

# ESSAI D'APPLICATION AU LAC ALAOTRA (MADAGASCAR) D'UN MODÈLE D'ÉTUDE DES PÊCHERIES POUR LES PLAINES D'INONDATION INTERTROPICALES

JACQUES MOREAU

*Laboratoire d'Ichtyologie appliquée ENSA, 145 avenue de Muret 31076 Toulouse Cedex-France*

## RÉSUMÉ

*Un modèle pour l'étude de la population piscicole et de la pêche dans les plaines d'inondation africaines (WELCOMME et HAGBORG, 1977) est transposé au lac Alaotra, situé sur les hauts plateaux malgaches. Il confirme certaines observations sur la biologie et la production exploitée des poissons de ce lac et permet de voir que les aménagements rizicoles de la cuvette du lac amèneront à moyen terme une baisse de la production piscicole de ce dernier.*

## ABSTRACT

APPLICATION TRIAL OF A MODEL TO STUDY THE FISHERIES IN TROPICAL FLOODPLAINS : THE ALAOTRA LAKE (MADAGASCAR)

*A model which describes the fish populations and fisheries of african floodplains has been recently developed (WELCOMME & HAGBORG, 1977). In this paper, we try to use this model to describe the Alaotra lake (Madagascar) and its fisheries. According to our field-works, the best results are obtained when studying the practical aspects of fisheries and the actual catch. It is possible to predict that the development of rice-field culture near the lake will induce a decrease of the fish harvest, within a few years.*

## INTRODUCTION

Une étude récente sur la pêche dans les lacs d'altitude de Madagascar (MOREAU, 1979) a concerné un lac de très faible profondeur, le lac Alaotra, caractérisé par d'importantes variations cycliques annuelles de surface. En raison de son régime hydrologique, il est intéressant de se demander si ce lac n'est pas à rapprocher des plaines d'inondation décrites en Afrique inter-tropicale comme le delta central du Niger, au Mali, ou la rivière Kafue, en Zambie. Nos connaissances sur ces milieux ont été résumées par WELCOMME (1975). WELCOMME et HAGBORG (1977) ont proposé un modèle d'étude des peuplements piscicoles et de la production exploitée de ces zones. C'est ce modèle qui a été appliqué au lac Alaotra.

## 1. LE LAC ALOATRA : CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES

Le lac Alaotra est situé au Nord-Est de Tananarive dans la dépression appelée « Cuvette Sihanaka », plus précisément à 17° 28' de latitude Sud et 48° 30' de longitude Est (fig. 1).

La surface libre du plan d'eau couvre 220 km<sup>2</sup> auxquels il faut ajouter 350 km<sup>2</sup> de marais dans la partie Sud-Ouest, en période de hautes eaux. Le lac proprement dit mesure 40 km dans la plus grande longueur; sa largeur varie entre 3 et 8 km. Sa cote moyenne est de 751,50 m à l'étiage et de 753,50 m en hautes eaux (fig. 2).

La géographie et les caractères physico-chimiques et biologiques de ce lac ont plusieurs fois été décrits (THEREZIEN, 1963; MOREAU, 1977 et 1979) et il

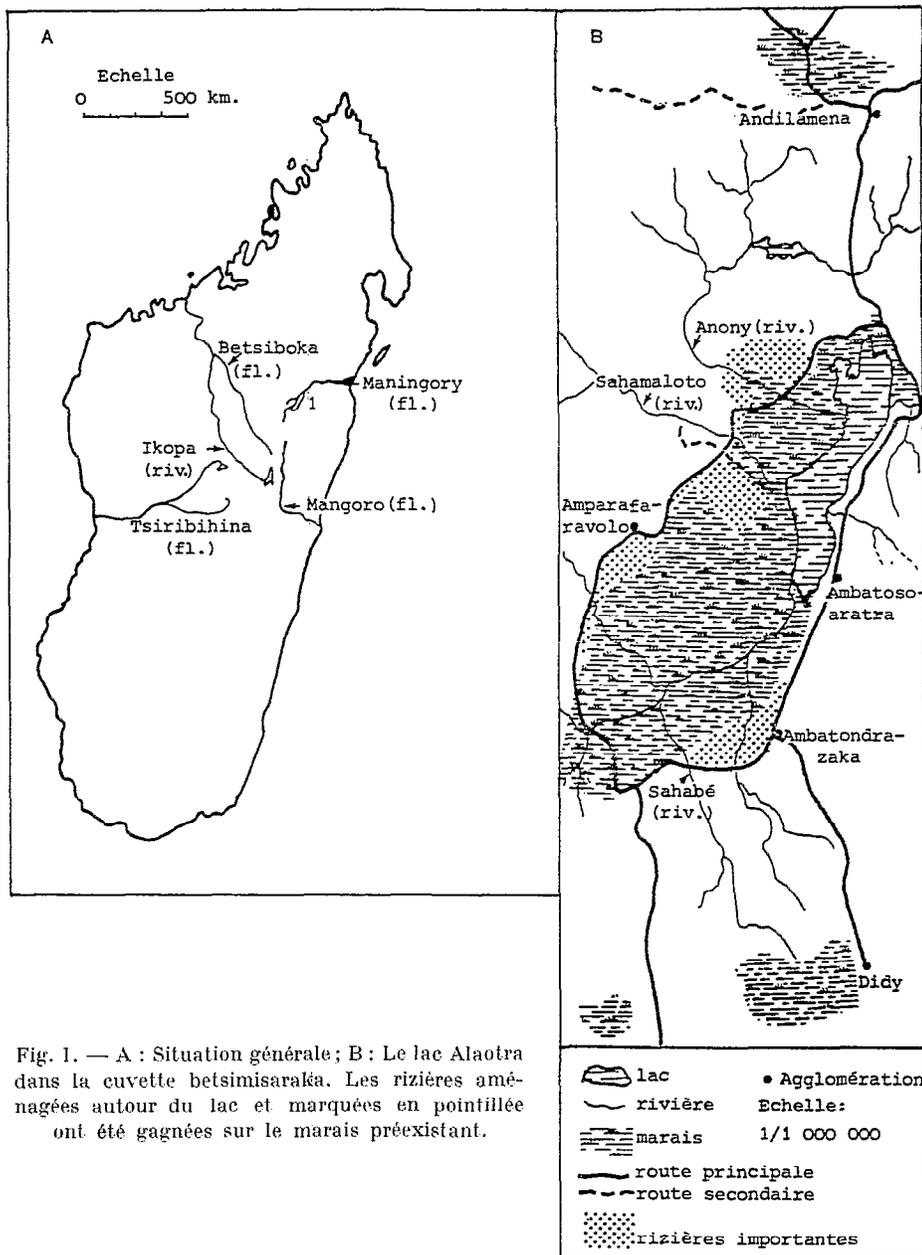


Fig. 1. — A : Situation générale; B : Le lac Alaotra dans la cuvette betsimisaraka. Les rizières aménagées autour du lac et marquées en pointillée ont été gagnées sur le marais préexistant.

convient de n'en rappeler ici que les points essentiels résumés sur les tableaux I et II.

Le lac est situé dans une zone de sols latéritiques très érodés, ce qui confère aux eaux leur couleur brune; elles reçoivent, en effet, des particules de terre arrachées par les pluies d'orages aux falaises voisines mises à nu chaque année par les feux de brousse. Le climat est caractérisé par l'alternance d'une saison sèche et fraîche, de mai à novembre, et d'une saison chaude et humide, de décembre à

avril. Décembre, janvier et février sont les mois les plus pluvieux.

La montée des eaux se déroule du début décembre à la mi-mars et dure 14 semaines environ. La baisse commence dès la fin du mois d'avril et l'étiage est atteint au début octobre, en année de pluviométrie normale. Le fond du lac Alaotra est très plat et la profondeur moyenne du lac est de 1 m en étiage et 2,5 m en crue; la profondeur maximale étant alors de 4 m. Ce fond est essentiellement

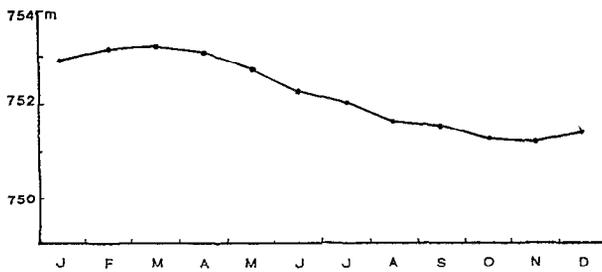


Fig. 2. — Variations cycliques annuelles de la cote du lac.

constitué de vase et de boues et présente des affleurements sableux au Nord et à l'Est.

Les eaux sont très troubles (cf. plus haut), neutres ou légèrement alcalines, peu riches en oxygène en profondeur, assez peu minéralisées mais relativement riches en phosphore (tabl. I). Le phytoplancton est peu diversifié et composé en majorité de Cyanophycées. Le benthos est riche en Nématodes, Turbellariés, Gastrotriches, Tardigrades. Il est pauvre en mollusques (*Bulinus marie* et *Lymnea hovorum*) et en crustacés (*Caridina sp.* et *Hydrotelphusa sp.*). En revanche, les larves d'insectes sont abondantes.

*Cyperus madagascariensis*, *Cyperus imeriniensis* et *Phragmites spp.* constituent l'essentiel de la végétation des marais limitrophes. *Eichornia crassipes* dérive sur le lac en suivant les courants et encombre les chenaux parcourant les marais. *E. crassipes* est en régression depuis 20 ans. Les pêcheurs pensent que ceci est lié à l'introduction de *Tilapia* en 1955. Les crues du lac Alaotra recouvrent, de plus, d'importantes prairies à graminées qui servent alors de pâture à ces Cichlidés herbivores. En période d'étiage, les prairies ainsi exondées sont recherchées par les troupeaux de bovins et sont parfois aménagées en rizières de décrues.

Les poissons présents au lac Alaotra sont :

Les espèces autochtones

- ANGUILLIDÉS : *Anguilla mossambica*.
- Anguilla marmorata* ou anguille marbrée, très rare.
- ATHÉRINIDÉS : *Rheocles alaotrensis*.
- CICHLIDÉS : *Paratilapia pollenii* ou « Marakely ».
- ÉLÉOTRIDÉS : *Eleotris legendrei*.

Les espèces introduites

- CENTRARCHIDÉS : *Micropterus salmoides* (Black-bass) introduit en 1961.
- CICHLIDÉS : *Tilapia rendalli* introduit en 1955.
- Sarotherodon macrochirus* introduit en 1958.
- Sarotherodon niloticus* introduit en 1960.
- Sarotherodon mossambicus* introduit en 1960.

TABLEAU I  
Caractéristiques du lac Alaotra

Paramètres	Valeur
Superficie.....	220 km <sup>2</sup>
Cote moyenne.....	752,5 m
Nature du fond.....	vase meuble, dépôts d'érosion, sable du Nord
<b>Climat</b>	
Ensoleillement.....	Moyen : 6,54h/j
T °C mini-maxi.....	13, 9 - 26, 4
N jours de pluie.....	110
Pluviométrie.....	1 169 mm
<b>Facteurs physiques</b>	
Couleur de l'eau.....	brun-rouge
Profondeur maximale.....	4 m
T °C en surface.....	20,5 à 28
Transparence (m).....	0,25 à 0,70
pH.....	6,8 à 7,3
T.A.C. (meq/l).....	0,45 à 0,70
Résistivité (ohm/cm).....	4 000 à 12 500
Conductivité (µmhos).....	80 à 250
Extrait sec (mg/l).....	140 à 270
<b>Facteurs chimiques (1)</b>	
Oxygène, % saturation : surface..	100
fond.....	minimum 30
M.O. milieu acide (mg/l).....	1,6 à 21,7
alcalin (mg/l).....	0,4 à 1,6
Dureté totale.....	6,8 à 8,2
Cations (mg/l) — P.....	0,30
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> .....	0,20
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	0,70
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> .....	0,01
CO <sub>2</sub> total.....	30,0
Cl <sup>-</sup> .....	2,1
SiO <sub>2</sub> .....	0,5
Anions — Na <sup>+</sup> .....	1,30
K <sup>+</sup> .....	1,90
Ca <sup>++</sup> .....	2,80
Mg <sup>++</sup> .....	1,20
Fer.....	0,35 à 1,50
<b>Facteurs biologiques</b>	
Quantité totale de plancton.....	6 à 25 cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>
Nombre de genres :	
— phytoplancton.	
Cyanophycées.....	3
Chlorophycées.....	10
Desmidiées.....	3
Bacillariophycées.....	7
Euglénophycées.....	2
Chrysophycées.....	1
TOTAL.....	26
— Zooplancton et benthos	
Nombre de genres identifiés.	10
Non identifiés.....	oui

TABLEAU II  
Phytoplancton présent au lac Alaotra

Familles	Genre (éventuellement espèce)	Familles	Genre (éventuellement espèce)
CYANOPHYCÉES	<i>Chroococcus limnetica</i> <i>Microcystis flos aquae</i> +++ <i>Microcystis aeruginosa</i> +++ <i>Microcystis incerta</i> <i>Oscillatorium sp.</i> <i>Phormidium sp.</i>	DESMIDIÉS	<i>Arthrodesmus sp.</i> <i>Closterium sp.</i> <i>Staurastrum</i>
CHLOROPHYCÉES	<i>Ankistrodesmus sp.</i> <i>Botrycoccus braunii</i> +++ <i>Coelastrum reticulatum</i> +++ <i>Mougeotia sp.</i> <i>Pediastrum clathratum</i> <i>Pediastrum duplex</i> ++ <i>Scenedesmus spp.</i> <i>Sphaerocystis sp.</i> <i>Spirogyra sp.</i> <i>Tetrallantos lagerheimi</i>	EUGLENOPHYCÉES	<i>Euglena sp.</i> <i>Phacus sp.</i>
		BACILLARIOPHYCÉES	<i>Diatoma</i> <i>Eunotia sp.</i> <i>Gomphonema sp.</i> <i>Melosira granulata</i> <i>Navicula sp.</i> <i>Pinnularia sp.</i> <i>Surirella sp.</i> <i>Synedra sp.</i>

## Zooplancton et benthos

Familles	Genre (éventuellement espèce)	Familles	Genre (éventuellement espèce)
PROTOZOAIRES	<i>Arcella sp.</i> <i>Centropiscis sp.</i>	CLADOCÈRES	<i>Alona</i> <i>Bsominopsis deitersi</i>
ROTIFÈRES	<i>Anurea</i> <i>Brachionus calyciflorus</i> <i>Brachionus angularis</i> <i>Brachionus falcatus</i> <i>Filinia</i> <i>Hexarthra</i> <i>Keratella</i> <i>Platyas quadricornis</i> <i>Testudinella</i>	COPEPODES	<i>Chidorus</i> <i>Pleuroscus</i> Autres genres
		LARVES D'INSECTES	

N.B. — Les genres ou espèces pour lesquels sont portées deux ou trois croix sont abondants.

CYPRINIDÉS : *Carassius auratus* introduit au début du siècle.

*Cyprinus carpio* introduit en 1926.

CYPRINODONTIDÉS : *Gambusia holbrooki* introduit en 1940.

En 1976, les proportions relatives des différentes espèces dans la production exploitée ont été les suivantes pour l'ensemble de l'année :

Espèce	Proportions en nombre %	Proportions en poids %
<i>S. macrochirus</i> .....	50	48
<i>T. rendalli</i> .....	18	16
<i>S. niloticus</i> .....	7	9
<i>S. mossambicus</i> .....	0,5	0,5
<i>Cyprinus carpio</i> .....	19	20
<i>Micropterus salmoïdes</i> .....	5	6
Espèces autochtones.....	0,5	0,5
TOTAL.....	100	100

En résumé, le lac Alaotra est très peu profond, peu minéralisé, peu oxygéné par temps calme en profondeur. Le phytoplancton est essentiellement constitué de Cyanophycées; il est peu diversifié comme le zooplancton et le benthos. Le lac est bordé par un immense marais et des prairies à graminées immergées une partie de l'année; il est peuplé en majorité de *Tilapia* et *Sarotherodon*.

## 2. APPLICATION DU MODÈLE DE WELCOMME ET HAGBORG (1977)

### 2.1. But du modèle de Welcomme et Hagborg

Les plaines d'inondations évoquées par WELCOMME et HAGBORG sont les zones recouvertes par les rivières et fleuves africains en période de crues; elles font normalement l'objet d'une forte exploitation de la part de l'homme; cependant, vu leur superficie, elles ont été l'objet de peu d'études détaillées. C'est pour combler en partie cette lacune

et faciliter les recherches futures sur ces milieux que les auteurs ont voulu mettre au point un modèle suffisamment général pour être applicable quel que soit le régime hydrologique considéré. Ce modèle a pour but de décrire la façon dont les populations de poissons et leur exploitation par l'homme sont influencées par les différents types de régimes hydrologiques.

Le modèle s'appuie sur les données peu nombreuses qui existent déjà sur les plaines d'inondation africaines et font appel, principalement, à des paramètres biologiques (croissance, recrutement, mortalité...). Les auteurs admettent aussi les hypothèses simplificatrices énoncées ci-dessous, qu'ils souhaitent voir vérifier lors d'études ultérieures de terrain :

— le stock peut être constitué d'une seule ou de plusieurs espèces occupant la totalité de la zone inondée et ayant de préférence des caractéristiques communes ;

— la reproduction et la croissance sont liées à l'importance de la crue ; lors de la montée des eaux, la densité du peuplement est si faible que les interactions entre individus sont négligeables.

— la mortalité est à mettre uniquement sur le compte des compétitions intra- et interspécifiques et la prédation est fonction de la densité.

Le modèle est matérialisé, dans la note de WELCOMME et HAGBORG, par une série de relations mathématiques, de tableaux et d'abaques dont le bien-fondé est vérifié ci-après au sujet des poissons et de la pêche au lac Alaotra.

## 2.2. Caractéristiques hydrologiques du lac

L'accent est mis sur l'importance du rapport entre les superficies recouvertes pendant la crue et pendant l'étiage pour la production piscicole. Ce rapport appelé D.R., compris entre 1,15 et 25 selon les milieux, est de 2,6 au lac Alaotra. La profondeur moyenne (1 m) et la surface (22 000 ha) pendant l'étiage sont celles admises pour les autres plaines d'inondation juste avant le début de la crue. La montée des eaux dure 18 semaines dans les modèles proposés, au lieu de 14 au lac Alaotra ; c'est dire que du point de vue hydrologique ce lac se comporte à peu près comme les milieux africains de même importance.

## 2.3. Paramètres biologiques des populations de poissons

Le lac Alaotra est surtout peuplé de *Tilapia* et *Sarotherodon* (74 % du total pêché) qui servent de référence dans l'étude de WELCOMME et HAGBORG

parce que leur biologie est connue avec assez de précision ; ils constituent une partie importante de la production exploitée et leurs caractéristiques biotiques représentent une moyenne.

### 2.3.1. LE RECRUTEMENT

La taille de recrutement retenue dans le modèle (2 cm) est observée au lac Alaotra : dès cette petite taille, les poissons se trouvent effectivement sur les lieux de pêche et sont donc dans ce qu'on appelle la phase disponible (DAGET et LEGUEN, 1975). Chaque année, l'effectif de ces poissons recrutés représenterait 1,5 % de la fécondité théorique du peuplement ; ce pourcentage paraît un peu faible pour *Sarotherodon* qui assure une protection efficace du jeune, grâce à l'incubation buccale. Le nombre de ces poissons s'écrirait :

$$R = \sum_{i=1}^{i=4} N_i \times 0,0025 L_i^2 \text{ où } i \text{ est le numéro de}$$

la classe d'âge des géniteurs dont la longévité est admise égale à 4 ans,  $N_i$  l'effectif de chaque classe d'âge pendant la période d'activité sexuelle maximale qui correspond au début de la montée des eaux et  $L_i$  la longueur totale moyenne des poissons d'âge  $i$ . Nous n'avons pas la possibilité de vérifier le bien fondé de cette relation mais il est plus habituel d'introduire le cube de la longueur que le carré. De plus, il est difficile à notre sens, de grouper sous une même relation plusieurs espèces de fécondité primaire très diverses.

En revanche, la saison de reproduction est très limitée dans le temps au lac Alaotra comme cela est suggéré pour les eaux africaines ; elle coïncide avec la fin de l'étiage et, au moins chez *T. rendalli*, avec le début de la montée des eaux.

### 2.3.2. LA CROISSANCE

WELCOMME et HAGBORG ont étudié le coefficient instantané de croissance pondérale  $G = \text{Log} \frac{P(t+1)}{P(t)}$

aux différents âges et l'admettent égal, en moyenne, à 3,29 la 1<sup>re</sup> année, et dans l'ordre, à 2,53, 1,27, 0,76, 0,51, les années suivantes. Sauf la première, ces valeurs sont trop élevées pour les poissons étudiés au lac Alaotra où la croissance individuelle est très lente. La relation entre la longueur et le poids des poissons des plaines d'inondation africaines serait  $P = 0,025 L^3$  ; le paramètre  $a = 0,025$  est trop bas pour le lac Alaotra où il serait plutôt de 0,034 ; cela tient aux poissons du lac Alaotra, *Tilapia*, *Sarotherodon* et *C. carpio* pour lesquels le paramètre  $a$  est élevé car ils ont une forme ramassée ; de

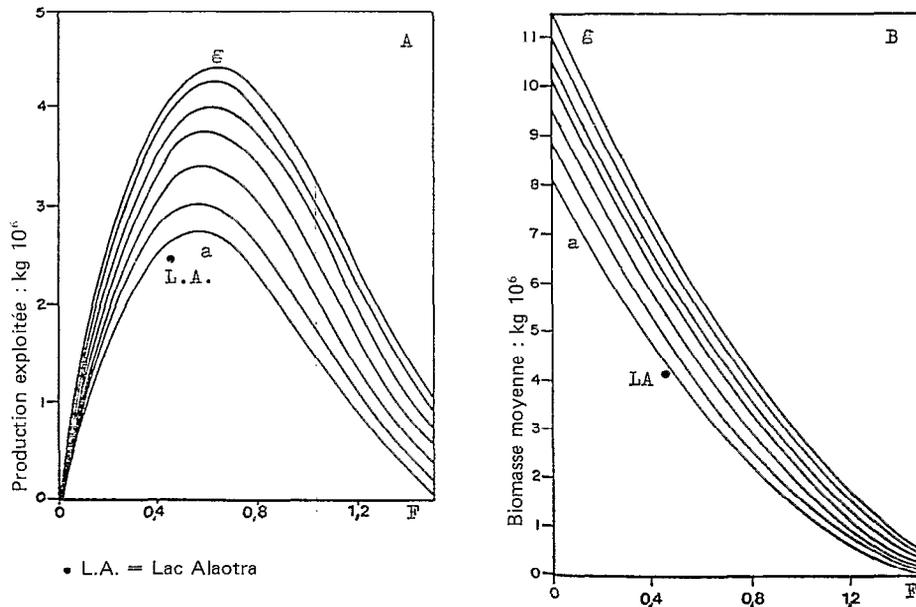


Fig. 3. — Variations de la production exploitée (A) et de la biomasse moyenne (B) en fonction de F dans différents milieux dont la superficie en étiage est constante et égale à 20 000 ha. La superficie en crue est variable : 64 000 à 230 000 ha, (voir tableau 3); ces graphiques sont tirés de WELCOMME et HAGBORG (1977).

nombreux poissons peuplant les eaux africaines sont de forme plus allongée et justifient alors une valeur de  $a$  beaucoup plus faible.

### 2.3.3. LA MORTALITÉ ANNUELLE

Entre 3 et 15 mois, le coefficient instantané de mortalité totale apparente  $Z$  serait de 2,36; ceci confirme les données obtenues dans le lac Alaotra. Au-delà de 15 mois  $Z$  serait de 1,62 puis 0,71, 0,52 et 0,64 si bien qu'entre 3 et 63 mois  $Z$  serait en moyenne de 1,13. Sur l'ensemble de leur vie, les poissons du lac Alaotra connaissent une mortalité comparable mais les variations avec l'âge sont différentes; en effet  $Z$  est minimum pendant la 3<sup>e</sup> année et augmente ensuite pour demeurer constant et proche de 1 au-delà de 3 ans.

### 2.3.4. LA BIOMASSE DE POISSON (tabl. III)

Selon le modèle de WELCOMME et HAGBORG, le lac Alaotra abriterait au plus 21 704 512 poissons âgés de 1 à 5 ans, or nous avons estimé le stock à 4 690 900 poissons; la différence est donc considérable. En revanche, la biomasse de poissons du lac malgache calculée par le modèle proposé serait de 4 200 tonnes, chiffre très proche des 4 000 tonnes auxquelles conduisent nos propres observations. En effet, ces dernières ont concerné les espèces

importantes pour la pêche, évoquées plus haut, pour lesquelles le paramètre  $a$  est élevé. Il existe au lac Alaotra de petites espèces appartenant notamment aux genres *Rheocles* et *Eleotris*, dont la biomasse totale est sans doute négligeable devant celle des espèces très exploitées mais dont les effectifs peuvent être importants. Il faut aussi remarquer que les poissons appartenant aux petites espèces sont certainement beaucoup plus nombreux dans les eaux africaines qu'au lac Alaotra. Ceci permet de comprendre que l'effectif des poissons de ce lac est sans doute moins abondant que prévu dans le modèle mais que nous l'avons sûrement sous-estimé, révélant ainsi, une fois de plus, les difficultés d'étude de ce type de milieu auxquelles WELCOMME et HAGBORG font allusion. Enfin, ces auteurs proposent un tableau permettant de calculer la production biologique de plusieurs types de plaines d'inondation en fonction des superficies maximales en période de crue et minimale pendant l'étiage. Pour le lac Alaotra, le chiffre avancé serait 480 kg/ha à l'étiage. Selon nos propres calculs ce lac ne produirait pas plus de 200 kg/ha, toutes espèces comprises. Cette différence provient de la valeur de  $G$  adoptée dans la relation  $P = G\bar{B}$ .  $G$  est très élevé dans les milieux africains comme dit plus haut. En revanche  $\bar{B}$ , est estimé à 4 500 tonnes pour un milieu comme le lac Alaotra, ce qui est effectivement vérifié.

En résumé, s'il existe quelques différences entre les résultats de nos observations et ceux obtenus à

TABLEAU III a

Effectif et biomasse totale des poissons calculés dans un milieu dont les superficies seraient en étiage 20 000 ha — en crue 64 000 ha, lorsque les poissons ont 1 an, 2 ans, 3 ans (période d'activité sexuelle maximale) d'après WELCOMME et HAGBORG (1977)

Âge	1 an	2 ans	3 ans	4 ans	5 ans	Total
Nombre.....	13 885 788	3 794 495	2 060 117	1 232 754	751 358	21 704 512
Biomasse (tonnes).....	1 000	1 200	1 200	940	680	5 100

TABLEAU III b

Production exploitée calculée par la méthode de WELCOMME et HAGBORG dans différents milieux. Superficie à l'étiage : 20 000 ha

n° du cas étudié	Surface en crue (ha)	DR	Production exploitée totale (tonnes)	Production/ha en crue (kg)	Production/ha étiage (kg)
g	230 000	11,5	4 483	19,5	224,2
f	210 000	10,5	4 298	20,5	214,9
e	190 000	9,5	4 018	21,9	200,9
d	178 000	8,8	3 761	21,1	188,0
c	132 000	6,6	3 416	25,9	178,0
b	93 000	4,6	3 033	32,6	151,6
a	64 000	3,2	2 744	42,9	137,2
	*57 000	2,6	2 600	53,0	130,0

\* Chiffres concernant le lac Alaotra.

l'aide du modèle de WELCOMME et HAGBORG pour l'étude du peuplement du lac Alaotra, ces dernières sont à mettre en relation avec :

— la composition du peuplement du lac Alaotra où les petites espèces à faible coefficient de condition sont peu représentées,

— la croissance lente observée dans le lac malgache,

— la sous-estimation dans notre étude antérieure de l'effectif des espèces non exploitées par l'homme.

## 2.4. La production exploitée

### 2.4.1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DE LA PÊCHE

Les auteurs précités formulent des remarques générales qui sont effectivement transposables au lac Alaotra. L'effort de pêche est très difficile à apprécier avec certitude car les pêcheurs travaillent irrégulièrement avec des engins de plusieurs sortes. Ces derniers capturent des poissons de toutes tailles et de toutes espèces dans tous les types de biotopes rencontrés. Les jeunes nés pendant la fin de l'étiage et le début de la montée des eaux sont capturés lorsqu'ils regagnent le lit mineur à la décrue.

Les senne de plage, uniquement utilisées pendant la fin de la décrue et pendant l'étiage, périodes de hauts rendements, pêchent des individus ayant au

moins 15 cm de longueur totale. Les filets dormants en usage ont des mailles de 3,5 à 5 cm de côté et leur sélectivité est très élevée pour *Tilapia* et *Sarotherodon*. Les pêcheurs ne travaillent pas toute l'année : 40 à 45 semaines seulement sont consacrées à la pêche. Le reste de l'année est occupé par les travaux agricoles (riziculture au lac Alaotra). Au fil des années, la production exploitée, pour un régime hydrologique et un effort de pêche constants, se stabilise à un niveau qui demeure constant à partir de la 5<sup>e</sup> année; il y a surexploitation dès que la mortalité par pêche dépasse  $F = 0,015$  par semaine soit  $F = 0,65$  par an. Au début, ce sont les poissons âgés qui sont les plus touchés, puis si la surexploitation persiste, toutes les classes d'âge sont concernées également.

Chez les jeunes de moins d'un an, la surexploitation surviendrait pour les valeurs de  $F$  supérieures à 1,5; la capture en abondance de tels poissons peut se justifier car de toute façon ils subiraient de lourdes mortalités, surtout pendant l'étiage.

### 2.4.2. ESTIMATION DE LA PRODUCTION EXPLOITÉE

D'après une série d'abaques proposée par WELCOMME et HAGBORG pour un coefficient de mortalité annuelle due à la pêche  $F$  de 0,45 (c'est-à-dire pour  $F$  hebdomadaire de  $0,45/42 = 0,01$ , si l'on

admet que les pêcheurs ne travaillent que 42 semaines par an), la production exploitée serait de 2 400 tonnes.

Pour une valeur de  $F$  légèrement inférieure ( $F = 0,4$ ), la production exploitée du lac Alaotra avait été estimée à 2 200 tonnes, résultat très comparable à celui énoncé ci-dessus.

La production maximale équilibrée obtenue pour  $F$  hebdomadaire de 0,015 soit  $F$  annuel de  $0,015 \times 42 = 0,63$  serait de 2 650 tonnes. Pour des valeurs de  $F$  plus élevées, la production exploitée baisserait et l'on atteindrait très vite la surexploitation dont le lac Alaotra a d'ailleurs souffert autrefois (fig. 3).

Un tableau chiffré précise ces renseignements et montre que pour  $F = 0,015$  par semaine c'est-à-dire  $F = 0,63$  pour l'année, la production exploitée serait de 2 744 tonnes pour  $DR = 3,20$ ; or, au lac Alaotra,  $DR$  est de 2,6. La production exploitée de ce lac serait donc de 2 600 tonnes environ, valeur très proche de la production maximale évoquée plus haut (tabl. III).

WELCOMME et HAGBORG proposent un modèle d'étude détaillé pour estimer le tonnage pêché à la senne, au filet maillant et celui prélevé sur les juvéniles. Les surfaces pêchées à la senne au lac Alaotra sont trop faibles pour que ce mode de pêche puisse être analysé par ce modèle. En revanche, le lac est pêché au filet maillant sur environ 12 000 hectares, suffisamment profonds pour permettre ce mode d'exploitation. D'après les abaques proposées,

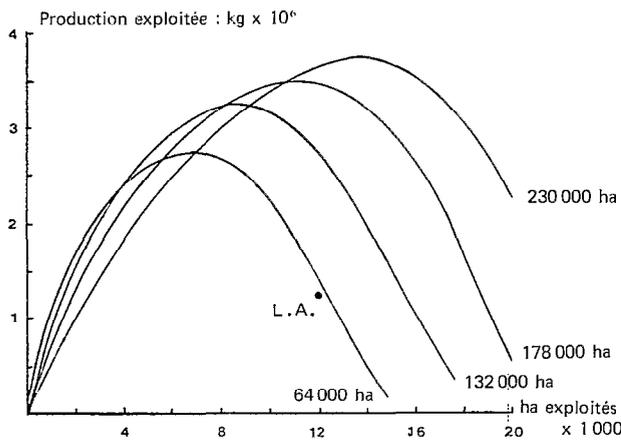


Fig. 4. — Production totale annuelle obtenue avec les filets maillants en fonction de la surface exploitée avec ces derniers dans un milieu dont la superficie à l'étiage est de 20 000 ha. La superficie en crue est celle indiquée pour chaque courbe. L.A. = représentation graphique de l'état des pêches sur le lac Alaotra.

pour un milieu dont  $DR = 2,6$ , la production ainsi calculée serait de 1 200 tonnes (100 kg/an/ha pêché) chiffre tout à fait acceptable, comparé à celui de 1 100 tonnes obtenu à la suite de nos enquêtes (fig. 4).

Au lac Alaotra, chez les poissons de moins d'un an,  $F$  est de 0,1 à 0,2 pour l'année; pour ces valeurs, les abaques de WELCOMME et HAGBORG conduisent à une estimation du tonnage prélevé sur cette classe d'âge de 200 à 400 tonnes, ce qui est également vérifié à la suite de nos travaux.

### 3. ÉLÉMENTS DE DISCUSSION PROPOSÉS PAR WELCOMME ET HAGBORG

Dans la discussion de leur travail, les auteurs insistent une nouvelle fois sur le rôle joué dans la production piscicole par les différences entre les superficies recouvertes en crue et en étiage. Dans un même milieu, d'une année à l'autre, ces deux paramètres peuvent varier indépendamment l'un de l'autre et c'est en fait le rapport entre les deux c'est-à-dire  $DR$  qui est déterminant.

La production exploitée rapportée à l'hectare pendant la crue serait donnée par la relation  $P/ha = 112,47 (1/DR)^{0,8087}$ . Au lac Alaotra,  $DR$  est de 2,6 c'est-à-dire que  $P/ha = 52,93$  kg. La production totale s'élèverait alors à  $52,93 \times 57 000 (1) = 3 015$  tonnes, résultat plus élevé que le nôtre mais la différence peut s'expliquer. En effet, il faut tenir compte de la durée respective de la crue et de l'étiage. Plus la crue sera longue, plus la production piscicole sera élevée. Or, la crue du lac Alaotra dure un peu moins longtemps que ne le prévoit le modèle proposé. Aux dires mêmes de ses auteurs, ce dernier devrait faire intervenir les facteurs abiotiques (conductivité, température), biologiques (disponibilités alimentaires, production primaire) et même sociologiques et humains (utilisation des zones exondées par l'homme pendant la saison sèche). En outre, le modèle ne tient pas compte des possibilités de variation saisonnière ou interannuelle de l'effort de pêche. Enfin les plaines d'inondation offrent des possibilités piscicoles non négligeables mais sont menacées par des projets d'interventions humaines destinées à régulariser le régime hydrologique c'est-à-dire, pour l'essentiel, à diminuer la surface inondée pendant la crue ce qui amènerait une chute rapide de la production exploitée. Cette dernière peut cependant être préservée si l'étiage n'est pas trop marqué.

(1) Superficie du lac en crue exprimée en ha (22 000 ha pour le lac lui-même et 35 000 ha de plaines inondées).

Plus généralement, une même production maximale équilibrée peut être obtenue avec diverses valeurs de DR (fig. 5) et si l'on doit modifier l'un des termes de ce rapport l'autre devra être modifié en sens inverse pour que les possibilités piscicoles du milieu soient sauvegardées.

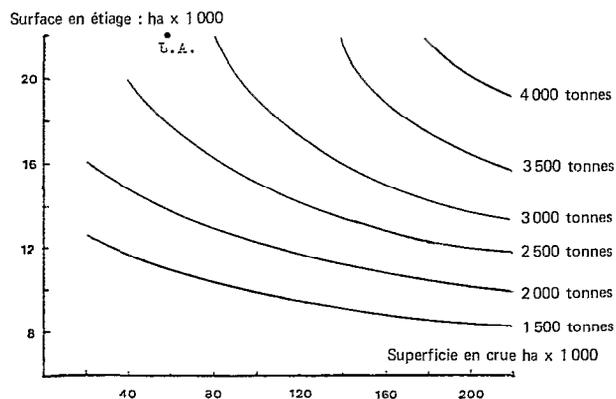


Fig. 5. — Courbes d'égalité de production pour une pêche avec engins multiples (cas du lac Alaotra) pour différentes superficies en crue (abscisse) et en étiage (ordonnée) pour  $F = 0,63$ . L.A. ● = représentation graphique de l'état des pêches au lac Alaotra pour cette valeur de  $F$  qui représente les conditions d'exploitation optimale (MOREAU, 1979).

#### 4. DISCUSSION ET CONCLUSION

Le régime hydrologique du lac Alaotra rappelle nettement celui de certaines plaines d'inondation africaines et, de ce point de vue, le lac Alaotra

peut être étudié par le modèle de WELCOMME et HAGBORG.

C'est au sujet de la biologie des poissons, des structures démographiques et de l'effectif présent dans le milieu que les différences sont les plus sensibles. En revanche, le modèle de WELCOMME et HAGBORG permet une approche satisfaisante de la production exploitée et de la pratique de la pêche. C'est dans ce domaine que le présent essai d'adaptation du modèle proposé par ces auteurs s'avère le plus intéressant. En effet, l'importance des variations de surface entre la crue et l'étiage pour la production exploitée montre que les aménagements de rizières pratiqués depuis 20 ans, au détriment du marais limitrophe du lac, ont vraisemblablement diminué les possibilités piscicoles de ce dernier. En 1960, les marais recouvraient 60 000 ha régulièrement immergés en crue. 35 000 ha seulement subsistent en 1976. Il avait été démontré que le lac Alaotra était victime d'une véritable pollution mécanique liée aux activités humaines sur les bassins versants (MOREAU, 1977 et 1979). A ce problème s'en est ajouté un second, celui de la réduction progressive de la surface des marais limitrophes à la suite de travaux agricoles. Ces derniers sont appelés à être continués dans les années qui viennent et on peut prévoir une diminution concomitante de la production de poisson du lac. Les autorités responsables de l'aménagement de la plaine du lac Alaotra doivent en être informées car elles devront faire un choix : diminuer la production piscicole du lac pour augmenter la production rizicole ou tenter de maintenir un équilibre entre ces deux spéculations.

Manuscrit reçu au Service des Publications de l'O.R.S.T.O.M.  
le 13 novembre 1979.

#### BIBLIOGRAPHIE

- DAGET (J.) et LE GUEN (J. C.), 1975. — Dynamique des populations exploitées de poissons. In LAMOTTE M. et BOURLIERE F., 1975 : Problèmes d'Écologie : la démographie des populations de vertébrés. Éd. Masson, Paris : 395-443.
- MOREAU (J.), 1977. — Le lac Alaotra à Madagascar, Évolution géographique passée et actuelle. *Ann. Limnol.*, 13 (3) : 261-274.
- MOREAU (J.), 1979. — Biologie et évolution des peuplements de Cichlidés (Pisces) introduits dans les lacs malgaches d'altitude. *Thèse Doct. d'État, I.N.P. Toulouse* 38, 345 p.
- THEREZIEU (Y.), 1963. — Étude en vue du développement de la pêche au lac Alaotra *Doc. mult. C.T.F.T. Tananarive*, 134 p.
- WELCOMME (R. L.), 1975. — The fisheries Ecology of african floodplains. *C.I.F.A. Tech. Pap.*, 3, F.A.O., Rome, 51 p.
- WELCOMME (R. L.) et HAGBORG (D.), 1977. — Towards a model of a floodplain fish population and its fishery. *Env. Biol. Fish.*, 2 (1) : 7-24.