du bac flottant sur la température de l'eau.

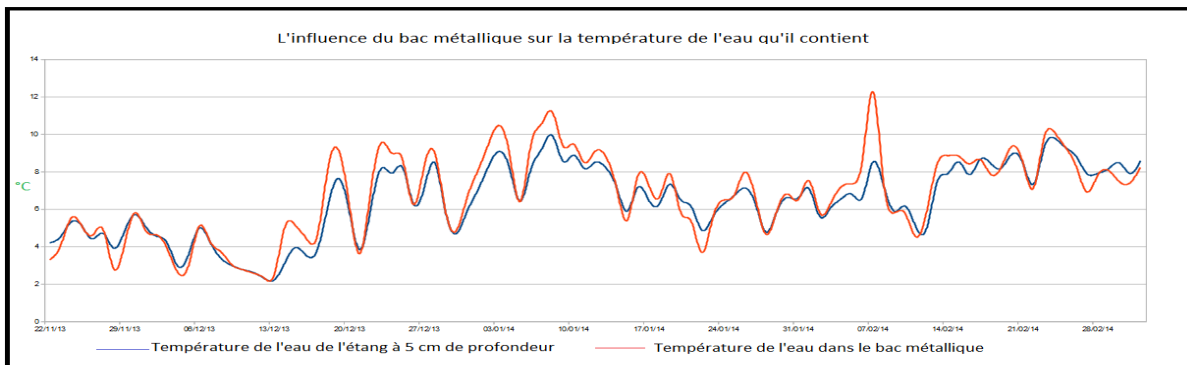


Figure 3. L'influence du bac métallique sur la température de l'eau.

De plus, à l'échelle annuelle, le taux d'évaporation mesuré par le bac flottant est supérieur de 150 à 250 mm à celui mesuré par les évaporomètres de Piche (Figure 4). Cet écart peut s'expliquer par le rôle principal de la température de l'eau dans le processus d'évaporation.

L'inconvénient du bac flottant était la stabilisation à la surface de l'eau. Mais après avoir résolu ce problème, en installant deux cadres en bois autour du bac pour empêcher les vagues de l'atteindre, nous avons commencé à obtenir des mesures fiables, avec une marge d'erreur de 0.05 mm.

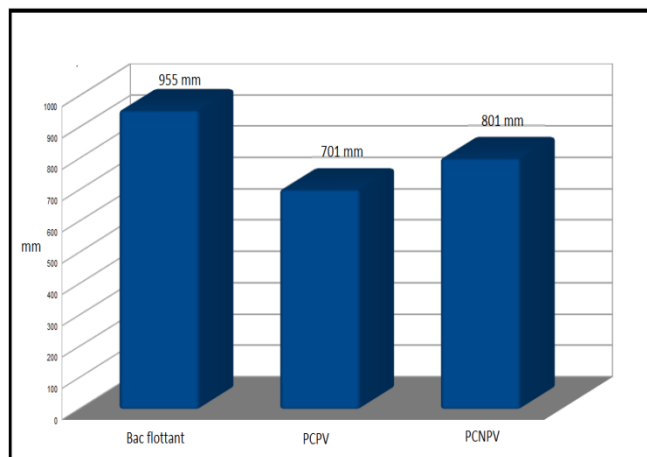


Figure 4. Comparaison entre l'évaporation mesurée par un bac flottant, un évaporomètre Piche installé dans un coin protégé du vent (PCPV) et un évaporomètre Piche installé dans un coin non protégé du vent (PCNPV).

2.2. La meilleure méthode mathématique utilisée pour calculer l'évaporation

Entre le 14/08/2013 et le 13/08/2014, la comparaison entre l'évaporation mesurée par le bac flottant (955.4 mm) et les résultats obtenus par les différentes méthodes mathématiques utilisées dans cette étude, montre que la méthode de Priestley-Taylor (947.9 mm) est la meilleure méthode. La méthode de Penman-Monteith modifiée vient en deuxième place avec (867.2 mm) et les méthodes de Penman 1948 (865.9 mm) et de DeBruin-Kejman (861.6 mm) viennent en troisième et quatrième places respectivement (Figure 5).

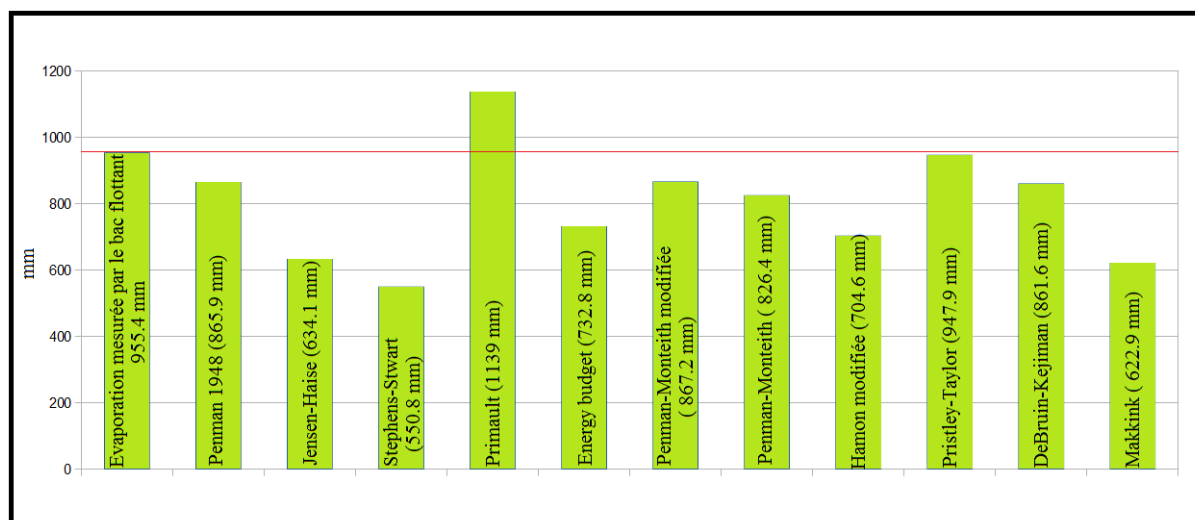


Figure 5. Comparaison à l'échelle annuelle entre l'évaporation mesurée par le bac flottant et l'évaporation calculée par onze différentes méthodes mathématiques.

Notre étude montre que toutes les méthodes qui prennent en compte la température de l'eau donnent des résultats très proches des mesures directes prises par le bac flottant, que nous considérons comme notre référence. Par contre, les méthodes qui ne prennent pas en considération la température de l'eau donnent des résultats plus éloignés.

Si nous réfléchissons à une échelle autre qu'annuelle, nous remarquons que certaines méthodes donnent des résultats très proches des mesures directes pendant une période de l'année, alors qu'elles en sont fort éloignées durant d'autres périodes. Ainsi, la méthode de Priestley-Taylor est la plus pertinente pour calculer l'évaporation sur six mois de l'année (juin, juillet, décembre, février, avril et mai), donne des résultats très proches des mesures directes pour trois autres mois (août, septembre et janvier), mais fausse la quantification évaporatoire sur les trois derniers mois (octobre, novembre et mars).

2.3. Bilan hydrologique complet de l'étang Cistude

Pendant une année hydrologique complète (2013-2014), les mesures quotidiennes sur le terrain d'étude ont donné les chiffres suivants : débit entrant = 112.825,5 m³, débit sortant = 94.325,3 m³, infiltration = 0 m³, précipitations = 76.372,92 m³ et évaporation = 74.522,76 m³.

Pour établir le bilan hydrologique de l'étang Cistude, nous avons utilisé l'équation suivante : Débit entrant + Précipitations = Débit sortant + Infiltration + Évaporation (avec tous les composants en m³).

Or, nos données ne permettent pas d'équilibrer l'équation, la première partie étant supérieure de 20.539,12 m³ à l'autre. L'hypothèse la plus probable pouvant expliquer cette différence provient d'un mauvais fonctionnement de l'infiltromètre à double anneau qui a certainement sous-estimé la quantité d'eau infiltrée vers les nappes, la quantité d'eau qui a fui via les digues et la quantité d'eau absorbée par les systèmes racinaires des arbres entourant l'étang.

2.4. Les étangs pelliculaires sont-ils des sources de perte en eau par évaporation ?

Cette question peut-être interprétée de différentes manières. Il n'est pas dans notre objectif de montrer que la présence de ce type d'étang n'entraîne pas d'évaporation, bien au contraire, puisque la présence d'une végétation rivulaire importante et la faible épaisseur de la tranche d'eau en font le type d'étang le plus évaporant (Aldomany *et al.*, 2014). Non, il s'agit ici de pouvoir comparer ce qui est comparable en termes paysagers : s'il n'y avait pas d'étang, qu'aurait-on ? Dans le cas de l'étang Cistude, l'une des possibilités est une chênaie. Nous avons donc comparé la quantité d'eau perdue par l'étang du fait de l'évaporation (955,4 mm) avec la quantité d'eau potentiellement perdue par une chênaie de même superficie que l'étang Cistude, par évapotranspiration (calculée selon la méthode de Penman-Monteith = 826,4 mm) et interception.

Selon Nizinski et Saugier (1988), pour le chêne, l'interception varie entre 22% en hiver et 34% en été et à l'échelle annuelle l'interception égale 28% des précipitations. En appliquant ces chiffres, nous obtenons une interception de 274,16 mm ($979,14 * 28\% = 274,16$ mm). De fait, en additionnant l'évapotranspiration et l'interception, nous obtenons un total supérieur à la seule transpiration de l'étang Cistude (Figure 6).

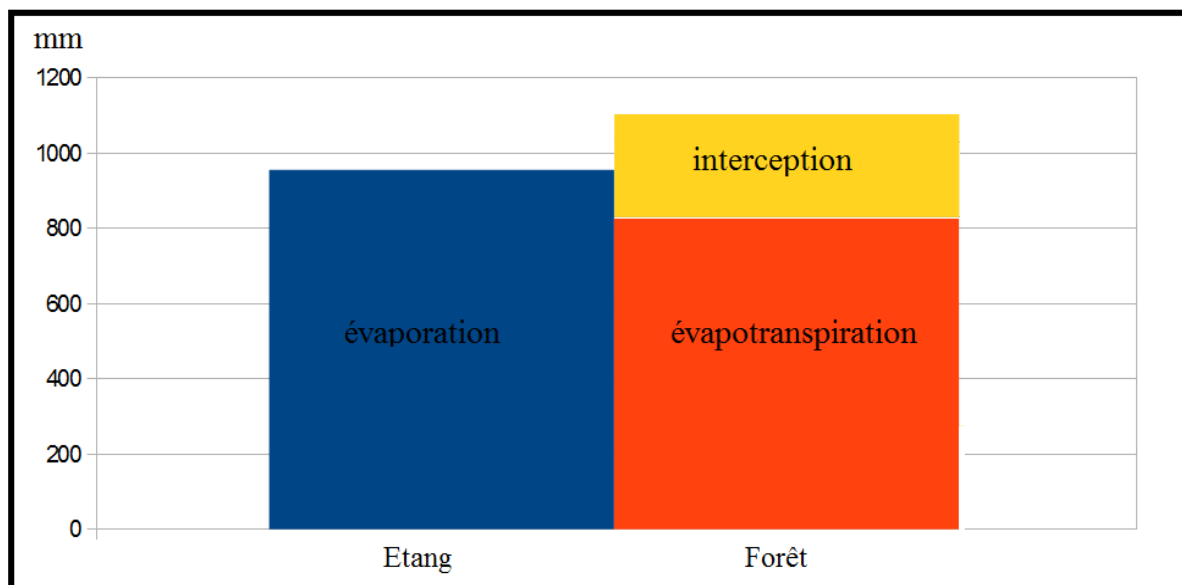


Figure 6. Comparaison entre la quantité d'eau perdue par un étang par évaporation et par une forêt (chênaie) par évapotranspiration et interception.

Conclusion

Cette étude est le fruit d'une année complète des mesures quotidiennes des différents composants du bilan hydrologique. Nous avons justifié le rôle principal de la température de l'eau dans le processus d'évaporation en montrant que les méthodes mathématiques les plus adaptées à la quantification de l'évaporation sur un étang pelliculaire du Centre-Ouest de la France étaient celles qui prenaient en compte ce paramètre de la température de l'eau. Cette étude a confirmé que la quantité d'eau perdue par les étangs était importante (près d'un mètre de tranche d'eau) mais ne devrait pas poser de problème de société, puisqu'elle est même légèrement inférieure à celle de la forêt proche. Enfin, techniquement, nous avons utilisé pour la première fois un bac flottant en plastique transparent, qui peut devenir un des meilleurs instruments utilisés pour mesurer l'évaporation des plans d'eau libres s'il est évalué par un comité des spécialistes.

Références bibliographiques

- Afanas'ev A.-N., 1976 : *Vodnye resursy i vodnyj balans bessejna ozera Bajkal*. Novosibirsk, Nauka, 240 p.
- Al Domany M., 2013 : *L'évaporation des étangs: le cas du Centre-Ouest de la France*. Université d'Orléans, mémoire de master 2 en géographie et aménagement, 129 p.
- Al Domany M., Touchart L., Bartout P., Nedjai R., 2013 : The evaporation from ponds in the French Midwest, Lakes, reservoirs and ponds, **2**, 75-88.
- Allen R.-G., Pereira L.-S., Raes D., Smith M., 2006 : *Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 333 p.
- Bartout P., Touchart L., 2013 : L'inventaire des plans d'eau français : outil d'une meilleure gestion des eaux de surface. *Annales de Géographie*, **691**, 266-289.
- Bouchardeau A., Lefèvre R., 1957 : *Monographie du lac Tchad*. Paris, Orstom, 112 p.
- Clement B., Aidoud A., 2015 : Oligotrophie du substrat et marnage, une combinaison de caractéristiques propre à contrôler l'invasibilité des systèmes palustres. in Touchart L., Bartout P., Motchalova O., Dir., *Mieux comprendre les étangs : expériences nationales et internationales, du Berry Limousin à l'Europe orientale. Brive-la-Gaillarde : Les Monédières*.
- DeBruin H.-A.-R., Kejiman J.-Q., 1979 : The Priestley-Taylor evaporation model applied to a large, shallow lake in the Netherlands. *Journal of Allied Meteorology*, **18**, 898-903.
- EPBV., 2012 : *Vers une gestion des étangs du bassin de la Vienne pour atteindre le bon état écologique des eaux*. Limoges, 62 p.
- Glenn R.-H., 2012 : *Estimation of Evaporation from Open Water-A Review of Selected Studies, Summary of U.S. Army Corps of Engineers Data Collection and Methods, and Evaluation of Two Methods for Estimation of Evaporation from Five Reservoirs in Texas*, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 107 p.
- Lemoine E., Le Bihan V., 2010 : *Valeurs d'usages et de non usages des étangs piscicoles en France*. Itavi-Lemna, 125 p.
- McGuinness J.-L., Bordne E.-F., 1972 : *A comparison of lysimeter-derived potential evapotranspiration with computed values*. Technical Bulletin No 1452, US Department of Agriculture Agricultural Research Service, Washington, 39 p.
- Musy A., Higy C., 2004 : *Hydrologie, une science de la nature*. Presses polytechniques et universitaires romandes. 149 p.
- Neumann J., 1953 : Energy balance and evaporation from sweet water lakes of the Jordan Rift. *Bulletin of the Research Council of Israel*, **2**, 337-357.
- Nicod J., Rossi G., 1979 : Données nouvelles sur l'hydrologie du lac Victoria. *Annales de Géographie*, **488**, 459-466.
- Nizinski J. Saugier B., 1988 : Mesure et modélisation de l'interception nette dans une futaie de chênes. *Acta Oecologia, Oecol. Plant*, **3**, 311-329.
- Penman H.-L., 1948 : *Natural evaporation from open water, bare soil and grass*. Proc. Roy. Soc. Lond. 193 p.
- Riou C., 1975 : *La détermination pratique de l'évaporation, application à l'Afrique centrale*. Paris, Mémoire Orstom n°80, 228 p.
- Rosenberry D.-O., Winter T.-C., Buso D.-C., Likens G.-E., 2007 : Comparison of 15 evaporation methods applied to a small mountain lake in the northeastern USA. *Journal of Hydrology*, **340**, 149-166.
- Winter T.-C., Rosenberry D.-O., Sturrock A.-M., 1995 : Evaluation of 11 equations for determining evaporation from a small lake in the north central United States. *Water Resources Research*, **31**, 983-993.
- Yao H., 2009 : Long-Term Study of Lake Evaporation and Evaluation of Seven Estimation Methods: Results from Dickie Lake, South-Central Ontario, Canada. *J. Water Resource and Protection*, **2**, 59-77.