

## SESSION IV. BIOLOGIE ET ECOLOGIE

### Une nouvelle méthode de comparaison des performances de croissance des poissons, appliquée aux tilapias sauvages et d'élevage\*

**D. PAULY\***

*International Center for Living Aquatic  
Resources Management (ICLARM)  
MCPO Box 2631, 0718 Makati  
Metro Manila, Philippines*

**J. MOREAU**

*Ecole nationale supérieure agronomique  
de Toulouse  
145, avenue de Muret  
31076 Toulouse, Cedex, France*

**F. GAYANILO, JR.**

*International Center for Living Aquatic  
Resources Management (ICLARM)  
MCPO Box 2631, 0718 Makati  
Metro Manila, Philippines*

PAULY, D., J. MOREAU et F. GAYANILO, JR., 1996. Une nouvelle méthode de comparaison des performances de croissance des poissons, appliquée aux tilapias sauvages et d'élevage, p. 477-485. In R.S.V. Pullin, J. Lazard, M. Legendre, J.B. Amon Kothias et D. Pauly (éds.) *Le Troisième Symposium International sur le Tilapia en Aquaculture*. ICLARM Conf. Proc. 41, 630 p.

### Résumé

Cet exposé présente une nouvelle méthode informatique de projection, par des "grilles auximétriques" (diagramme dont l'ordonnée est  $\log K$  et l'abscisse est  $\log W_{\infty}$ , tous deux paramètres de l'équation de von Bertalanffy), de l'échelle probable de performances de croissance d'un taxon donné dont plusieurs populations ont été étudiées. Cette méthode est appliquée au tilapia sauvage, notamment *Oreochromis niloticus* qui est défini en fonction "l'espace" de croissance qu'il occupe, cet espace étant distinct de celui occupé par d'autres espèces de tilapias et autres poissons.

### Introduction

La croissance des organismes, y compris la croissance des poissons (par exemple, les

tilapias) est un processus par lequel la taille (poids ou longueur) évolue en fonction du temps. Ainsi, toute description ou comparaison de la croissance doit considérer deux dimensions. Cependant, la comparaison des courbes de croissance, qui met en relation la taille et le temps, n'est pas des plus évidentes. En effet, selon ce que chacun entend par croissance "lente" ou "rapide", on peut se heurter

\*ICLARM Contribution no. 864.

\*Autre adresse : Fisheries Centre, University of British Columbia, 2204 Main Mall, Vancouver, B.C. Canada V6T 1Z4 ; e-mail : Pauly@fisheries.com.

à de sérieuses contradictions dès que les courbes de croissance se croisent. Ainsi, Kinne (1960) écrit que "les différences de taux de croissance déterminés pour les jeunes poissons ne persistent pas tout au long de la vie. Les poissons initialement à croissance lente peuvent dépasser des poissons initialement à croissance rapide, et atteindre à la fin une longueur par rapport à l'âge supérieure".

Il est probable que ce type de contradiction et le fait que les aquaculteurs préfèrent en général des expressions de croissance autres que les courbes du type von Bertalanffy (Hopkins, 1992) aient pu s'opposer à la réalisation de comparaisons de croissance intra- et interspécifiques chez les tilapias, et par conséquent, aient pu retarder la sélection d'espèces et/ou souches présentant un potentiel de croissance élevé au sein d'un large éventail d'habitats (Pullin, 1988).

Afin de résoudre ce problème, nous combinons ici les deux mesures de performances de croissance mises au point par Pauly (1979), que l'on désigne à présent  $\phi$  et  $\phi'$  (Munro et Pauly, 1983 ; Pauly et Munro, 1984), et qui ont été largement appliquées aux tilapias (Moreau et coll., 1986 ; Pauly et coll., 1988a, 1988b) en même temps que le concept de grille auximétrique de Pauly (1979, 1980). Ces deux mesures reposent sur la fonction de croissance de von Bertalanffy (Bertalanffy, 1938) ou FCVB, selon laquelle,

$$L_t = L_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)}) \quad \dots 1)$$

pour la longueur, et

$$W_t = W_\infty (1 - e^{-K(t-t_0)})^b \quad \dots 2)$$

pour le poids, où  $L_t$  et  $W_t$  sont les tailles moyennes calculées à l'âge  $t$  ;  $L_\infty$  et  $W_\infty$  les tailles asymptotiques, c'est-à-dire la taille moyenne qu'un poisson d'une population donnée atteindrait s'il devait croître indéfiniment ;  $K$  est le paramètre exprimant

la courbure de la courbe ;  $t_0$ , l'"âge" auquel la taille = 0 ; et  $b$  est l'exposant d'une relation longueur-poids selon laquelle  $W = aL^b$  ( $b$  étant en général proche de 3, c'est-à-dire proportionnel à "longueur au cube", ou volume). Si les valeurs des paramètres sont adéquates, les équations (1) et (2) peuvent être appliquées à un large ensemble de données de taille par rapport à l'âge. Il existe de nombreuses méthodes de calcul de ces paramètres (Gulland, 1983 ; Pauly, 1984).

On notera que, dans le contexte de cet exposé, aucun des paramètres de la FCVB n'est, à lui seul, une expression de la croissance (c'est-à-dire longueur par rapport au temps ou poids par rapport au temps),  $L_\infty$  et  $W_\infty$  représentant seulement la taille, et  $K$  et  $t_0$  exprimant respectivement le temps<sup>-1</sup> et le temps. En revanche, certaines combinaisons de ces paramètres, par exemple  $L_\infty \cdot K$ , expriment la croissance (ici :  $1/t$ , c'est-à-dire un taux de croissance) de manière satisfaisante (Callucci et Quinn, 1979). Bien qu'exprimés sous forme logarithmique, les indices de performances de croissance

$$\phi' = \log_{10} K + 2 \log_{10} L_\infty \quad \dots 3)$$

et

$$\phi = \log_{10} K + (2/3) \log_{10} W_\infty \quad \dots 4)$$

expriment correctement un taux de croissance, et sont maintenant largement utilisés pour comparer les performances de croissance de différents poissons et invertébrés, car leur distribution pour différentes populations de la même espèce est normale et étroite (Moreau et coll., 1986 ; Vakily, 1992). Cette caractéristique permet également de calculer  $K$  à partir de  $L_\infty$  ou  $W_\infty$  quand la valeur de  $\phi'$  ou  $\phi$  est connue pour une population donnée, ou quand les valeurs moyennes de ces indices sont connues pour un certain nombre de populations.

Les pentes de 2 et 2/3 dans les équations (3) et (4) respectivement, qui font que ces indices se comportent ainsi, ont été calculées

par Pauly (1979) à partir d'un grand ensemble de données sur de nombreuses populations de poissons décrites dans Pauly (1978, 1979). L'équation (3) implique que les diagrammes de  $\log_{10}K$  par rapport à  $\log_{10}L_{\infty}$  auront, en moyenne, une pente de 2. De même, l'équation (4) implique que les diagrammes de  $\log_{10}K$  par rapport à  $\log_{10}W_{\infty}$  auront, en moyenne, une pente de 2/3.

La grille auximétrique (du Grec : "croissance" et "mesure") est un diagramme logarithmique double du paramètre K de la FCVB par rapport à la taille asymptotique ( $L_{\infty}$  ou  $W_{\infty}$ ). Une population, dont l'ensemble des paramètres de croissance est donné ( $L_{\infty}$ , K ou  $W_{\infty}$ , K), y est représentée par un point unique, et différentes populations de la même espèce auront tendance à former une agrégation de points. Comme les équations (3) et (4) impliquent que ces agrégations peuvent être superposées sur des droites de régression dont la pente est connue, l'agrégation implique aussi que des ellipses peuvent être superposées sur les agrégations de points, avec de longs axes parallèles aux deux pentes dans les équations (3) ou (4), un point d'intersection égal à  $\phi'$  ou  $\phi$ , et des surfaces liées à la variance des ensembles de données représentés.

Ainsi les ellipses, dont la circonférence englobe l'intervalle de confiance de 95 % (S) d'une agrégation de valeurs de  $L_{\infty}$ , K (ou  $W_{\infty}$ , K), peuvent être facilement calculées. En outre, la valeur de S exprimant l'espace de  $L_{\infty}$ , K (ou  $W_{\infty}$ , K) occupé par une espèce donnée peut, au-delà d'un nombre critique de points ( $n \approx 5-6$ ), être rendu facilement indépendant de n. Une simple méthode d'échantillonnage répétitif permet cette opération (Fig. 1).

La grille auximétrique permet ainsi de quantifier la similarité des courbes de croissance des poissons par :

- la superposition des ellipses (réalisée ici au moyen d'un indice de superposition entre des couples d'ellipses ; voir ci-dessous)
- la distance entre le centre d'un grand nombre d'ellipses, et la construction ultérieure d'un dendrogramme.

Ces méthodes de calcul ont été réalisées à l'aide d'un logiciel nommé AUXIM qui comprend trois sous-programmes décrits sur les figures 1-4 et dans le texte ci-dessous.

### Application aux tilapias

La figure 1 est une illustration du premier sous-programme de AUXIM, et représente, au moyen d'une grille auximétrique, les données des tableaux 1 et 2. Comme on pourra le constater sur les figures 1A et 1C, les ellipses peuvent facilement englober les données, révélant un intervalle de confiance de 95 %.

Les figures 1B et 1D illustrent notre méthode de calcul de la surface asymptotique ( $S_{\infty}$ ) pour l'ensemble des données figurant respectivement sur les figures 1A et 1C. Chaque point (i) y représente la moyenne de 20 estimations de surface ( $S_i$ ) pour un ensemble de couples de valeurs de  $L_{\infty}$ , K ou  $W_{\infty}$ , K tirés au hasard, i étant égal à 3, 4... n ; les valeurs de  $S_i$  sont alors exprimées par l'équation selon laquelle

$$S_i = S_{\infty} + a \cdot n^k \quad \dots 5)$$

Comme on pourra le constater,  $S_i$  diminue avec n car les valeurs de t associées aux degrés de liberté (i-1) diminuent plus rapidement que n'augmentent les valeurs de  $S_i$  avec n (voir aussi l'appendice 1).

Les figures 1A et 1C comprennent aussi les ellipses asymptotiques pour les données des tableaux 1 et 2, respectivement. Comme on pourra le constater, ces ellipses asymptotiques sont proches (Fig. 1A) ou égales (Fig. 1C) aux ellipses obtenues sans avoir recours à un échantillonnage répétitif, car les valeurs de n sont, dans ces deux cas,  $\gg 6$ .

La figure 2 représente la superposition des deux ellipses et donc de deux ensembles de paramètres de croissance (d'après les tableaux 1 et 2). Dans cet exemple, l'indice de superposition est de 0,89, une valeur élevée

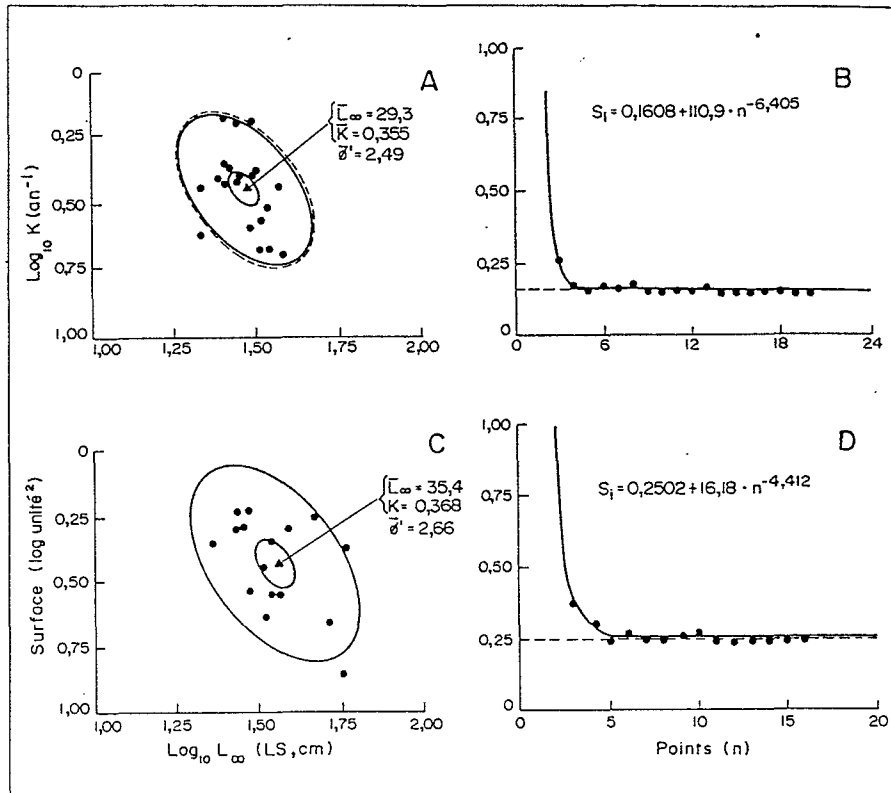


Fig. 1. Intervalle de confiance de 95 % des ellipses délimitant "l'espace de croissance" occupé par deux espèces de tilapias, et diagramme utilisé pour calculer ces ellipses:  
 A = Ellipse pour *O. mossambicus*, d'après les données du Tableau 1 ;  
 B = Diagramme reposant sur un échantillonnage répétitif des données du Tableau 1 et permettant le calcul de  $S_{\infty}$  chez *O. mossambicus* ; les points visibles sont  $n-2$  (voir aussi l'appendice 2) ;  
 C = Ellipse pour *O. niloticus*, d'après les données du tableau 2 ;  
 D = Même que pour B, mais pour *O. niloticus*, d'après les données du Tableau 2.  
 Noter que chez *O. mossambicus*,  $S_{20}$  (en pointillé) est très proche de  $S_{\infty}$ , tandis que chez *O. niloticus*,  $S_{16}$  et  $S_{\infty}$  se chevauchent complètement.



Fig. 2. Superposition des ellipses asymptotiques sur les figures 1A et 1C chez *Oreochromis mossambicus* et *O. niloticus*. Notez l'indice de superposition élevé (0,9), avec des zones séparées représentant des valeurs de  $\phi'$  élevées pour *O. niloticus* et des valeurs de  $\phi'$  faibles pour *O. mossambicus*.

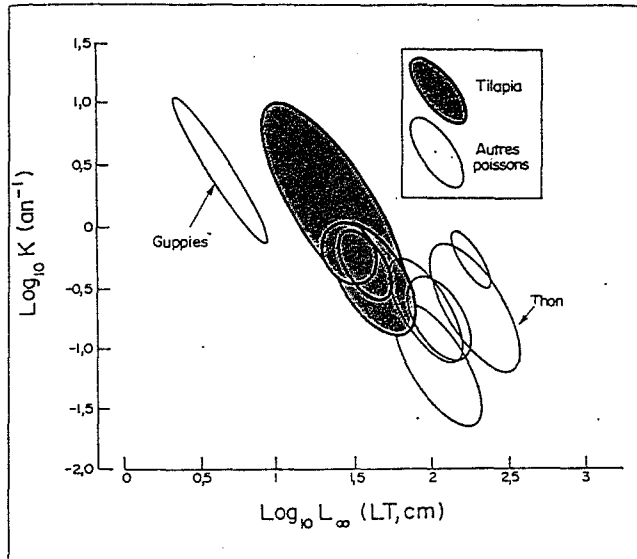


Fig. 3. Grille auximétrique basée sur le fichier du tableau 3, montrant le site et les aires de l'espace  $L_{\infty}$ ,  $K$  occupé par 6 espèces de tilapias, et 6 autres espèces de poissons très différents. Les ellipses totalement englobées les unes dans les autres ne sont pas visibles.

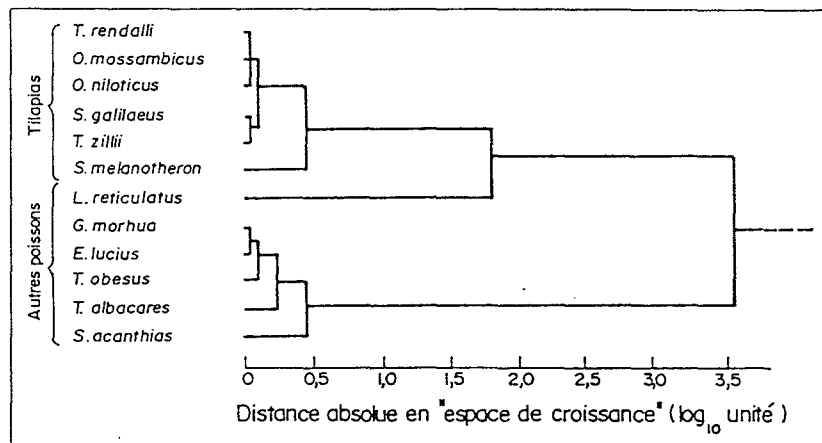


Fig. 4. Dendrogramme des similarités de  $L_{\infty}$  et  $K$  chez les 12 espèces de poissons des tableaux 1-3 et de la figure 3. Notez que *Tilapia* spp., *Oreochromis* spp. et *Sarotherodon galilaeus* forment une agrégation où les degrés de similarité sont très forts, et auquel *S. melanotheron* peut être ajouté (à un degré de similarité moindre), pour former une agrégation bien définie pour les tilapias.

confirmant la grande similarité des performances de croissance des deux espèces comparées ici [cet indice peut être compris entre 1 quand la plus petite des deux ellipses est complètement englobée dans la plus grande, et 0 quand les deux ellipses sont complètement séparées].

Les figures 3 et 4 illustrent le troisième sous-programme de AUXIM qui permet des comparaisons de 20 fichiers à la fois contenant

jusqu'à 200 couples d'estimations de  $L_{\infty}$ ,  $K$  ou  $W_{\infty}$ ,  $K$  chacun.

La figure 3 représente la grille auximétrique résultant des fichiers du tableau 3. Celle-ci permet la comparaison de diverses espèces de tilapias avec d'autres groupes d'espèces différentes des tilapias que l'on a fait figurer ici à titre d'illustration.

Comme on pourra le constater, les ellipses représentant les différentes espèces de tilapias

Tableau 1. Exemple d'un fichier nécessaire à l'exécution de AUXIM : paramètres de croissance de von Bertalanffy pour 20 populations de *Oreochromis mossambicus* (adapté de Moreau et coll., 1986, qui donnent des détails sur les sources, les sites, les méthodes de calcul des paramètres, etc.) ; \*Notez que AUXIM utilise  $L_{\infty}$  ou  $W_{\infty}$ , non les deux.

N°	$W_{\infty}$ (g)	$L_{\infty}$ (LS, cm)	K (an <sup>-1</sup> )
1	408	21,6	0,36
2	410	21,7	0,24
3	3.082	38,7	0,20
4	1.725	30,7	0,24
5	655	24,5	0,39
6	1.729	35,1	0,21
7	1.671	34,7	0,30
8	876	28,0	0,38
9	1.450	33,0	0,26
10	897	28,2	0,63
11	1.326	32,0	0,21
12	1.259	32,0	0,41
13	1.082	28,6	0,40
14	770	26,0	0,68
15	719	25,8	0,44
16	737	27,0	0,42
17	675	25,8	0,37
18	1.277	31,2	0,64
19	1.979	37,6	0,36
20	1.132	31,3	0,39

Tableau 2. Paramètres de croissance de von Bertalanffy pour 16 populations de *Oreochromis niloticus* (adapté de Moreau et coll., 1986, qui donnent des détails sur les sources, les sites, les méthodes de calcul des paramètres, etc.).

N°	$W_{\infty}$ (g)	$L_{\infty}$ (LS, cm)	K (an <sup>-1</sup> )
1	1.214	33,4	0,23
2	387	22,8	0,44
3	851	28,6	0,51
4	745	27,2	0,50
5	7.059	57,2	0,14
6	1.579	34,7	0,28
7	1.061	29,4	0,59
8	1.635	34,4	0,45
9	780	27,1	0,58
10	1.013	29,4	0,29
11	1.373	32,6	0,36
12	1.985	36,8	0,28
13	3.504	39,2	0,50
14	7.134	56,3	0,41
15	3.984	46,2	0,55
16	5.663	57,1	0,22

rèvent une superposition importante et un certain degré de similarité dans leurs performances de croissance. En outre, leurs performances de croissance semblent être bien séparées de celles d'autres poissons dans

"l'espace de croissance" que les poissons occupent sur la grille auximétrique. Les mêmes caractéristiques sont illustrées dans le dendrogramme de la figure 4 où les tilapias forment un groupe homogène, bien distinct

Tableau 3. Détails des fichiers sur les paramètres de croissance qui ont été utilisés avec les tableaux 1 et 2 pour créer les figures 3 et 4 (adapté de Pauly et coll., 1988 ; Moreau et coll., 1986 ; et Pauly, 1978, qui donnent des détails sur les sources, les sites, les méthodes de calcul des paramètres, etc.). Toutes les valeurs de  $L_{\infty}$  sont exprimées en cm et ont été converties en LT, toutes les valeurs de K sont exprimées en an<sup>-1</sup>.

<i>Sarotherodon melanotheron</i>		<i>Sarotherodon galilaeus</i>		<i>Tilapia zillii</i>		<i>Tilapia rendalli</i>		<i>Squalus acanthias</i>	
$L_{\infty}$	K	$L_{\infty}$	K	$L_{\infty}$	K	$L_{\infty}$	K	$L_{\infty}$	K
19,4	1,73	37,2	0,465	29,8	0,538	27,0	0,667	132,0	0,074
21,8	1,37	34,7	0,490	26,3	0,603	26,2	0,528	102,0	0,071
19,6	1,65	35,9	0,337	32,9	0,632	36,1	0,523	153,0	0,036
20,9	2,19	27,8	0,670	30,6	0,720	29,3	0,324	84,7	0,092
25,9	1,68	29,0	0,976	27,7	0,334	32,6	0,526	125,0	0,031
26,6	0,30	31,9	0,601	20,4	0,660	29,9	0,504	96,1	0,067
25,9	1,24	32,6	0,660	22,7	0,385	34,9	0,745	129,0	0,034
18,2	2,55	36,6	0,530	18,6	0,510	29,2	0,479	79,7	0,210
19,0	2,93	34,2	0,540			47,9	0,128	101,0	0,110
15,2	7,25	24,1	0,530			33,4	0,467		
33,0	0,16	49,2	0,288			31,6	0,456		
		58,1	0,469			48,0	0,138		
						31,8	0,313		
						48,2	0,177		
						49,3	0,157		
						39,7	0,230		

<i>Thunnus albacares</i>		<i>Thunnus obesus</i>		<i>Gadus morhua</i>		<i>Esox lucius</i>		<i>Lebistus reticulatus</i>	
$L_{\infty}$	K	$L_{\infty}$	K	$L_{\infty}$	K	$L_{\infty}$	K	$L_{\infty}$	K
189	0,560	206	0,380	132,0	0,200	75,0	0,238	5,0	1,74
178	0,660	260	0,125	154,0	0,069	100,0	0,264	2,4	6,90
190	0,660	214	0,106	120,0	0,125	93,3	0,310	3,0	5,11
214	0,420	244	0,183	111,0	0,333	80,6	0,204	5,0	2,12
186	0,564	186	0,608	99,5	0,200	64,4	0,322	2,3	6,87
210	0,327	244	0,114	106,0	0,177	97,5	0,208	6,1	1,10
209	0,454	216	0,167	102,0	0,234	106,0	0,123	4,4	1,98
				112,0	0,154	141,0	0,097	2,6	6,74
				108,0	0,153			4,9	1,77
				123,0	0,232			5,0	1,56
				122,0	0,247			2,2	5,46
								4,2	2,30

\*Pour le thon, nous avons utilisé  $LF \times 1,1 = LT$ , bien conscients que LT ne signifie pas grand chose chez le thon, compte tenu de la rigidité de la fourche caudale.

des autres poissons, tout du moins en ce qui concerne les espèces utilisées ici à des fins de comparaison.

### Discussion

Il est certain que la nouvelle méthode présentée ici doit être davantage développée

et appliquée à de nombreuses autres espèces pour que son utilité soit pleinement démontrée.

Ici, nous nous référons seulement aux deux espèces de tilapias dont les performances se chevauchent, *Oreochromis niloticus* et *O. mossambicus*. Comme on pourra le constater sur la figure 2, cette superposition intervient du fait des valeurs moyennes et faibles de  $\phi'$  chez *O. niloticus*. D'autre part, on ne remarque

aucune superposition pour les valeurs de  $\phi'$  plus élevées qui expriment la croissance de *O. niloticus* des grands lacs (naturels et artificiels) d'Afrique (Moreau et coll., 1986). Ceci devrait alors définir, en termes de croissance, la partie de la niche de *O. niloticus* qu'il ne partage pas avec *O. mossambicus*.

Des observations similaires peuvent être faites lorsque l'on considère plusieurs espèces comme celles qui figurent sur la figure 3, et dans le dendrogramme de la figure 4 qui permet des interprétations écologiques des différences de performances de croissance propres à l'espèce. Par exemple, *Tilapia rendalli*, *O. mossambicus* et *O. niloticus* forment une agrégation sur la figure 4. On retrouve le même schéma sur le terrain si l'on considère leurs habitudes alimentaires essentiellement microphages/omnivores très similaires (Costa-Pierce, même volume). L'autre agrégation comprend *Sarotherodon galilaeus* et *T. zillii*, deux espèces de plaines d'inondation. *S. melanotheron*, un détritivore des lagunes côtières de l'Afrique de l'Ouest (Pauly et coll., 1988b) vient compléter l'agrégation des tilapias, celle-ci bien séparée des autres groupes de poissons.

### Conclusion

L'idée maîtresse mise en avant ici est que le concept d'"espace de croissance", et le recours à des ellipses pour délimiter cet espace, offrent la possibilité de progresser considérablement dans l'étude de l'écologie des tilapias et autres espèces de poissons.

A l'appui de cette présentation, nous enverrons le programme AUXIM à quiconque en fera la demande (c/o ICLARM, MCPO Box 2631, 0718 Makati, Metro Manila, Philippines).

### Remerciements

Nous tenons à remercier Christian Brière du Département de biologie quantitative de l'ENSA à Toulouse qui a prêté main-forte à l'élaboration de la version préliminaire de AUXIM, et à Yongshun Xiao, Paul Fanning,

Bill Warren et John Hoenig pour les suggestions — pas toutes exécutées — qu'ils ont apportées au manuscrit.

### Littérature citée

- Bertalanffy, L. von. 1938. A quantitative theory of organic growth (Inquiries in growth laws, II) Hum. Biol. 10(2):181-213.
- Gallucci, V.F. et T.J. Quinn. 1979. Reparameterizing, fitting and testing a simple growth model. Trans. Am. Fish. Soc. 108:14-25.
- Gulland, J.A. 1983. Fish stock assessment: a manual of basic methods. FAO/Wiley Series on Food and Agriculture, Vol. 1. Wiley Interscience, Chichester.
- Hopkins, D. 1992. Reporting fish growth: a review of basics. J. World Aquacult. Soc. 23:173-179.
- Kinne, O. 1960. Growth food, intake, and food consumption in an eurolastic fish exposed to different temperatures and salinities. Physiol. Zool. 33:288-317.
- Moreau, J., C. Bambino et D. Pauly. 1986. A comparison of four indices of overall fish growth performance, based on 100 tilapia populations (Fam. Cichlidae), p. 201-206. In J.L. Maclean, L.B. Dizon et L.V. Hosillos (éds.) The First Asian Fisheries Forum. Asian Fisheries Society, Manille, Philippines.
- Munro, J.L. et D. Pauly. 1983. A simple method for comparing the growth of fishes and invertebrates. Fishbyte 1(1):5-6.
- Pauly, D. 1978. A preliminary compilation of fish length growth parameters. Ber. Inst. Meereskd. Christian-Albrechts-Univ. Kiel 55, 200 p.
- Pauly, D. 1979. Gill size and temperature as governing factors in fish growth: a generalization of von Bertalanffy's growth formula. Ber. Inst. Meereskd. Christian-Albrechts-Univ. Kiel 63, 156 p.
- Pauly, D. 1980. A new methodology for rapidly acquiring basic information on tropical fish stocks: growth, mortality and stock-recruitment relationships, p. 154-172. In S. Saila et P. Roedel (éds.) Stock assessment for tropical small-scale fisheries. Proceedings of an International Workshop, 19-21 September 1979, University of Rhode Island. International Center for Marine Resources Development, Kingston, Rhode Island.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with programmable calculators. ICLARM Stud. Rev. 8, 325 p. (+ feuilles d'errata).
- Pauly, D. et J.L. Munro. 1984. Once more on growth comparison in fish and invertebrates. Fishbyte 2(1):21.
- Pauly, D., J. Moreau et M. Prein. 1988a. Comparison of growth performance of tilapia in open water aquaculture, p. 469-479. In R.S.V. Pullin, T. Bhukasawan, K. Tonguthai et J.L. Maclean (éds.)

The Second International Symposium on Tilapia in Aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 15, 623 p.  
 Pauly, D., J. Moreau et M.L. Palomares. 1988b. Detritus and energy consumption and conversion efficiency of *Sarotherodon melanotheron* (Cichlidae) in a West African lagoon. J. Appl. Ichthyol. 4:150-153.  
 Pullin, R.S.V, Editor. 1988. Tilapia genetic resources for aquaculture. ICLARM Conf. Proc. 16, 108 p.  
 Sokal, R.R. et F.J. Rohlf. 1981. Biometry. 2<sup>édition</sup>. W.H. Freeman and Company, San Francisco.  
 Vakily, J.M. 1992. Determination and comparison of bivalve growth, with emphasis on Thailand and other tropical areas. ICLARM Tech. Rep. 36, 125 p.

qui est l'équation de l'axe principal de l'ellipse,  $\phi$  étant le point d'intersection avec l'ordonnée.

Simultanément, et parce qu'elle est perpendiculaire, l'équation pour l'axe mineur de l'ellipse est

$$\log_{10} K = Y_0 + 3/2 \log_{10} W_{\infty}$$

où  $Y_0$  est l'ordonnée au point d'intersection avec l'axe d'ordonnée. L'abscisse du point d'intersection de l'axe mineur avec l'axe d'abscisse est

$$X_0 = \log_{10} W_{\infty} - 2/3 \log_{10} K$$

Si une ellipse doit se rapporter à l'intervalle de confiance de 95 % d'une agrégation de points, la longueur (2·a) de l'axe principal doit être liée à l'écart-type de  $X_0$  ; parallèlement, la longueur de l'axe mineur (2·b) doit être liée à l'écart-type de  $\phi$ , ou

$$2 \cdot a = 2 \cdot t \cdot \text{et}(X_0) \cdot 3/2 \cdot (1/((1+(3/2)^2)^{1/2}))$$

$$2 \cdot b = 2 \cdot t \cdot \text{et}(\phi) \cdot 3/2 \cdot (1/((1+(3/2)^2)^{1/2}))$$

où la valeur de t est liée au nombre de points n, t étant égal à 1,96 quand  $n \rightarrow \infty$  (Sokal et Rohlf, 1981), et où le facteur  $3/2 \cdot (1/((1+(3/2)^2)^{1/2}))$  tient compte du fait que les axes des ellipses ne sont pas parallèles aux axes du système de coordonnées.

Quand les ellipses se rapportent à l'écart-type des valeurs moyennes de  $\log_{10} W_{\infty}$  et  $\log_{10} K$ , les écarts-types pour  $(X_0)$  et  $(\phi)$  sont remplacés par les erreurs standard, c'est-à-dire par les erreurs standard pour  $(X_0)$  et  $(\phi)$ , respectivement.

### Appendice 1

La figure 5 résume les caractéristiques principales de la méthode utilisée par AUXIM pour tracer les ellipses. (Les équations de croissance sont exprimées en poids mais peuvent être facilement exprimées en longueur) ; à partir de l'équation (4) ci-dessus, nous avons

$$\log_{10} K = \phi - 2/3 \log_{10} W_{\infty}$$

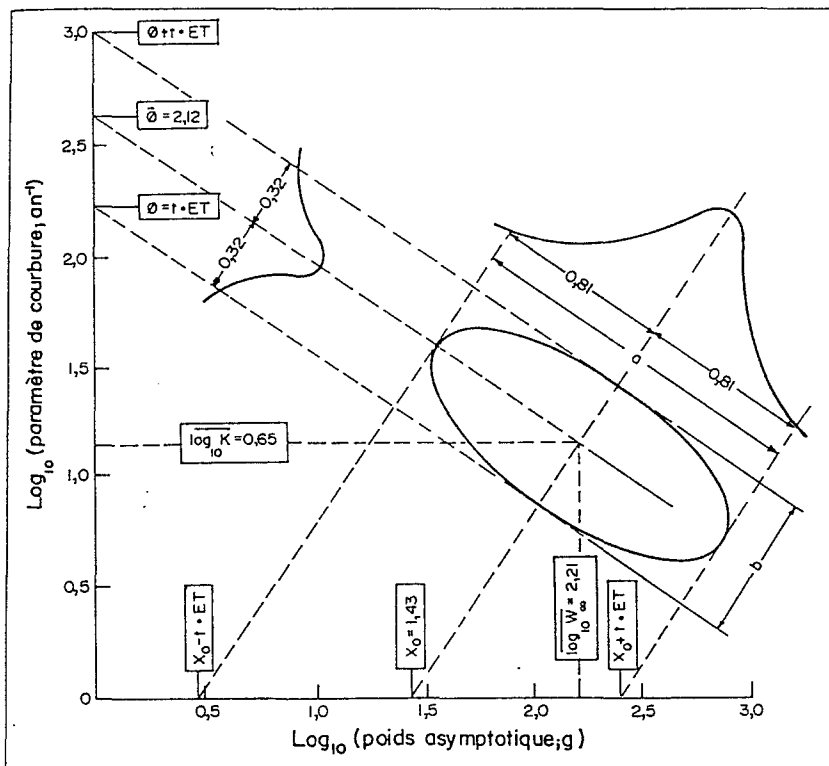


Fig. 5. Représentation schématique de la méthode utilisée pour obtenir des ellipses à partir des valeurs moyennes et de la variance de log K et log  $W_{\infty}$  (voir le texte).

### Appendice 2

AUXIM calcule la surface ( $S_x$ ) des ellipses asymptotiques en procédant à un échantillonnage répétitif aléatoire des points, comme suit :

Pour toutes les valeurs de n, de 4 au nombre réel de points ( $n \gg 4$ ), prendre, au hasard, 20 sous-échantillons des ensembles ( $W_{\infty}$ , K) et, pour chacun, calculer les ellipses comme décrit à l'appendice 1. Calculer alors leurs valeurs moyennes de  $\log W_{\infty}$ ,  $\log K$ ,  $\phi$ ,  $X_0$ , 2·a, 2·b et, à partir de celles-ci, la surface de l'ellipse moyenne correspondant à toute valeur de n. Enfin, appliquer l'équation (5) à la série de points ainsi obtenus (voir la figure 1).