



**HAL**  
open science

## Evaluation de la production piscicole potentielle des étangs

J. Barbe, O. Schlumberger, N. Bouretz

► **To cite this version:**

J. Barbe, O. Schlumberger, N. Bouretz. Evaluation de la production piscicole potentielle des étangs. Ingénieries eau-agriculture-territoires, 2000, 22, p. 49 - p. 62. hal-00464073

**HAL Id: hal-00464073**

**<https://hal.science/hal-00464073>**

Submitted on 15 Mar 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Évaluation de la production piscicole potentielle des étangs

Jacques Barbe, Olivier Schlumberger et Nicolas Bouretz

La production piscicole française (encadré 1) s'élève à environ 1 000 tonnes par an. Au-delà de sa contribution non négligeable à l'économie régionale, cette production représente un vivier important pour le réempoissonnement des cours d'eau. Sauf cas d'alimentation directe du poisson avec une nourriture exogène, la production piscicole d'un plan d'eau dépend de la richesse du milieu (plancton essentiellement) qui est elle-même fonction des apports de fertilisants minéraux et/ou organiques. La connaissance de la capacité de production d'un étang de pisciculture est indispensable pour pouvoir le gérer, et pour estimer, en cours de saison et compte tenu de la fertilisation pratiquée, si l'objectif de production sera atteint. Cette production potentielle est la production que devrait avoir un étang empoissonné de manière optimale en quantité et qualité, considérant sa morphologie générale.

## Les indicateurs et les approches disponibles

Les paramètres physico-chimiques et biologiques du milieu qui peuvent être utilisés se situent dans les différents compartiments de la chaîne trophique : éléments dissous, phytoplancton, zooplancton.

### ■ Physico-chimie

En pisciculture d'étang, les gammes de concentrations considérées comme optimales pour les principaux sels minéraux dissous sont les suivantes (Billard et Marie, 1980 ; Wurtz-Arlet, 1980 ; Boyd, 1982) :

– calcium  $\text{Ca}^{++}$  = plus de 8,5 mg  $\text{Ca}^{++}$ /litre, soit 30 mg  $\text{CaCO}_3$ /litre.

Le calcium est un facteur limitant de la production aquatique en général ; les eaux les plus productives en contiennent plus de 50 mg/l.

– azote inorganique dissous ( $\text{N-NH}_4 + \text{N-NO}_3$ ) = 0,8 à 4 mg/litre ;

– orthophosphates  $\text{PO}_4 = 0,2$  à  $0,5$  mg  $\text{PO}_4$ /litre ;

– rapport  $\text{PO}_4/(\text{N-NH}_4 + \text{N-NO}_3) = 1/4$  à  $1/10$ . Si la proportion est supérieure à  $1/4$ , on observe fréquemment un développement de Cyanobactéries ; des valeurs de  $1/8$  à  $1/10$  favorisent les Chlorophycées.

L'azote dissous (formes  $\text{N-NH}_4$  et  $\text{N-NO}_3$ ) et les orthophosphates ( $\text{PO}_4$ ) sont utilisés par le phytoplancton pour son développement.

En pratique, les observations de terrain montrent que dans de nombreux étangs, les flux de consommation d'azote et de phosphore sont tels que leurs concentrations instantanées respectives sont inférieures à l'optimum théorique d'un facteur 10 voire plus, alors que le plancton est abondant (Secchi : 60-80 cm), avec une production piscicole nette de 300 à 500 kg/ha.

### ■ *Transparence de l'eau mesurée au disque de Secchi*

Ce critère est à la base de la gestion des étangs de pisciculture dans toute l'Asie du Sud-Est, où les espèces produites sont essentiellement filtreuses et planctonophages. Il permet d'apprécier la densité des particules (matières en suspension, et sur-

**Jacques Barbe,**  
Cemagref,  
3 bis Quai  
Chauveau  
69336 Lyon  
Cedex 09  
**Olivier  
Schlumberger,**  
Cemagref  
Domaine de  
Lavalette,  
BP 5095  
34033 Montpellier  
Cedex 01  
**Nicolas Bouretz,**  
Impasse du Pas du  
Loup  
30700 Uzès

tout plancton) présentes dans l'eau. Lorsque la transparence se maintient entre 30 et 60 cm, on considère que la densité de plancton est correcte pour assurer une bonne production (Billard et Marie, 1980 ; Wurtz-Arlet, 1980 ; Boyd, 1982). Cette mesure est perturbée si le sédiment est remis en suspension (action du vent sur la masse d'eau, activité des poissons sur le fond) ou lorsque l'eau est fortement colorée par des substances humiques (environnement forestier).

En pratique, dans certains étangs, la transparence de l'eau peut rester importante pendant toute la période de croissance des poissons, et correspondre à une production finale correcte. Ainsi sur un plan d'eau entouré d'une importante ceinture de macrophytes, les valeurs suivantes ont été relevées (moyennes saisonnières) : azote ( $N.NH_4 + N.NO_3$ ) et orthophosphates dissous : moins de 0,05 mg/l pendant la saison ; transparence au Secchi élevée et stable à environ 2 m. La production nette finale a atteint 225 kg de poisson/ha.

Un tel résultat s'explique par le développement de bactérioplancton favorisé par un rapport C/N élevé (Bérard, 1993 ; Avnimelech *et al.*, 1994), grâce à la présence de déchets végétaux abondants

(source de carbone). La biosynthèse de protéines microbiennes explique les faibles teneurs en azote dissous mesurées. Le bactérioplancton est consommé directement par du zooplancton de petite taille (Ciliés, Rotifères, Cladocères) dont l'influence sur la transparence est réduite.

### ■ *Phytoplancton et zooplancton*

Le **phytoplancton** est utilisé classiquement comme indicateur du degré d'eutrophisation des plans d'eau douce (Wurtz, 1958 ; Barbe *et al.*, 1990). Son développement dépend de la richesse du milieu en azote et phosphore, et de la prédation exercée par le zooplancton.

Mais le développement d'une forte biomasse algale n'est pas suffisant pour pouvoir obtenir un rendement piscicole élevé. La nature des espèces d'algues, les dimensions des cellules et leur structure doivent permettre leur bonne intégration dans la chaîne alimentaire aboutissant au poisson (Balvay, 1995 ; Lazzaro, Lacroix, 1995).

En outre, un développement algal excessif peut entraîner l'apparition de phases de désoxygénation nocturne (respiration de la biomasse algale) ; des mortalités massives sont à craindre également, avec

#### Encadré 1

##### Les étangs piscicoles en France

Le début de la création d'étangs piscicoles en France remonte au Moyen Âge. Le poisson constituait alors une ressource alimentaire importante pour les nombreux jours de jeûne (une centaine dans l'année). Beaucoup de ces étangs se sont peu à peu comblés faute d'entretien, ou ont été asséchés lors des campagnes d'assainissement du début du XIX<sup>e</sup> siècle. Leurs règles de conception n'ont pas fondamentalement changé depuis la rédaction du *Théâtre d'Agriculture et Mesnage des Champs* d'Olivier de Serres en 1600.

Actuellement, près de 70 000 ha d'étangs sont gérés pour une production piscicole et vidangés chaque année ; environ 10 000 propriétaires, agriculteurs pour la plupart, sont concernés. Sans prendre en compte une surface équivalente d'étangs valorisée pour les loisirs (pêche) et vidangés irrégulièrement ou rarement, ce patrimoine piscicole est le plus vaste d'Europe, la France se situant devant la Pologne, la Hongrie et l'Allemagne.

La production annuelle est d'environ 10 000 tonnes dont 6 000 de carpe ; gardon, tanche et brochet sont les autres espèces les plus couramment produites. Plus de la moitié de cette production est destinée au ré-empoissonnement des cours d'eau par l'intermédiaire des Fédérations départementales de Pêche. Les handicaps dont souffre la production de poissons d'étangs (dispersion et faible organisation des producteurs, disponibilité saisonnière de novembre à Pâques, commercialisation généralement en entier d'où une préparation préalable, une fausse tradition de goût de vase, un coût plus élevé que les produits de la mer ou d'importation congelés) doivent être transformés en atouts. Valorisation régionale par la restauration, promotion de produits du terroir saisonniers comme le gibier... Ceux qui n'ont pas goûté à un sandre en papillote au vin blanc, à une carpe au pain d'épice ou à une friture de goujons ne savent pas ce qu'ils perdent !

toutes les conséquences biologiques et physico-chimiques que cela induit.

Le zooplancton est consommé directement par les jeunes stades des différentes espèces de poisson, et par les adultes non carnivores (Cyprinidés). Sa répartition dans l'étang est généralement plus hétérogène que celle du phytoplancton. Les alevins consomment initialement surtout des Rotifères et des stades naupliens de Copépodes ; les poissons plus âgés (à partir de trois-quatre semaines) exercent leur prédation sur les formes adultes de Copépodes et les Cladocères.

Pour utiliser le plancton comme indicateur de la production potentielle d'un étang, il faut pouvoir estimer si la chaîne trophique phytoplancton – zooplancton – poisson est bien développée qualitativement et quantitativement. La densité du zooplancton (nombre d'individus/litre) ou le biovolume décanté (ml zooplancton/100 litres) sont des indicateurs de production importants, mais les tailles relatives et des régimes alimentaires des différents groupes planctoniques présents, ainsi que la prédation exercée par les poissons (Cyprinidés, quel que soit leur âge, et juvéniles des autres groupes) doivent aussi être pris en compte.

Le zooplancton a été utilisé en Pologne par Grygierek (1979) comme aide à la gestion pour les étangs fertilisés destinés au grossissement de carpe (*C. carpio*) en monoculture pendant leur première, seconde ou troisième année. En tenant compte :

- de la taille des organismes zooplanctoniques présents ;
- des proportions relatives entre les différents groupes ;
- des rendements obtenus en fin d'année lors des pêches.

La méthode proposée permet de définir des densités optimales de carpes pour ce mode d'élevage particulier. Les meilleures productions (300-330 kg net/ha) sont obtenues quand les Daphnies (*Daphnia sp.*) constituent 20 à 30 % du zooplancton en juillet et août, période de croissance maximale pour les carpes. Malheureusement, cette méthode ne s'applique que pour le grossissement de la carpe en monoculture, ce qui ne permet pas d'extrapoler cette méthode aux étangs que nous étudions, avec polyculture et reproduction sur place de certaines espèces.

## Choix du protocole d'évaluation

### ■ Paramètres suivis

Chargés d'apporter un appui technique pour la gestion d'étangs de pisciculture, nous avons cherché à disposer d'indicateur(s) de la production potentielle des plans d'eau à partir de mesures faites en cours de saison.

L'étude a été réalisée sur des étangs de pisciculture, avec élevage polyspécifique (encadré 2), apports de fertilisants organiques ou minéraux mais sans nourrissage. 36 sites différents (tableau 1) ont été suivis, dont 10 plusieurs années de suite ; au total, 49 séries de données sont disponibles. Ces plans d'eau sont situés dans différentes régions de France (Lorraine, Brenne, Forez et Dombes), et leur surface est comprise entre 0,6 et 170 hectares, six sites ayant une superficie dépassant 20 ha. La récolte (production nette) varie de 60 à 628 kg/ha/an suivant les sites (moyenne : 232 kg/ha).

Les paramètres suivants (Cemagref, 1986 à 1991) ont été mesurés pendant la période de croissance du poisson (d'avril à septembre) :

- physico-chimie : température, oxygène dissous en surface et au fond, transparence au disque de Secchi, conductivité, teneurs en  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{--}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , N minéral total, N total,  $\text{PO}_4^{--}$ , P total ;
- phytoplancton : groupe dominant établi après dénombrement (les colonies sont comptabilisées comme un individu), chlorophylle *a* ;
- zooplancton : nombre d'individus/litre, biovolume décanté (ml/100 litres d'eau brute ; organismes frais), poids sec (passage à l'étuve : 48 heures à 120°C) ;
- production piscicole de chaque étang, relevée en hiver, au moment de la pêche annuelle par vidange de ces étangs.

Les relevés concernant la physico-chimie et le plancton ont été effectués au cours de huit à douze campagnes annuelles. Les contrôles débutent dès la fin du remplissage des étangs (habituellement en avril) et se terminent fin septembre. Mesures et prélèvements ont été faits sur toute la colonne d'eau, en six à dix points suivant la superficie des sites.

Quelques remarques peuvent être faites concernant les étangs notés \* dans le tableau 1 :

EF1 (saisons 1988 et 1989) : pas de mortalités de poissons malgré la présence de Cyanobactéries en 1988 ; installation d'un aérateur de surface pendant l'été 1989.

EF3 (saison 1988) : forte augmentation de la densité de zooplancton de grande taille par rapport à la saison précédente (apports probables de matières organiques).

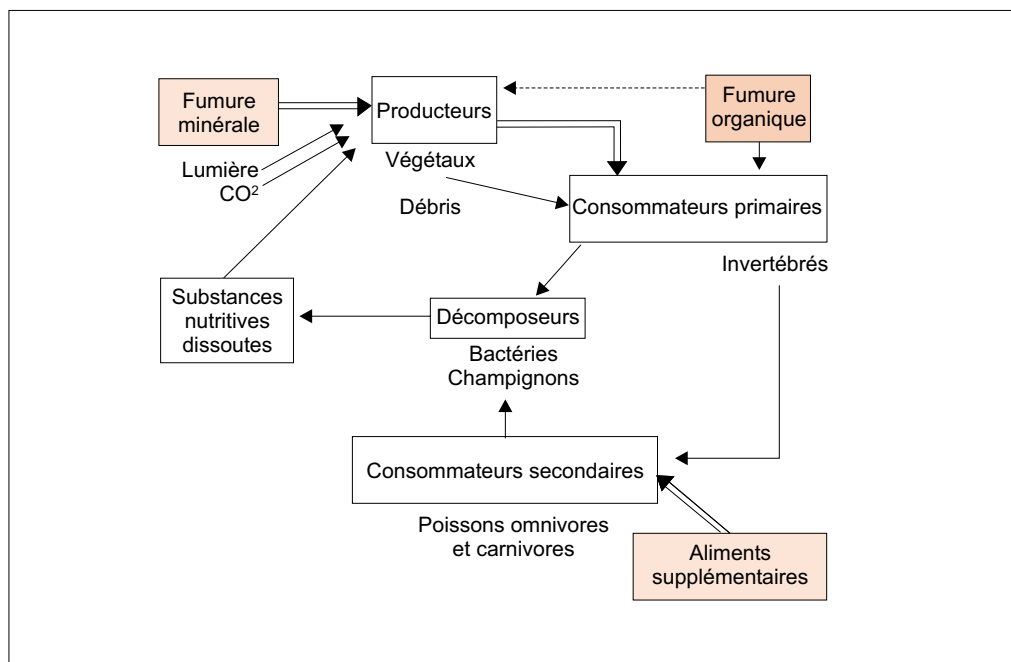
EF4 (saisons 1987 et 1988) : mortalités sur une partie de la production en 1987 (carpes de deux étés) ; faible production en 1988 due à l'absence de reproduction des carpes.

EF8 : des apports de sulfate de cuivre (30-50 mg Cu/m<sup>3</sup>) ont été effectués pour éviter le développement de Cyanobactéries.

Encadré 2

Mode de production

La pisciculture d'étang est généralement un élevage polyspécifique : les espèces introduites en quantités raisonnables dans le plan d'eau ont des régimes alimentaires complémentaires, exploitant et valorisant les différentes ressources trophiques disponibles. Carpe et tanche consomment les invertébrés sur le fond, le gardon, omnivore, vit en pleine eau, tandis que le carnivore (brochet ou sandre) présent à faible densité, consomme une partie des juvéniles des autres espèces... ce qui favorise la croissance des (nombreux) survivants. La faune européenne est dépourvue de poissons exploitant les végétaux (plancton et macrophytes) comme il en existe dans les régions tropicales. Le gestionnaire d'étangs cherche à optimiser et augmenter la production naturelle de son plan d'eau, en intervenant sur différents niveaux de la chaîne alimentaire : sur le plancton végétal, par des apports limités d'azote et de phosphore, sur le plancton animal, par des apports de matières organiques (fumier) ou directement sur le poisson en lui distribuant des aliments plus ou moins élaborés (céréales, plus rarement des granulés). En définitive, un pisciculteur gère un écosystème aquatique pour en récolter le produit final.



▲ Figure 1. – Cycle biologique en étang ; réseau trophique ; possibilités d'intervention (double trait) par le pisciculteur.

## Évaluation de la production piscicole potentielle des étangs

SITES	Surface (ha)	Phosph. tot. (mg/m <sup>3</sup> )	Chl. a (mg/m <sup>3</sup> )	Phytoplancton (groupes dominants)	Production nette (kg/ha)	
					prévue	effective
<u>FOREZ</u>						
EF 1 (1987)	22	794	95	Cyanobactéries	env. 500	620
EF 1 (1988)*		630	139,2	Cyanobactéries	> 500	580
EF 1 (1989)*		794	47,3	Eugléno., Chlorophycées	env. 350	350
EF 2	9	79	7,6	Cyanobactéries	env. 250	233
EF 3 (1987)	7,5	316	50,5	Cyanobactéries	500	548
EF 3 (1988)*		125	6,2	Chlorophycées	< 100	544
EF 4 (1987)*	6	316	94,3	Cyanobactéries	env. 500	452
EF 4 (1988)*		199	22,6	Cyanobactéries	env. 250	104
EF 5 (1987)	10	158	23,7	Diatom., Desm., Dinophycées	< 200	218
EF 5 (1988)		50	21,9	Eugléno., Chryso., Dinoph.	env. 250	308
EF 6 (1987)	28	199	63,4	Cyanobactéries	env. 500	452
EF 6 (1988)		316	42,3	Cyanobactéries	env. 500	609
EF 6 (1989)		251	52,4	Cyanobact., Chlorophycées	env. 500	628
EF 7 (1988)	13	251	21,3	Cyanobact., Chlorophycées	< 250	182
EF 7 (1989)		316	74,4	Cyanobact., Chlorophycées	300-400	223
EF 8*	2,8	501	45	Chlorophycées	< 250	264
<u>DOMBES</u>						
Jointe (1985)*	2	199	13	Eugléno., Chlorophycées	env. 150	158
Jointe (1986)*		199	18,1	Eugléno., Chlorophycées	< 250	257
Jointe (1987)*		125	22	Eugléno., Chlorophycées	env. 250	270
Victor*	3	316	25,8	Euglénophycées	env. 250	350
Devant*	4	251	32,8	Eugléno., Chlorophycées	env. 250	532
<u>BRESSE</u>						
EB 1	5	158	29,9	Chryso., Diatom., Dinoph.	< 100	102
EB 2 (1988)	4,6	50,1	10,6	Chryso., Dinoph., Eugléno.	env. 100	115
EB 2 (1989)		79	9,6	Dinophycées	< 100	100
EB 3	4,5	316	30,6	Chloroph., Euglénophycées	env. 150	156
EB 4	25,6	63	52,8	Chryso., Dinoph., Eugléno.	env. 250	295
EB 5 (1988)	6,3	63	9,7	tous groupes présents	env. 250	339
EB 5 (1989)		50,1	30	Chloroph., Chrysophycées	env. 250	258
EB 6	3,6	199	12	Cyanobact., Chlorophycées	env. 150	157
EB 10	2	199	8	Cyanobact., Chrysophycées	< 100	100
EB 11	8	125	15	Eugléno., Chrysophycées	< 150	137
EB 12	10	79	38	Cyanobact., Chlorophycées	< 300	283
<u>LORRAINE</u>						
EW 1	1	50,1	17,7	Eugléno., Chlorophycées.	< 200	185
EW 2	7	10	52,4	Eugléno., Dinophycées	env. 300	312
EW 3	21	50,1	6,7	Eugléno., Dinophycées	< 150	112
EW 4	8	6,3	29	Eugléno., Chlorophycées	env. 250	215
EW 6	61	6,3	25,7	Cyanobact., Dinophycées	env. 250	195
Beugne	6	125	26	Cyanobact., Chlorophycées	env. 250	175
Come	3	316	55	Euglénophycées	env. 300	250
Francheville*	10	63	6	Euglénophycées, Dinophycées	< 100	80
Lachaussée	170	63	5	Chrysophycées	< 100	70
Minuit	4	63	5	Chrysophycées	< 100	60
Mx. Lachèvre	6	63	18	Diatom., Eugléno., Chloroph.	env. 100	120
Gd. Paris	20	63	5	Eugléno., Chrysophycées	env. 100	100
Picard (1985)	9	100	10	Chrysophycées	< 100	100
Picard (1986)		79	10	Diatom., Chryso., Eugléno.	env. 100	105
Picard (1987)		63	21	Chrysophycées	< 150	140
Roquin	2	39,8	11	Chlorophycées	< 100	90
Vigneulles	8	1000	21	Chlorophycées, Diatomées	env. 250	312

◀ Tableau 1. – Base de données utilisée et application de la méthode proposée. Détermination de la production piscicole nette potentielle d'un étang à partir du (des) groupe(s) de phytoplancton prédominant(s) au cours de la saison, et des concentrations moyennes en chlorophylle a.

Étangs Jointe, Victor et Devant : la fertilisation organique à base de lisier et fiente de volailles a favorisé le développement d'Euglénophycées.

#### ■ *Application des analyses classiques*

Dans les grands plans d'eau dulçaquicoles exploités par pêche aux engins, différentes méthodes ont été proposées pour estimer soit la production piscicole (« fish yield », en kg/unité de surface), soit la biomasse de poissons présente (« fish standing crop », cheptel existant sur le secteur) à partir :

- des substances dissoutes totales (Rawson, 1951 ; Northcote et Larkin, 1956) ;
- de la profondeur moyenne (Rawson, 1952) ;
- de l'indice morphoédaphique (Ryder *et al.*, 1974) et des formules dérivées (revue dans Oglesby, 1982) ;
- de la biomasse de phytoplancton (Oglesby, 1977 a et b ; Jones et Hoyer, 1982 ; Biro et Voros, 1990) ;
- de la biomasse de macrobenthos (Matuszek, 1978 ; Hanson et Leggett, 1982).

Une revue de ces méthodes a été faite par Leach *et al.* (1987).

Moreau et De Silva (1991) montrent que sur des lacs et réservoirs d'Asie, suivant les sites, c'est l'un ou l'autre de ces méthodes qui fournit les meilleures estimations des rendements de la pêche.

Pour les plans d'eau de petite surface non anthropisés, la formule de Léger-Huet (Huet, 1949, 1964, 1970) est fréquemment utilisée. Hanson et Leggett (1982) ont proposé, à partir d'une compilation de relevés sur 26 plans d'eau de l'hémisphère nord, une méthode de détermination de la biomasse de poissons en fonction de la concentration moyenne en phosphore total dissous dans le milieu. Pour leur part, Downing *et al.* (1990) ont repris des données bibliographiques concernant la production biologique de lacs de différentes zones géographiques et de divers niveaux trophiques. Ils montrent que la production biologique des communautés de poissons concernées est relativement mieux corrélée avec la production primaire (en g de Carbone/cm<sup>2</sup>/an) qu'avec la concentration en phosphore total ou l'indice morphoédaphique.

Par rapport à d'autres plans d'eau, les étangs de pisciculture constituent des milieux particuliers du fait surtout de leurs modes de gestion et d'exploitation.

#### Les modes de gestion et d'exploitation des étangs de pisciculture

Le stock de poissons est récupéré en totalité lors de la vidange, et est égal, dans ces conditions, à la biomasse. En conséquence, les méthodes mises au point pour estimer les productions ou rendements par pêche aux engins ne s'appliquent pas sur de tels sites. Dans les étangs, ce stock de poissons est optimisé (association d'espèces, gamme de tailles et d'âges) en fonction de la morphologie et des potentialités du site, et de la durée du cycle de production (1 an le plus souvent). Le peuplement de poisson est peu variable d'un étang piscicole à l'autre : carpe (*Cyprinus carpio*), tanche (*Tinca tinca*), gardon (*Rutilus rutilus*) et rotengle (*Scardinius erythrophthalmus*) avec brochet (*Esox lucius*), plus rarement sandre (*Stizostedion lucioperca*) ou perche (*Perca fluviatilis*), comme carnivores d'accompagnement.

Leur forte anthropisation (vidange tous les un ou deux ans, entretien des bords, assec, éventuellement chaulage) limite le développement des macro-organismes aquatiques végétaux et animaux (benthos), et ne permet pas d'appliquer la formule de Léger-Huet, dans laquelle la production piscicole est fonction directe de la densité d'herbiers.

Leurs dimensions sont restreintes : la gamme des profondeurs maximales va de 1,5 à 5 mètres, et la surface moyenne des étangs de pisciculture en France est de 3-4 ha.

L'optimisation des apports de fertilisants (à base de N et P), à la fois en quantité et dans le temps, permet leur utilisation rapide par la chaîne trophique. L'intensité du flux de matière et d'énergie qui y circule est à l'origine des faibles teneurs instantanées mesurées pour l'azote et le phosphore dissous, inférieures aux concentrations optimales conseillées (Barbe *et al.*, 1991).

#### Les conséquences de ces particularités

Les formules basées sur des teneurs en éléments dissous comme la formule de l'indice morphoédaphique de Ryder *et al.* (1974) utilisant les solides totaux dissous (TDS : total dissolved solids, résidu sec obtenu après évaporation), ou la formule proposée par Hanson et Leggett (1982) basée sur le phosphore total, ne peuvent pas s'appliquer ici. En effet, dans le cas de l'indice morphoédaphique, les teneurs en solides totaux dissous

peuvent être extrêmement variables d'un site à l'autre, mais aussi pour un même site, selon l'agitation de l'eau, l'activité des poissons sur le fond, la présence de macrophytes, les apports d'engrais et d'amendements effectués, etc. D'autre part, seule une fraction des phosphates totaux mesurés est assimilable par le phytoplancton.

L'application de la méthode de Hanson et Leggett (1982) aux 49 séries de données recueillies sur les étangs de pisciculture, montre que la corrélation entre la production piscicole (kg/ha) et la concentration moyenne annuelle en phosphore total dissous ( $\mu\text{g/l}$ ) est faible ( $R=0,48$ ). Pour une même concentration en P total dissous, on peut obtenir des productions qui peuvent différer d'un facteur 8 à 10 suivant les sites.

De la même manière, l'application de la méthode de calcul d'après Oglesby (1977a ; figure 2) indique une corrélation peu élevée ( $R=0,61$ ) entre la production piscicole (kg/ha) et la concentration en chlorophylle *a* (maximum de printemps, avril-mai) exprimée en  $\text{mg/m}^3$ . À partir d'une même concentration en chlorophylle *a*, les variations de production peuvent être très fortes d'un étang à l'autre, bien que plus faibles qu'à partir du phosphore total.

En conclusion, une relation statistique établie par régression à partir de ces différents facteurs n'est pas utilisable pour déterminer à l'avance une production piscicole.

### ■ Application d'une nouvelle analyse et résultats

Compte tenu de ces contraintes, la méthode proposée ici est fondée sur le phytoplancton et combine des données qualitatives et des données quantitatives : d'une part les peuplements phytoplanctoniques présents, et d'autre part, la concentration en chlorophylle *a* donnant une indication sur la densité de ces peuplements. Nous utiliserons par la suite la concentration moyenne estivale en chlorophylle *a* (période avril-septembre).

Cinq groupes de phytoplancton, selon l'analyse de Wurtz (1958), ont été retenus. Ces associations phytoplanctoniques sont considérées comme représentatives à la fois de niveaux croissants de minéralisation et d'eutrophisation (effet « bottom-up »), et de la prédation qu'elles subissent de la part du zooplancton brouteur-filtreur (effet « top-down »).

Ces groupes d'algues sont identiques à ceux utilisés pour la méthode de diagnose rapide des plans d'eau (« indice trophique planctonique », Barbe *et al.*, 1990) :

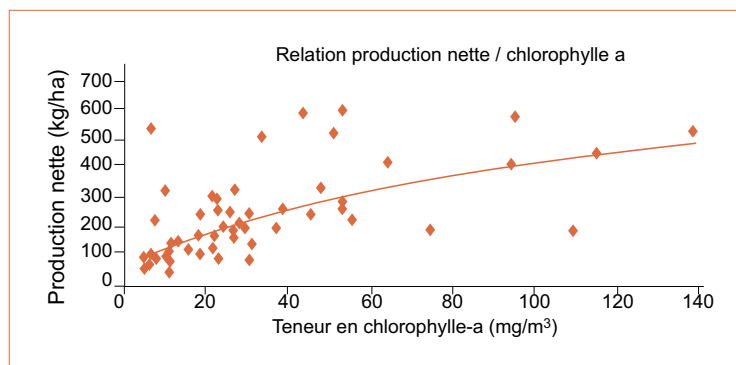
– groupe I : Desmidiées et Diatomées, dans les étangs oligotrophes dont l'eau est très peu minéralisée, et plus ou moins acide ;

– groupe II : Dinophycées (Péridiniens) et Chrysophycées, si l'étang a un peu de vase mais reste pauvre en matières minérales dissoutes, avec présence de matières organiques en suspension ;

– groupe III : Chlorococcales et Volvocales, lorsqu'une fertilisation minérale prédomine par rapport aux apports organiques ; ces plans d'eau eutrophes ont régulièrement des teneurs faibles en oxygène dissous en profondeur pendant la saison chaude ;

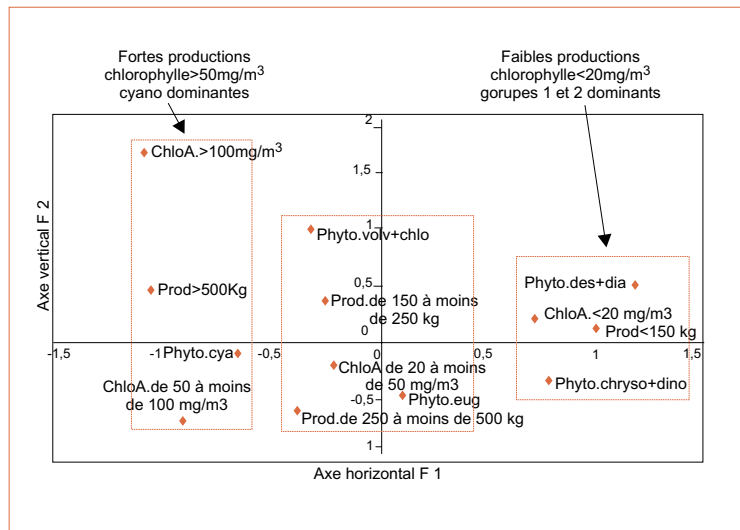
– groupe IV : lorsque la fertilisation organique est intense (fortes teneurs en MES organiques), le peuplement dominant est constitué d'Euglénophycées, hétérotrophes facultatifs capables de consommer des particules de matière organique en suspension ;

– groupe V : si la fertilisation minérale est déséquilibrée (azote devenant facteur limitant par rapport au phosphore, rapport  $\text{PO}_4/\text{N} > 1/4$ ), il y a prédominance de Cyanobactéries capables d'utiliser l'azote sous forme gazeuse dissoute dans l'eau. Ces proliférations s'observent également en cas de relargage (désorption) de phosphore par le sédiment, consécutif à une sous-saturation en oxygène près du fond (teneurs inférieures à  $1,5 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ).



▲ Figure 2. – Formule d'Oglesby (1977 a) appliquée à la production piscicole nette annuelle et la concentration en chlorophylle *a* dans les étangs étudiés (Cemagref, 1986 à 1991).





▲ Figure 3. – Axes 1 et 2 de l'analyse en composantes multiples (ACM) présentant les relations entre les teneurs en chlorophylle *a* ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) et la production piscicole nette ( $\text{kg}/\text{hectare}$ ) des étangs.

D'une manière générale, un développement de Cyanobactéries, même s'il permet souvent une production élevée, représente une situation de déséquilibre où les toxines et l'anoxie constituent un risque potentiel permanent de mortalité pour le stock de poissons.

Parallèlement à ces différents groupes de phytoplancton, et à partir des mesures effectuées sur le terrain (prélèvements dans la colonne d'eau sur 6 à 10 points), quatre classes de valeurs ont été retenues pour les concentrations moyennes estivales en chlorophylle *a*. Ces quatre classes se situent dans les catégories des plans d'eau oligotrophes à eutrophes définies par l'OCDE (1982) en raison de la vocation productive qu'ont par nature ces étangs :

- moins de 20  $\mu\text{g}/\text{l}$  ;
- de 20 à 50  $\mu\text{g}/\text{l}$  ;
- de 50 à 100  $\mu\text{g}/\text{l}$  ;
- plus de 100  $\mu\text{g}/\text{l}$ .

À partir des groupes de phytoplancton et des classes de concentration en chlorophylle *a* (base de données présentée au tableau 1), les données ont été codées par classes pour une analyse en composantes multiples (ACM). La figure 3 représente le plan 1-2 de l'ACM. Le pourcentage d'informa-

tion restituée par l'analyse est de 50 %. L'axe horizontal F1 permet de séparer les étangs suivant le groupe phytoplanctonique, la quantité de chlorophylle *a* et la production piscicole nette.

Les groupes I (Diatomées + Desmidiées) et II (Chrysophycées + Dinophycées) du phytoplancton ont des contributions relatives (CTR) respectivement de 28 et 32 %. Ils sont corrélés à la fois aux faibles teneurs en chlorophylle *a* et aux productions piscicoles inférieures à 150  $\text{kg}/\text{ha}$  (CTR : 86 %). En position opposée, le groupe V (Cyanobactéries) est lié aux productions piscicoles supérieures à 500  $\text{kg}/\text{ha}$ , et aux teneurs en chlorophylle *a* dépassant 50  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Les groupes III (Volvocales et Chlorococcales) et IV (Euglénophycées) sont en situation intermédiaire sur les axes, avec des productions piscicoles moyennes à faibles. L'étude des axes 2 et 3 permet de préciser leurs relations (figure 4 : axes 1-3 de l'ACM).

Sur l'axe 3, les Cyanobactéries (groupe IV) sont corrélées avec les teneurs en chlorophylle comprises entre 50 et 100  $\text{mg}/\text{m}^3$ . Le groupe III (Volvocales et Chlorococcales) est corrélé avec des teneurs en chlorophylle comprises entre 20 et 50  $\text{mg}/\text{m}^3$  et des productions piscicoles nettes de 250 à 500  $\text{kg}/\text{ha}$ . Sur l'axe 2, ce même groupe est opposé aux productions comprises entre 250 et 500  $\text{kg}/\text{ha}$ .

Dans le plan 2-3, les groupes de phytoplancton III et IV s'opposent par leurs productions respectives : 150 à 250  $\text{kg}/\text{ha}$  pour Volvocales et Chlorococcales (CTR : 56 % sur l'axe 2) contre 250 à 500  $\text{kg}/\text{ha}$  pour les Euglénophycées (CTR : 23 % sur l'axe 2). Ces deux groupes sont en situation opposée aux plus fortes productions et aux Cyanobactéries (CTR : 26 % sur l'axe 3).

Sur la base de ces informations, une grille de classification de la productivité potentielle des étangs peut être établie (figure 5). Cette analyse précise et conforte les observations de terrain faites par Barbe *et al.* (1991) et Schlumberger (1993), qui proposent d'utiliser les groupes de phytoplancton en combinaison avec les teneurs en chlorophylle pour prévoir la production piscicole potentielle d'un étang de pisciculture.

La grille de classification proposée a été validée ensuite sur huit étangs de pisciculture différents de ceux utilisés pour sa mise au point, situés dans d'autres zones géographiques, et présentant une large gamme de niveaux de productivité (tableau 2).

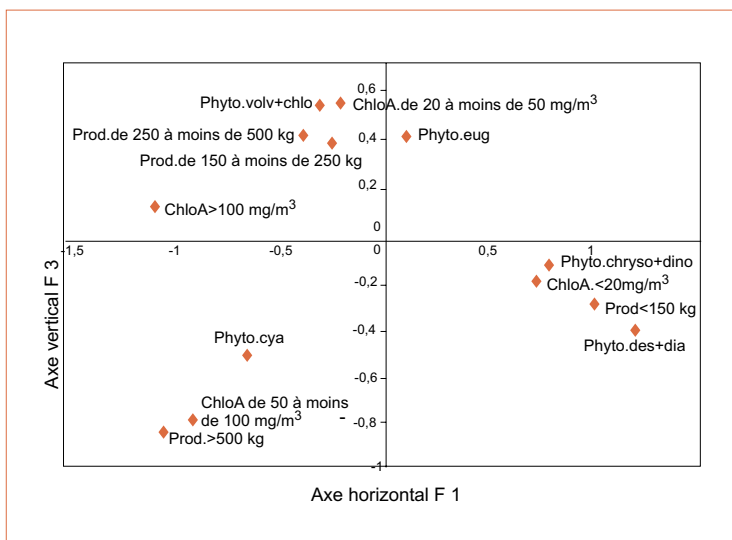
Les niveaux de production estimés ont été établis également pour les étangs de la base de données d'origine.

Bien qu'une part de connaissance du terrain reste nécessaire, la gamme des niveaux de production prévus est relativement plus étroite que celle obtenue à partir d'autres critères (chlorophylle *a*, phosphore dissous).

### Mise en œuvre et limites de la méthode

Les prélèvements peuvent se faire en un seul point de l'étang, depuis la digue, à la hauteur du dispositif de vidange, sans influence sur la qualité du résultat. La fréquence des campagnes de mesures peut être réduite, mais il est nécessaire que les échantillons soient collectés lors des maximums de prolifération du phytoplancton, lors du réchauffement de l'eau (avril-mai) et en fin d'été (août-septembre).

Si l'usage d'un spectrophotomètre est nécessaire pour la mesure de chlorophylle *a* après filtration et extraction à l'acétone (AFNOR, 1984), l'identification des groupes de phytoplancton ne pose pas



▲ Figure 4. – Relations entre les teneurs en chlorophylle *a* (mg/m<sup>3</sup>) et la production piscicole nette (kg/hectare) des étangs suivant les axes 1 et 3.

▼ Figure 5. – Grille permettant de déterminer la production piscicole potentielle d'étangs (kg/ha/saison) à partir du groupe de phytoplancton dominant et de la concentration moyenne en chlorophylle *a* (mg/m<sup>3</sup>) pendant la saison de croissance.

Teneur en chlorophylle-a (mg/m <sup>3</sup> )	Groupe I : diatomées et desmidiées	Groupe II : chrysophycées et dinophycées	Groupe III : volvocales et chlorococcales	Groupe IV : euglénophycées	Groupe V : cyanobactéries
> 20 mg/m <sup>3</sup>					
20-50 mg/m <sup>3</sup>					
50-100 mg/m <sup>3</sup>					
> 100 mg/m <sup>3</sup>					

Légende

<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black; background-color:white;"></span> < 150 kg/ha	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black; background-color:lightorange;"></span> 150 - 250 kg/ha	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black; background-color:orange;"></span> 250 - 500 kg/ha	<span style="display:inline-block; width:15px; height:15px; border:1px solid black; background-color:darkorange;"></span> > 500 kg/ha
--	--	---	---

SITES	Surface (ha)	PO <sub>4</sub> dissous (mg/l)	Chl. <i>a</i> (mg/m <sup>3</sup> )	Phytoplancton (groupes dominants)	Production nette	
					prévue	effective
LORRAINE EW5 *	11	0,03	110	Chloroph., Cyanobactéries	> 500	225
ALLIER La Vilaine	4,5	1	25	Dinoph., Cyanobactéries	env. 250	265
Les Bruyères	3,5	0,3	100	Chlorophycées	500	450
Les Iles	4,5	0,7	28	Chloroph., Eugléno., Dinoph.	< 250	220
DORDOGNE Ménissoux	0,6	0,2	11	Chloroph., Cyanobactéries	env. 150	130
La Duché	1,5	0,1	11	Chloroph., Cyanobactéries	env. 150	150
La Dame *	0,8	0,1	11	Diatom., Chloroph., Dinoph.	< 100	50
4 Chemins	0,7	0,03	115	Chloroph., Dinophycées	env. 500	500

▲ Tableau 2. – Application de la méthode proposée ; exemples sur huit étangs ; seul le phosphore sous forme orthophosphates est dosé.

Remarques concernant les étangs notés\* EW5 : l'étang est entouré par une ceinture de macrophytes importante, la transparence au disque de Secchi est toujours élevée ; La Dame : la trop forte densité initiale de brochetons a décimé les gardons et les tanches, d'où une production globale inférieure à ce qui était escompté.

de difficultés particulières, puisqu'on évite dans une large mesure les difficultés de la taxonomie.

La méthode présentée ici permet, à partir du phytoplancton (groupe prédominant et concentration en chlorophylle *a* dans le milieu) de définir une gamme de valeurs pour la production piscicole nette potentielle d'un site donné. Rappelons qu'elle a été établie à partir d'étangs avec polyculture classique : *C. carpio*, *R. rutilus* ou *erythroptalmus*, *T. tinca*, avec généralement *E. lucius* comme carnivore, qui constitue 5 à 10 % de la biomasse. Une fertilisation organique et/ou minérale plus ou moins intense est pratiquée, mais il n'y a pas de nourrissage direct du poisson.

Le stock de poisson introduit, en quantités (et qualité), espèces, classes d'âge et proportions relatives, doit tenir compte des potentialités de l'étang, et a un rôle important dans la conformité du résultat pratique avec la prévision faite. L'expérience montre qu'en absence de carnivore, la production des Cyprinidés augmente de 20 à 30 % dans la mesure où les ressources alimentaires (zooplancton, macroinvertébrés) ne sont pas limitantes (Schlumberger *et al.*, 1999). Il est évident que des mortalités anormales se répercuteront sur le résultat final.

Les évaluations de production sur un étang seront d'autant plus sous-estimées que le développement des macrophytes y est notable (plus de 10 % de la surface en eau), cas par exemple de l'étang EW5 (tableau 2). En effet, sur les étangs riches en macrophytes, les apports d'azote et de phosphore bénéficient essentiellement aux végétaux supérieurs, restreignant le développement du phytoplancton ; un rapport C/N dissous élevé, grâce aux débris végétaux, favorise le développement bactérien, à partir duquel se développe un peuplement peu dense de zooplancton. Sur de tels plans d'eau, ce sont les macroinvertébrés du benthos et surtout ceux présents dans la végétation submergée (organismes phytophiles), dont la productivité est plus faible que celle du zooplancton, qui assurent l'essentiel des ressources alimentaires des poissons. La chaîne trophique « classique » basée sur le phytoplancton et aboutissant au poisson prend alors une importance relative d'autant plus limitée que la part de la surface de l'étang occupée par les macrophytes aquatiques est forte. Cette méthode d'estimation de la production piscicole n'est applicable que sur des étangs où sont élevées des espèces européennes de Cyprinidés à des densités compatibles avec les ressources trophiques du milieu. Le savoir-faire du gestionnaire de

l'étang joue un rôle important. Un stock de poissons trop élevé peut induire par effet « top-down » la disparition de grandes formes du zooplancton (Cladocères filtreurs à large spectre de proies) qui se répercutera sur le peuplement algal (augmentation de la biomasse algale et de la turbidité). Inversement, une réduction du stock de poissons zooplanctonophages permet aux Cladocères de grande taille d'exercer une forte pression de broutage sur le phytoplancton de petite dimension, aboutissant à une plus grande transparence de l'eau.

Dans le cas d'élevage de poissons filtreurs détritivores (par exemple Tilapias en régions tropicales) des informations intéressantes pourraient être obtenues en appliquant aux teneurs en MES dans les étangs une méthode similaire à celle proposée ici.

### Conclusion

Les diverses méthodes existantes d'estimation de la production piscicole en plan d'eau ne sont pas applicables aux étangs de pisciculture, milieux fortement anthropisés. L'emploi de données quantitatives (concentration en chlorophylle *a*) et qualitatives (groupes d'algues principaux présents) à partir du phytoplancton permet par contre une prévision de cette production avec une précision suffisante pour le gestionnaire sur une large gamme d'étangs (dimensions, productivité). Cela confirme le rôle des groupes algaux en qualité et densité comme indicateurs du niveau trophique de milieux aquatiques aussi anthropisés que les étangs de pisciculture à production cyprinicole.



Photo O. Schlumberger

Pêche dans un étang de pisciculture en Dombes

### Les étangs et l'environnement

Les étangs jouent des rôles multiples :

*X tampon hydraulique* : écrêtage des crues, rétention de l'eau dans le bassin versant. En période de sécheresse, un arrêté préfectoral peut interdire les vidanges d'étangs en fin d'automne.

*X décanteur, épurateur* : l'eau entrant dans un étang (par ruissellement direct ou cours d'eau) y introduit des matières en suspension (organiques et minérales) et des sels minéraux dissous. L'azote et le phosphore, avec les produits de dégradation de la matière organique présente, vont faciliter le développement du plancton végétal (producteur primaire) qui est consommé directement ou non par du zooplankton, lui-même proie des poissons. Une étude effectuée sur une série d'étangs en Allemagne a établi que 1 ha d'étang mobilise dans le sédiment ou exporte sous forme de poissons plus d'azote et de phosphore qu'il n'en reçoit (Symposium CECPI/FAO, 1998 au Portugal). Lors des vidanges annuelles, les effluents plus ou moins chargés en matières en suspension sont des motifs de friction avec les représentants des pêcheurs. La bonne volonté et le bon sens de part et d'autre, ainsi que la mise en œuvre de précautions simples devraient pouvoir concilier facilement les intérêts des différentes parties.

*X élément du paysage* : une carte de France montre que de nombreuses régions possèdent des étangs gérés pour la pisciculture : Dombes (11 500 ha), Sologne et Brenne (environ 11 000 ha chacune), Lorraine (environ 7 000 ha), Limousin (environ 5 000 ha) Bourgogne (environ 4 000 ha)... pour ne citer que les plus importantes, et sans compter les autres plans d'eau. Cela se traduit par la présence de nombreux milieux humides plus ou moins entretenus avec roselières, sites d'observation de la faune et de la flore...

Pour en savoir plus :

– « Vers une gestion globale des étangs piscicoles », série d'articles dans *Zones Humides Infos*, n° 21, 1998.

– Le numéro spécial « Étangs » du *Courrier de la Nature*, n° 164, 1997. Diffusion : Société Nationale de Protection de la Nature SNPN, 9 rue Cels, 75014 Paris.

### Résumé

Pour faciliter l'organisation des étangs de pisciculture gérés sans apport de nourriture, il est nécessaire d'avoir un moyen pour estimer en cours de saison si l'objectif de production sera atteint, et, éventuellement, intervenir sur la qualité trophique du milieu. Les méthodes d'estimation et de prévision mentionnées dans la littérature ne sont pas applicables aux étangs de pisciculture, milieux fortement anthropisés. À partir de données (physico-chimie, plancton, production piscicole) collectées sur 36 étangs en France, les auteurs proposent une méthode de prévision de la récolte piscicole à partir du phytoplancton (groupe prédominant et teneur en chlorophylle *a*). À l'usage, cette méthode s'est avérée satisfaisante pour prévoir des productions nettes jusqu'à plus de 500 kg/hectare.

### Abstract

Information about the potential production level of a fertilized fishpond are indispensable for its rational management. For fisheries, various methods are existing to correlate fish-biomass and -yield of lakes to their morphometry, physico-chemical and biological parameters. Such methods proved to be inappropriate for the fertilized fish-ponds studied by the authors in France (36 different locations). This can be explained by the peculiarities of such water bodies : strong anthropication, low diversity of the stocked (cultivated) fish species, optimized fertilization.

From the data collected by the authors, statistical treatment evidenced links between phytoplankton types, chlorophyll densities and fish production levels. Combining both five typical groups of phytoplankton and five different concentrations of chlorophyll *a* arranged into a grid, it is possible to determine the potential fish production of the ponds (up to over 500 kg/ha).

### Bibliographie

- AFNOR, 1984, *Dosage de la chlorophylle  $a$  et des phéopigments par spectrométrie d'absorption moléculaire*, Norme T90-117, 7 p.
- AVNIMELECH, Y., KOCHVA, M., DIAG, S., 1994. Development of controlled intensive aquaculture systems with a limited water exchange and adjusted carbon to nitrogen ratio. *Bamidgeh*, 46 (3), p. 119-131.
- BALVAY, G., 1995, Ressources et comportements alimentaires des poissons, In *Limnologie générale*, Pourriot R. et Meybeck M. Eds., Masson, Paris, p. 588-607.
- BARBE, J., LAVERGNE, E., ROFES, G., LASCOMBE, M., RIVAS, J., BORNARD, C., De BENEDETIS, J., 1990. Diagnose rapide des plans d'eau. *Informations techniques du Cemagref*, n° 79, note 2, p. 1-8.
- BARBE, J., CAMUS, J.-C., SCHLUMBERGER, O., 1991. Facteurs de production piscicole en étang et gestion. *Écho-système*, 20, p. 3-25.
- BARBE, J., SCHLUMBERGER, O., BOURETZ, N., 1999. Utilisation du phytoplancton pour estimer la production piscicole potentielle des étangs. *Revue de pêche et de pisciculture*.
- BÉRARD, A., 1993, *Effets d'une fertilisation riche en matières organiques azotées sur les relations trophiques (bactéries, phytoplancton, zooplancton) dans un étang de pisciculture*, Thèse. Mus. Nat. Hist. Nat., Paris. 215 p.
- BILLARD, R., MARIE, D., 1980, La qualité des eaux de l'étang de pisciculture et son contrôle, In *La pisciculture en étang*, Billard R. Ed., INRA Publ., Paris, p. 107-127.
- BIRO, P., VOROS, L., 1990. Trophic relationships between primary producers and fishyields in lake Balaton. *Hydrobiologia*, 191, p. 213-221.
- BOYD, C.E., 1982, *Water quality management for pondfish culture*, Elsevier Scientific Publishing Company, 318 p.
- CARA et CEMAGREF, 1992, *Programme expérimental et de démonstration de pisciculture d'étang dans la Double (Dordogne)*, Rapport 1988-1991. Compagnie d'Aménagement Rural d'Aquitaine, Bordeaux ; Cemagref, division Aquaculture et Pêche, Montpellier, 70 p.
- CEMAGREF, 1986, *Développement des productions aquacoles en Petite Woëvre*, Cemagref, division Qualité des Eaux, Lyon, 140 p.
- CEMAGREF, 1988a, *Étude de caractérisation des étangs de pisciculture du Forez : analyse des facteurs de production ; application à la gestion piscicole des étangs*, Campagne 1987, Cemagref, division Qualité des Eaux, Lyon, 123 p.
- CEMAGREF, 1988b, *Rôle des facteurs du milieu sur l'état sanitaire et la croissance des jeunes carpes en étang (Jointe et Devant)*, Cemagref, division Aquaculture et Pêche, Lyon, 52 p.
- CEMAGREF, 1989, *Rôle des facteurs du milieu sur l'état sanitaire et la croissance des poissons élevés en étang*, Cemagref, division Aquaculture et Pêche, Lyon, 46 p.
- CEMAGREF, 1990a, *Développement des productions aquacoles en Petite Woëvre, Étude de milieu 1985-1987*, Cemagref, division Aquaculture et Pêche, Lyon, 62 p.
- CEMAGREF, 1990b, *Étude de la caractérisation des étangs de pisciculture de la Bresse jurassienne*, Cemagref, division Aquaculture et Pêche, Lyon, 95 p. + annexes.
- CEMAGREF, 1991a, *Étude de caractérisation des étangs de pisciculture du Forez, Campagne 1989*, Cemagref, division Biologie des Écosystèmes Aquatiques, Lyon, 59 p.
- CEMAGREF, 1991b, *Étude des possibilités de production des étangs du Bourbonnais (Allier)*, Rapport final, SICA Piscicole de l'Allier ; DDAF de l'Allier ; Cemagref, division Aquaculture et Pêche, Montpellier, 45 p. + annexes.
- DOWNING, J.A., PLANTE, C., LALONDE, S., 1990. Fishproduction correlated with primary productivity, not the morphoedaphic index. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 47, p. 1929-1936.
- GRYGIEREK, E., 1979. Plankton as an ecological indicator of the influence of farming measures on pond biocenosis. *Pol. Ecol Stud.*, 5 (4), p. 77-140.

- HANSON, J.M., LEGGETT, W.C., 1982. Empirical prediction of fish biomass and yield. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 39, p. 257-263.
- HUET, M., 1949. Appréciation de la valeur piscicole des eaux douces. *Trav. Stat. Rech. Eaux et Forêts, Groenendaal. Série D*, 10, 55 p., 41 fig.
- HUET, M., 1964. The evaluation of the fish productivity in freshwater (the coefficient of productivity k). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 15, p. 524-528.
- HUET, M., 1970, *Traité de pisciculture*, Ed. de Wyngaert, Bruxelles, 718 p.
- JONES, J.R., HOYER, M.V., 1982. Sportfish harvest predicted by summer chlorophyll a concentration in Midwestern lakes and reservoirs. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 111, p. 176-179.
- LEACH, J.H., DICKIE, L.M., SHUTER, B.J., BORMAN, V., HYMAN, J., LYSACK, W., 1987. A review of methods for prediction of potential fish production with application to the Great lakes and lake Winnipeg. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 44 (suppl. 2), p. 471-485.
- LAZZARO, X., LACROIX, G., 1995, Impact des poissons sur les communautés aquatiques (p. 648-686), In *Limnologie générale*, Pourriot R. et Meybeck M. Eds., Masson, Paris, p. 648-686.
- MATUSZEK, J.E., 1978. Empirical predictions of fish yields of large North American lakes. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 107, p. 385-394.
- MOREAU, J., DE SILVA, S. 1991, *Predictive fish yield models for lakes and reservoirs of the Philippines, Sri Lanka and Thailand*, FAO Fish. Tech. Paper 319. FAO Rome, 42 p.
- NORTHCOTE, T.H., LARKIN, P.A., 1956. Indices of productivity in British Columbia lakes. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 13, p. 515-540.
- OCDE, 1982. Eutrophisation des eaux. Méthodes de surveillance, d'évaluation et de lutte contre l'eutrophisation. OCDE, Paris, 164 p.
- OGLESBY, R.T., 1977a. Phytoplankton standing crop and annual productivity as functions of phosphorus loading and various physical factors. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34, p. 2255-2270.
- OGLESBY, R.T., 1977b. Relationships of fish yields to lake phytoplankton standing crop, production, and morphoedaphic factors. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34, p. 2271-2279.
- OGLESBY, R.T., 1982. The morphoedaphic index - concept and practices. *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 111 (special section), p. 133-175.
- RAWSON, D.S., 1951. The total mineral content of lake waters. *Ecology*, 32, p. 669-672.
- RAWSON, D.S., 1952. Mean depth and the fish production of large lakes. *Ecology*, 33 (4), p. 513-521.
- RYDER, R.A., KERR, S.R., LOFTUS, K.H., REGIER, H.A., 1974. The morphoedaphic index, a fish yield estimator - review and evaluation. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 31, p. 663-688.
- SCHLUMBERGER, O., 1998, *Mémento de pisciculture d'étang*, Cemagref, Série « Études » Ressources en eau n° 7, (3<sup>e</sup> édition), Cemagref-Dicova, Antony. 166 p.
- SCHLUMBERGER, O., RIGAUD, C., MASSE, J., 1999, *Valorisation des étangs de pisciculture en Dordogne. Bilan des expérimentations 1995-97*, Cemagref/AMVEP-SICA Aquacole d'Aquitaine. Montpellier. 75 p. + annexes.
- WURTZ, A., 1958. Peut-on concevoir la typification des étangs selon les mêmes bases que celle des lacs ?. *Verh. Internat. Ver. Limnol.*, 13, p. 381-393.
- WURTZ-ARLET, J., 1980, La fertilisation des étangs, In *La pisciculture en étang*, Billard R. Ed., INRA Publ., Paris, p. 99-106.