

524365

BA-TH 1208

Cirad-emvt
Campus de Baillarguet
TA 30
34 398 MONTPELLIER Cedex 5

Université Montpellier II
UFR Sciences
Place Eugène Bataillon
34 095 MONTPELLIER Cedex 5

DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES SPECIALISEES PRODUCTIONS ANIMALES EN REGIONS CHAUDES

Année universitaire 2003 – 2004

RAPPORT DE STAGE

Amélioration de la production de *Tilapia rendalli*
au Malawi

Présenté par

Claire GSEGNER

Réalisé sous la direction de : Jean-François Baroiller, Cirad et Alfred O. Maluwa,
Fisheries Department of Malawi
National Aquaculture Center, Domasi (Malawi)
Avril 2004 – Août 2004
Soutenu le mercredi 13 octobre 2004

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet
CIRAD



00063919

RESUME

L'objectif principal de ce rapport est d'étudier la biologie de la reproduction de *Tilapia rendalli* (redbreasted tilapia) pour l'obtention d'une production de masse de juvéniles de qualité. Les expérimentations ont lieu au Centre National d'Aquaculture (NAC) de Domasi, au Malawi du 05/04/04 au 22/08/04 (températures de l'eau de 17,5 à 24°C). Trois objectifs sont suivis : l'étude de la biologie de la reproduction de *T. rendalli*, fécondité et fertilité ; l'étude du système d'élevage le plus efficace pour une production de masse de l'espèce et enfin la sélection d'une souche plus performante grâce à une sélection combinée basée sur le poids du corps, selon le protocole des souches GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapias).

Chaque mois, dix poissons de cinq classes de poids corporel ont été prélevés dans les étangs et disséqués pour analyse des gonades dont le stade de maturité a été évalué. Les œufs des femelles matures sont comptés afin d'estimer la fécondité. Les paramètres morphologiques (longueur standard et totale, poids corporel, hauteur du corps) sont fortement corrélés et influent sur la maturité. La taille (poids) à la première maturité varie beaucoup en étang, ce qui est commun dans les populations qui sont dominantes en tilapia. La plus petite femelle mature observée pèse 29,2 g (LS = 9,6 cm), et le plus petit mâle mature pèse 15,5 g (LS = 7,9 cm). Une plus grande proportion de mâles, dont la spermatogenèse est continue, sont matures alors que seules 4 femelles étaient matures. En effet, la vitellogenèse est inhibée en dessous de 21°C. Cependant, dans les étangs, certains individus se sont reproduit à des températures proches de 19°C. La taille et le nombre d'œufs augmentent avec la taille de la femelle. Les œufs des pondueurs sur substrat comme *T. rendalli* sont plus petits mais plus nombreux que ceux des incubateurs buccaux, car la garde parentale de ces derniers est plus efficace et la survie des alevins est supérieure aux PS. Aucune régression entre la fécondité et PC, LT, LS ou PG n'est significative car les données sont insuffisantes. La fécondité mesurée au NAC est en accord avec les valeurs trouvées pour d'autres pondueurs sur substrat, mais les valeurs restent très faibles. Il serait intéressant de poursuivre cette étude pendant la saison chaude au Malawi. La rétraction moyenne du diamètre des œufs dans le formol à 4 % est estimée à 11 %. La distribution de la taille des œufs dans les gonades est bimodale, ce qui est aussi le cas chez d'autres espèces de tilapias. Dans les œufs de petite taille (0,2-0,8 mm) la vitellogenèse n'a pas encore eu lieu. Ce sont les œufs résiduels qui participeront à la prochaine ponte. Les œufs les plus gros (1-1,8 mm), sont ceux qui sont prêts à être pondus. Le nombre d'œufs est en accord avec la littérature, mais les valeurs restent faibles, en taille et en nombre (1 668 à 3 662 œufs) .

Afin de comparer les productions d'alevins dans les étangs et dans les réservoirs, des *T. rendalli* (densité : 0,4 poissons/m²) ont été introduits dans chaque système avec trois réplicats, puis les alevins ont été récoltés et comptés tous les 15 jours. Les alevins ont été conservés en réservoirs pour une sélection de masse ultérieure. Le système de production le plus performant semble être l'étang. En effet, aucune reproduction n'a été signalée dans les réservoirs en béton. Le taux de capture des alevins baisse au cours du temps car ceux ayant échappé aux premières captures consomment les plus petits. D'importantes variations d'effectifs sont observées entre la production des trois étangs (au total, 1 734, 631 et 900 alevins). Cette différence entre les deux systèmes d'élevage s'explique par la présence de substrat en étang et non en réservoirs, des différences de qualité de l'eau et la possibilité plus importante d'échappement à l'agressivité.

Une sélection combinée est effectuée selon le protocole des souches GIFT réalisé avec succès, aux Philippines. Les résultats analysés sont ceux du croisement de 5 souches de régions diverses du Malawi. En moyenne, le gain est de 14,7 % du poids corporel. Mais le gain de croissance des descendants des croisements est très variable. En effet, la distribution des valeurs d'hétérosis estimée s'étend de - 31 % à 113 %.

Mots-clés : *Tilapia rendalli*, maturation, fécondité, reproduction, système d'élevage, sélection.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	3
I. MATERIELS ET METHODE	4
I.1. Biologie de la reproduction	4
I.2. Evaluation des systèmes d'élevage.....	6
I.3. Sélection	8
II. RESULTATS	11
II.1. Biologie de la reproduction	11
Relation taille – poids	11
Taille à la première maturité	11
Etude de la fécondité (régression).....	13
Distribution de la taille des oeufs.....	13
II.2. Evaluation des systèmes d'élevage	14
II.3. Sélection	16
III. DISCUSSION	17
III.1. Biologie de la reproduction.....	17
III.2. Evaluation des systèmes d'élevage	20
III.3. Sélection.....	22
CONCLUSION	23
BIBLIOGRAPHIE	24
ANNEXES	

INTRODUCTION

Tilapia rendalli était une espèce majeure de l'aquaculture dans les années 1930, mais son élevage a peu à peu perdu de son ampleur en faveur d'autres espèces comme le tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*). Cependant, au Malawi, c'est la seconde espèce la plus élevée après *Oreochromis shiranus* (Balarin, 1988). En effet, cette espèce est indigène et bénéficie du programme gouvernemental d'aquaculture pour les espèces locales. Les poissons sont récoltés entre 20 et 100 g. Au delà de ces limites, ils ne sont pas vendus. En quantité (poids), les 2/3 des poissons sont utilisés pour obtenir de l'argent liquide et 1/3 pour l'autoconsommation.

T. rendalli fait partie du genre *Tilapia*, dont l'une des caractéristiques est d'être un pondeur sur substrat (Lewis *et al.*, 1986). Comme tous les *Cichlidae*, les parents gardent les alevins. Cette espèce est identifiée grâce à la pigmentation rouge vif présente sur la gorge et la poitrine, par 5 à 7 barres verticales vert olives sur le corps (Eccles, 1992; Van Oijen, 1995), ainsi qu'un point noir distinctif sur la nageoire dorsale appelé 'tilapia spot' ou 'tilapia mark' (Skelton, 2001). Une taille de 25 cm constitue une taille maximale moyenne pour un mâle, mais l'espèce peut cependant atteindre des tailles beaucoup plus grandes de 35 à 40 cm (Voss, 2000). La coloration de l'espèce ne permet pas de distinguer les mâles des femelles, et la partie génitale est recouverte par une membrane. Mais il est possible de distinguer les sexes par une observation minutieuse de la papille génitale, une coloration pouvant faciliter cette détermination.

Tilapia rendalli peut survivre à des salinités allant jusqu'à 19 ‰, mais c'est plutôt une espèce d'eau douce (Philipart and Ruwet, 1982). Il supporte des températures se situant entre 8 et 41°C (Philippart et Ruwet, 1982), se reproduit facilement au-dessus de 21°C et atteint la maturité sexuelle vers 4 ou 5 mois (Rashidi, 1990). Sa tolérance au froid en fait une espèce propice à l'élevage au Malawi car en altitude, les températures durant le mois le plus froid (juin) dans les étangs peuvent baisser jusqu'à 14°C. Il est donc élevé tout au long de l'année avec peu d'effets négatifs sur sa croissance par rapport aux autres espèces. Son potentiel de production baisse de 0,3 à 0,2 tonnes.an⁻¹ pour chaque élévation de 100 m.

Les alevins de *T. rendalli* atteignent 7 à 10 cm la première année puis grandissent plus vite que d'autres espèces du genre *Tilapia* (Trewavas, 1982). Le record au Malawi est de 1,03 kg, mais un individu de 1,845 kg a été identifié en Afrique du Sud.

Les adultes et sub-adultes sont des macrophytophages (Caulton, 1982) et se nourrissent dans les zones calmes à végétation abondante (Lowe, 1959 ; Van der Waal et Skelton, 1984). Cette capacité à digérer les macrophytes en fait un excellent candidat à la polyculture avec d'autres espèces dans les systèmes à faibles intrants. Ce poisson se nourrit également d'algues attachées aux feuilles des macrophytes, d'algues filamenteuses, de plantes aquatiques ou terrestres qui ont été immergées dans l'eau.

Tilapia rendalli construit des nids de 40 à 90 cm de diamètre (Ribbink *et al.*, 1981) très spécifiques, souvent en soucoupe (Lowe, 1959) ou en tunnel (Ribbink *et al.*, 1981). Des puits de profondeur variable servent au dépôt des œufs et à la garde des juvéniles, qui sont transportés d'un puit à l'autre par les parents jusqu'à ce qu'ils répondent mieux aux signaux des parents (Ribbink *et al.*, 1981).

Le cycle de reproduction de l'espèce est décrit par Balarin (1983) puis repris par Fryer et Iles (1972). *T. rendalli* a une fécondité élevée et produit 5 000 à 7 000 alevins par ponte et se reproduit environ 8 fois par an (Balarin, 1987). Cependant, la capture et le taux de survie sont faibles pour obtenir suffisamment de juvéniles pour une aquaculture durable. Il est donc nécessaire de déterminer le meilleur système d'élevage afin d'optimiser la production de juvéniles.

La sélection est un outil pour obtenir des homozygotes et réduire les variations génétiques dans des populations de poissons (Tave, 1986). Une sélection minutieuse peut entraîner l'élimination

de gènes récessifs dont l'expression a un effet négatif sur la production (Stanley et Sneed, 1974 ; Streisinger *et al.*, 1981 ; Poelhman, 1959). Un programme de sélection génétique a permis d'accroître les performances de croissance d'une souche améliorée d'*Oreochromis niloticus* aux Philippines de 60 %. Une augmentation de 40 % de la production est estimée après l'adoption des souches GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapias) dans ce pays, ce qui accroît la profitabilité au producteur de 84 % (ICLARM, 1998). En moyenne, le gain génétique par génération, calculé sur cinq générations sélectionnées est de 12-17 % pour les performances de croissance (Eknath et Acosta, 1998 ; Eknath *et al.*, 1998). Les taux de croissance des souches domestiques et sauvages de *T. rendalli* sont proches car il n'y a pas eu de sélection génétique de cette espèce, éventuellement une amélioration due à la domestication. Différentes souches ont donc pu être utilisées pour le programme de sélection de *T. rendalli* (Breeding / Selection Program) initié en 1996 au National Aquaculture Center de Domasi (Malawi), qui a permis l'obtention de la génération F1 sur laquelle se basent les expérimentations. Ce même programme est également mené sur *Oreochromis shiranus* dont la génération F2 est déjà produite.

L'objectif est d'étudier la biologie de la reproduction de *Tilapia rendalli* pour l'obtention une production de masse de juvéniles de qualité. En effet, dans les pays en voie de développement, la priorité doit être donnée à l'amélioration des espèces locales plus qu'à des études basées sur l'hybridation, et la production de juvéniles constitue l'un des postes les plus importants pour la mise en place ou l'amélioration d'une filière aquacole (Pullin, 1982). Les objectifs de ce travail étaient donc les suivants :

- étude de la biologie de la reproduction de *T. rendalli*, fécondité et fertilité,
- étude du système d'élevage le plus efficace pour une production de masse de l'espèce,
- étude des performances de croissances des alevins F1 dans des étangs de grossissement,
- sélection d'une souche plus performante : sélections de masse et combinée basées sur le poids corporel.

I. MATERIELS ET METHODE

Toutes les expérimentations ont lieu au National Aquaculture Center (NAC) de Domasi, Malawi.

I.1. Biologie de la reproduction

Chaque mois, 10 poissons de chaque catégorie de poids corporel suivant sont échantillonnés dans les étangs du NAC : A:]5-10] g ; B :]10-15] g ; C :]15 ; 20] g ; D :]20-30] g ; E : > 30 g.

Les paramètres suivants sont mesurés sur chaque individu : poids corporel (PC), longueur totale (LT), longueur standard (LS), hauteur du corps (HC), poids des gonades (PG). Les poissons sont alors sexés et disséqués pour observer l'état de maturation des gonades. Les gonades mâles sont classifiées comme immatures (Im), inactives (In), actives (A), matures (R, ripe), fluants (RR, ripe running), ou spent (S) d'après la classification de Maluwa (1990, tab. 1 et 2). Les poissons matures seront ceux dont les gonades sont de R à S. Les ovaires des poissons R et RR sont conservés dans le formol pour compter le nombre d'œufs. Le poids des gonades sera déterminé dans la mesure du possible. Les oeufs (uniquement des femelles R ou RR) sont comptés un par un pour déterminer la fécondité qui sera liée au poids du corps du poisson. Le diamètre des œufs est mesuré pour un échantillon de 30 œufs prélevés sur tissu frais et 30 oeufs après fixation afin d'estimer la rétraction dans le formol. L'indice gonadosomatique (GSI = poids des gonades / poids corporel x 100) est déterminé pour chaque individu.

Tableau 1 : Description morphologique des stades de maturation de la gonade mâle chez les tilapias (Maluwa 1990, adapté de Balarin, 1983).

Etat de maturité de la gonade	Symbole	Apparence de la gonade
Immature	Im	Gonades fines comme un filet, couleur chair, sans couleur a transparent
Inactive	In	Translucide, plus large que précédemment, généralement plus long que les ovaires chez les femelles (In).
Active	A	Blanc/jaunâtre terne, épaissi et allongé, environ ¾ de la cavité viscérale.
Mature	R	Blanc crème, distendu sur toute la longueur de la cavité viscérale, laitance apparente si gonades coupées. Le mâle montre des colorations de parades et des comportements de construction du nid.
Fluant	RR	Couleur blanc/argenté, complètement distendu, la laitance sort librement sous la pression, reproduction évidente.
Spent	S	Coloration chair/rouge, rétréci avec des capillaires sanguins.

Tableau 2 : Description morphologique des stades de maturation de la gonade femelle chez les tilapias ; (Maluwa 1990, adapté de Balarin, 1983).

Etat de maturité de la gonade	Symbole	Apparence de la gonade
Immature	Im	Fin comme un filet, transparent et proche de la paroi abdominale.
Inactive	In	Couleur crème, translucide, plus allongé que les gonades. Pas d'ovocytes visibles.
Inactive-active	In/A	Opaque a transparent, occupe la moitié de la cavité viscérale. Quelques ovocytes visibles.
Active	A	Ovaire pas encore gonflé, mais ovocytes visible, jaunâtres avec une teinte rouge.
Mature	R	Oeufs jaunes, verts ou oranges caractéristiques de l'espèce, large taille uniforme. Occupe tout l'espace disponible dans la cavité viscérale.
Ovulante	RR	Ovaires extrêmement gonflé et les oeufs roulent sous pression de la main ou se séparent si l'ovaire est coupe.
Spent	S	Ovaire rétréci, flasque, rouge avec des capillaires sanguins et des petits oeufs discernables.

Analyse des données

Une analyse de la variance a été utilisée pour déterminer taille/poids à la première maturité et les taille/poids pour lesquels 50 % de la population est mature. L'âge des individus étant inconnu, il est impossible d'inclure ce paramètre dans l'analyse, en l'absence de disponibilité d'approches d'évaluation de l'âge comme l'otolithométrie.

Les relations entre les différents paramètres morphologiques LS (variable dépendante), LT, PC, HC, PG (variables indépendantes) sont étudiées avec le modèle linéaire $Y = aX+b$. Pour une relation linéaire plus précise, une transformation en logarithme (\log_{10}) des données est effectuée pour les variables indépendantes et dépendantes, selon le modèle : $\log(Y) = \log(a) + b \cdot \log(X)$ soit $y = aX^b$.

Une analyse de régression entre le nombre d'œufs (variable dépendante), PC, LT, LS et PG (variables indépendantes) est utilisée afin d'étudier la fécondité. Le modèle linéaire est testé: $Y = aX+b$, avec Y: nombre d'œufs R ou RR dans la gonade, c'est la fécondité (F) ; a : pente de la régression de la variable indépendante X ; b : constante de régression ; X : variable indépendante (PG, PC, LT ou ST), d'après Welcomme (1967). Une transformation en logarithme (\log_{10}) des

données est effectuée pour les variables indépendantes et dépendantes, selon le modèle : $\log(Y) = \log(a) + b \cdot \log(X)$ soit $y = aX^b$.

La fertilité peut être évaluée avec les données de l'expérience II du nombre d'alevins par femelle). L'efficacité de la reproduction (brooding efficiency) peut être déterminée en divisant l'équation de régression fertilité-LS par l'équation fécondité-LS (Welcomme, 1967).

Définitions

La définition de la fécondité utilisée est celle de Alliee *et al.* (1949) qui définit la fécondité comme le nombre d'œufs (ou le volume de sperme/quantité de spermatozoïdes) produit, alors que la fertilité est le nombre d'œufs qui se sont effectivement développés jusqu'au stade juvénile. La mortalité des alevins est considérée comme négligeable, et le nombre d'alevins est alors utilisé pour l'évaluation de la fertilité (Welcomme, 1967).

I.2. Evaluation des systèmes d'élevage

Des géniteurs de *T. rendalli* de souche F1 sont collectés dans les étangs du NAC et stockés dans des étangs de 300 m² (EP, fig. 1) et des réservoirs en béton de 50 m² (CP, fig. 2) à des densités de 0,4 poisson.m⁻² et un sexe ratio de 1 : 2 (mâle : femelle). Le poids moyen des mâles est de 127,7 g en CP et 62,28 g en EP ; celui des femelles est de 69,1 g en CP et 51,9 en EP. Chaque traitement est conduit trois fois. Deux semaines après apparition des premiers alevins, un filet de maille fine est utilisé pour récolter les alevins de l'étang ou du réservoir. Ils sont comptés à l'aide d'épuisettes plates pour limiter les manipulations qui peuvent provoquer des blessures fatales. Cette récolte aura lieu tous les 14 jours pour limiter le cannibalisme par les alevins issus des premières pontes (Baroiller et Jalabert, 1989).

Les alevins récoltés chaque mois seront alors élevés dans des réservoirs (2 x 2 x 0,8 m) pendant deux mois puis dans des étangs de grossissement, dans lesquels la sélection de masse sera conduite après encore trois mois (cf. annexe 2 : « Mass selection of *Tilapia rendalli* », « Schedule for the mass selection of F1 *Tilapia rendalli* », « F1 Balance sheet », « F1 Run sheets »).

Préparation des étangs

Mise en eau des étangs

- vidange et drainage ;
- application de chaux à un taux de 100 g.m⁻² ;
- application de fumier de poulet à un taux de 250 g.m⁻².

Suivi de la qualité de l'eau

L'oxygène dissous, la température et le pH sont mesurés deux fois par semaine entre 9:00 et 10:00.



Figure 1 : Étang du NAC.



Figure 2 : Réservoirs en béton du NAC.

Introduction des poissons

Des mâles et des femelles de *T. rendalli* sont collectés dans les étangs du NAC et les plus gros individus sont choisis comme géniteurs. Ils sont introduit le 20 avril 2004 dans les étangs et réservoirs sans conditionnement (séparation des mâles et des femelles un mois avant la mise en étang pour améliorer les résultats de reproduction, faute de temps), le sexage est manuel, par observation de la papille uro-génitale. En effet, le mâle possède deux orifices sous le ventre : l'anus et l'orifice urogénital ; la femelle a trois orifices : l'anus, l'orifice génital et l'orifice urinaire (Vaas et Hofstede, 1952). L'anus est très aisément reconnaissable : chez le mâle, l'orifice urogénital apparaît comme un point alors que chez la femelle, l'orifice urinaire est pratiquement invisible, et l'orifice génital qui est une ouverture perpendiculaire à l'axe du corps apparaît comme une ligne sur la papille. Le désavantage de cette méthode est un taux d'erreur humaine estimé par Bardach *et al.* (1972) entre 10 et 20 %.

Alimentation

L'alimentation est composée de débris de maïs jetés dans l'étang à un taux de 3 % de la biomasse corporelle, ou 1,5 % lorsque la température est inférieure à 18 °C. Durant environ une semaine, (29/06/04-05/07/04), les poissons ne sont plus nourris (faute de moyens financiers).

Analyse des données

Un test *t* sera utilisé pour comparer les différences entre les réservoirs et les étangs en terme de moyenne de production d'alevins produit par mois dans chaque système d'élevage.

I.3. Sélection

La sélection effectuée pour obtenir une souche de *T. rendalli* plus performante est inspirée par la technique de production de la souche GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapias) développée au Philippines avec *Oreochromis niloticus*. Cette sélection a débuté en 1996 au NAC avec les espèces *Tilapia rendalli* et *Oreochromis shiranus*. Des éléments sur la sélection effectuée précédemment au NAC et les bases de la sélection des souches GIFT sont exposés en annexe 3.

Des femelles de *Tilapia rendalli* sont stockées dans un total de 24 hapas de 1 x 1 x 1 m³ (fig. 3) et de bacs de 1 x 1 x 1 m³ (fig. 4), avec un individu par hapas. Chaque femelle a un mâle alloué, qui sera retiré et introduit dans un nouvel hapa dès que la reproduction a eu lieu. Le mâle féconde au total 3 femelles. Les alevins sont retirés et élevés séparément en tant que pleins frères et soeurs pendant 3 mois, puis ils sont marqués et stockés dans des étangs de grossissement, à l'aide de floy tags insérés dans le muscle dorsal (fig. 5 et 6). Après trois mois, les poissons sont pesés. La valeur reproductive (breeding value, BV) sera calculée pour chaque poisson et une sélection familiale et une sélection au sein des familles est effectuée.



Figure 3 : Hapas du NAC dans lesquels a lieu l'appariement des couples sélectionnés comme géniteurs.



Figure 4 : Réservoirs en béton du NAC dans lesquels les alevins sont élevés.

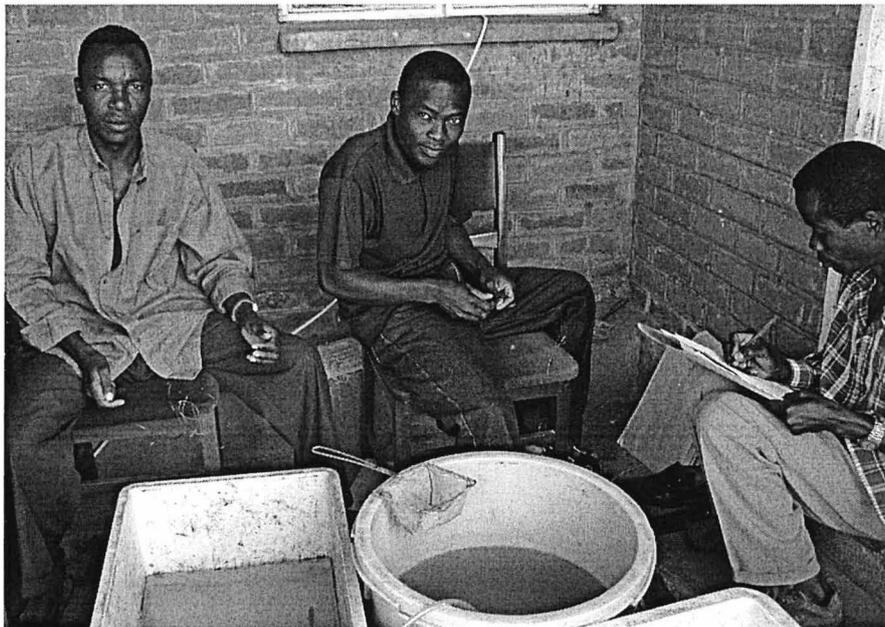


Figure 5 : Atelier de marquage des poissons au NAC.

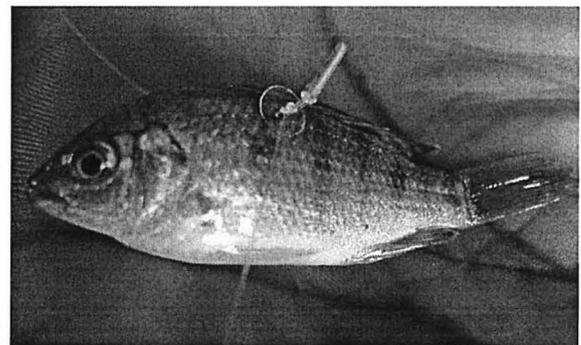


Figure 6 : Poisson marqué à l'aide d'un floy tag inséré dans le muscle dorsal.

Analyse des données

Les logiciels SAS proc mixed et AS Reml sont normalement utilisés pour calculer la valeur reproductrice (BV) des poissons marqués après 3 mois de grossissement en étang, mais ceci n'a pu être calculé car les licences sont expirées. L'analyse des données est faite à partir des données du cross design décrit en annexe 3. Les effets maternels et l'hétérosis sont calculés pour les croisements. L'effet maternel définit l'effet des gènes de la mère sur les performances de ses produits, qui s'exerce par l'intermédiaire de caractères maternels, et qui doit être distingué de l'effet génétique direct de la mère. Ils sont donc communs aux membres d'une même ponte. Pour un caractère quantitatif, on parle d'hétérosis lorsque la valeur phénotypique pour ce caractère, chez un individu issu d'un croisement, est supérieure à la moyenne des deux races parentales. Les souches pures sont nommées SP et les croisements non pures SC. Après détermination de la moyenne du poids du corps pour chaque croisement, les paramètres suivants peuvent être calculés:

- Phénotype moyen des SP, Pn :

$$P_n = \text{Moyenne} [BV \times BV + CU \times CU + DO \times DO + KS \times KS + MIM \times MIM] \quad (1)$$

- Phénotype moyen des SC :

$$X_{n(n-1)} = \text{Moyenne} [BV \times CU + BV \times DO + BV \times KS + BV \times MIM + CU \times BV + CU \times DO + CU \times KS + CU \times MIM + DO \times BV + DO \times CU + DO \times KS + DO \times MIM + KS \times BV + KS \times CU + KS \times DO + KS \times MIM + MIM \times BV + MIM \times CU + MIM \times DO + MIM \times KS] \quad (2)$$

- Effet maternel pour chaque souche, gM(i), avec $\sum gM(j) = 0$:

Exemple avec gM(BV) :

$$gM(BV) = [(BV \times CU - CU \times BV) + (BV \times DO - DO \times BV) + (BV \times KS - KS \times BV) + (BV \times MIM - MIM \times BV)] / 4 \quad (3)$$

- Pour les SP, $i = j$ et $gl(j)$ est obtenu en soustrayant Pn et gM(j) de P(j) :

$$gl(BV) = BV \times BV - P_n - gM(BV) \quad (4)$$

- Hétérosis moyen :

$$hl(BV \times CU) = hl(CU \times BV) = (CU \times BV + BV \times CU - BV \times BV - CU \times CU) / 2 \quad (5)$$

- Moyenne des SP :

$$(BV \times BV + CU \times CU) / 2 \quad (6)$$

- Moyenne des SC :

$$(BV \times CU + CU \times BV) / 2 \quad (7)$$

- Effet individuel moyen de chaque souche : obtenu grâce aux SP, $gl(BV)$; avec $i = j$ et $gl(j) = gl(i)$. On calcule donc pour les SC :

$$BV \times CU = [gl(BV) + gl(CU)] / 2 \quad (8)$$

- Pourcentage moyen d'hétérosis (H %) pour chaque croisement :

pour les SP, $H = 0$; et pour les SC :

$$H = (\text{moyenne SC} - \text{moyenne SP}) / \text{moyenne SP} \times 100 \quad (9)$$

II. RESULTATS

II.1. Biologie de la reproduction

Relation taille – poids

Les caractères morphologiques étudiés sont fortement corrélés entre eux. Les figures illustrant les relations entre les différents paramètres morphologiques peuvent être trouvées en annexe 4 (fig. 3 et 4).

Equation de régression selon le modèle linéaire ($Y = aX+b$) :

- $LS = 0,091 PC + 6,0938$; avec $r^2 = 0,89$
- $LS = 2,401 HC + 0,3248$; avec $r^2 = 0,90$
- $LS = 0,798 LT - 0,1572$; avec $r^2 = 0,99$
- La relation entre LS et PG est non significative ($r^2 = 0,18$).
- Chez les mâles :
 - $LS = 0,093 PC + 6,088$; avec $r^2 = 0,93$
 - $LS = 2,401 HC + 0,332$; avec $r^2 = 0,90$
 - $LS = 0,802 LT - 0,212$; avec $r^2 = 0,99$
- Chez les femelles :
 - $LS = 0,088 PC + 6,106$; avec $r^2 = 0,86$
 - $LS = 2,398 HC + 0,326$; avec $r^2 = 0,90$
 - $LS = 0,796 LT + 0,120$; avec $r^2 = 0,99$

Equation de régression après transformation en logarithme ($y = aX^b$) :

- $LS = 3,034 + PC^{0,335}$;
- $LS = 0,776 + LT^{1,003}$;
- $LS = 2,714 + HC^{0,930}$;
- Chez les mâles :
 - $LS = 3,075 + PC^{0,331}$;
 - $LS = 0,759 + LT^{1,012}$;
 - $LS = 2,745 + HC^{0,922}$;
- Chez les femelles :
 - $LS = 3,034 + PC^{0,337}$;
 - $LS = 0,789 + LT^{0,996}$;
 - $LS = 2,693 + HC^{0,935}$;

Taille à la première maturité

Le poids moyen des mâles est supérieur à celui des femelles (test-*t*, annexe 4 tab. 11a et b), les données des mâles et des femelles sont donc analysées séparément. La proportion en stade de maturation pour chaque classe de poids corporel est illustrée en fig. 7c pour les femelles et fig. 7d pour les mâles. Les mêmes illustrations sont données en fig. 6e (mâles) et fig. 7f (femelles) pour des classes de taille (LS). Le poids des individus matures est statistiquement différent du poids des individus immatures (test-*t*, annexe 4 tab. 12a et b), et donc de ce fait aux autres paramètres corrélés au poids corporel. Le poids et la taille influent donc sur la maturité. La plus petite femelle mature observée pèse 29,2 g (LS = 9,6 cm), et le plus petit mâle mature pèse 15,5 g (LS = 7,9 cm). Les données recueillies ne permettent pas de déterminer la taille ou le poids auxquels 50 % de la population est mature. Cette taille semble comprise entre 70 et 80 g (LS = 13-14 cm, fig. 7g et h). A 9,7 g, 50 % de la population est encore immature (annexe 4 fig. 2).

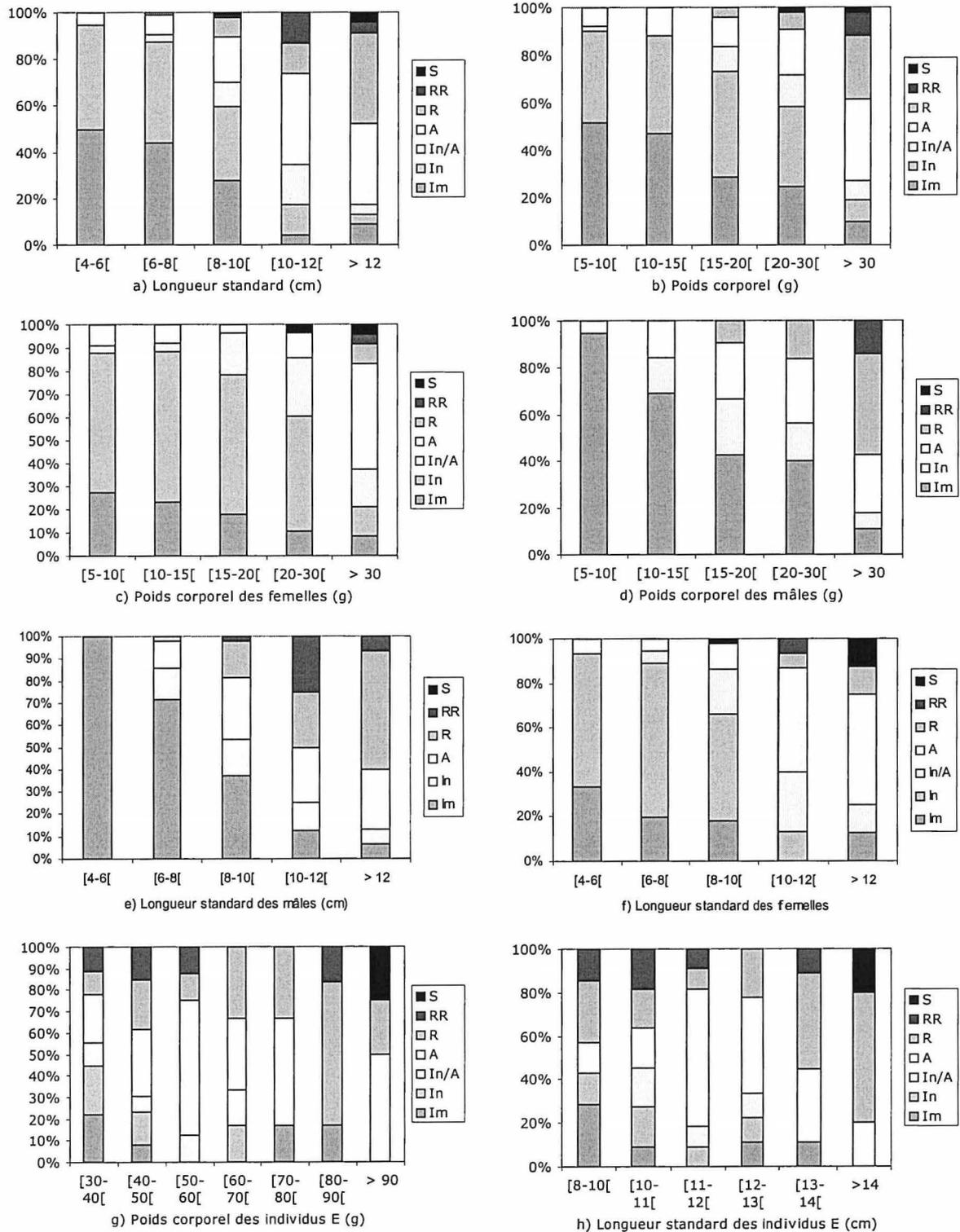


Figure 7 : Etat de maturation de *T. rendalli* (mâles et/ou femelles, en pourcentage) en fonction de classes de longueur standard et de poids corporel ; avec Im : immature, In : inactif, A : actif, R : mature, RR : fluant /ovulant, S : spent ; E : individus de la classe de poids corporel supérieur à 8 g.

Etude de la fécondité (régression)

Aucune régression entre la fécondité et PC, LT, LS ou PG n'est significative car les effectifs analysés sont insuffisants. La fécondité (nombre d'œufs développés, où la vitellogenèse est complète) des trois femelles matures est donnée dans le tableau 3. La fécondité mesurée au NAC est en accord avec les valeurs trouvées pour d'autres pondeurs sur substrat, mais les valeurs restent très faibles. Il serait intéressant de poursuivre cette étude pendant la saison chaude au Malawi (octobre-mars).

Tableau 3 : Fécondité (nombre d'œufs de la classe I) des femelles matures de *T. rendalli*; R : ripe ; RR : ripe running.

Identifiant de l'individu		112	175	177	Moyenne
Etat de maturation des gonades		R	R	RR	
Classe I	Développés	2853	1066	2219	2046
Classe II	Non développés	809	602	987	799
Nombre total d'œufs dans la gonade		3662	1668	3206	2845

De plus, il n'est pas possible d'évaluer l'efficacité de la reproduction par manque de données.

Distribution de la taille des oeufs

Détermination du coefficient de rétraction des oeufs dans le formol.

Après mesure de 30 follicules sur tissus frais et 30 follicules fixés dans du formol, la rétraction moyenne est estimée à 11 % (fig. 8)

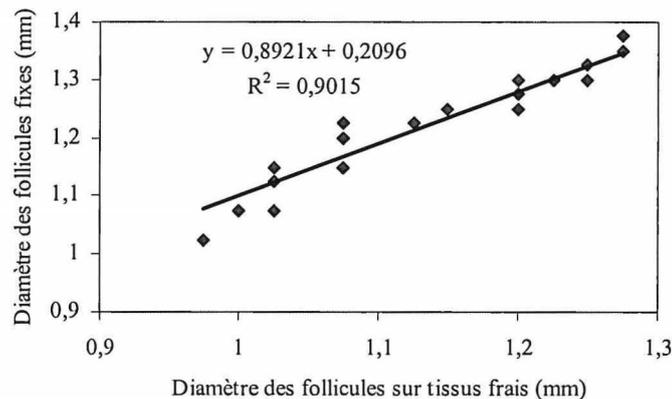


Figure 8 : Rétraction des follicules frais par le formol.

Distribution de la taille des oeufs

La distribution de la taille des oeufs dans les gonades est bimodale (longueur, largeur ou diamètre, fig. 9). Ceci est plus marqué dans la gonade de l'individu RR (n°177) où l'on peut définir deux classes distinctes (diamètre de l'œuf) :

- classe I : [0,25 - 0,5[mm (moyenne = 0,394 mm) ;
- classe II : [0,95 - 1,5[mm (moyenne = 1,282 mm).

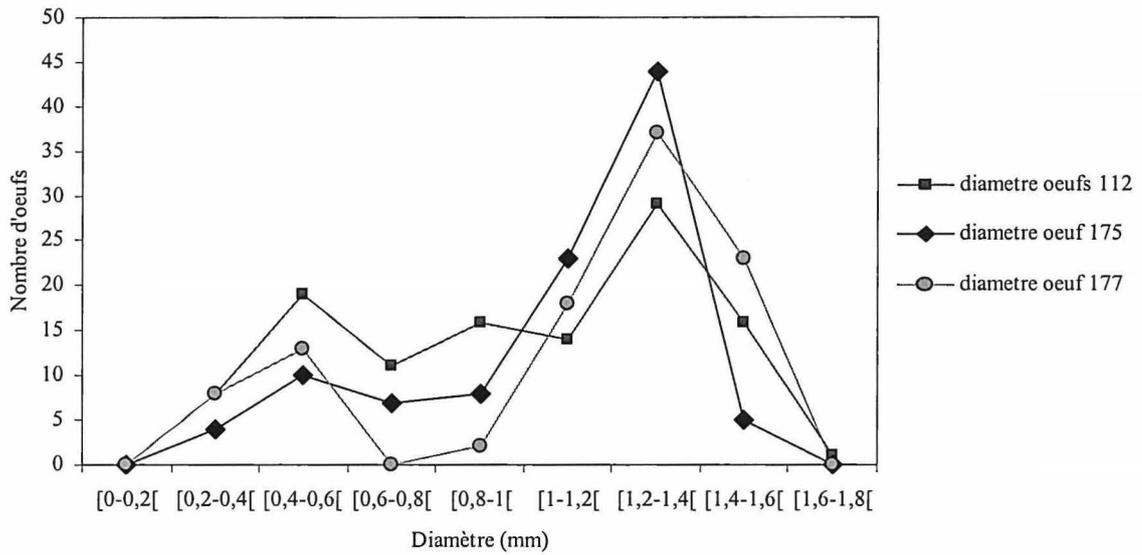


Figure 9 : Distribution du diamètre des œufs des trois femelles, avec diamètre = (longueur + largeur) / 2.

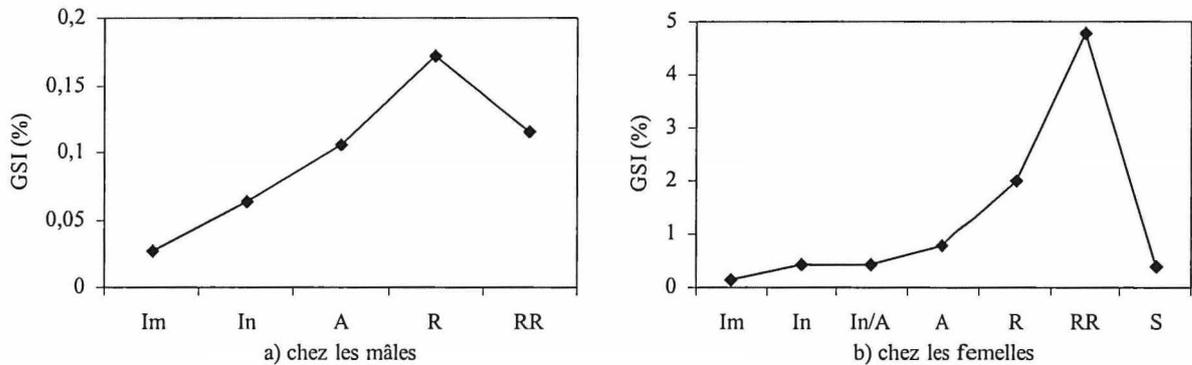


Figure 10 : GSI (%) en fonction de l'état de maturation des gonades, avec Im : immature, In : inactif, A : actif, R : mature, RR : fluant /ovulant, S : spent.

II.2. Evaluation des systèmes d'élevage

La reproduction est plus précoce en étangs (62 jours, du 20/04/04 au 21/06/04) qu'en réservoirs (pas de production d'alevins, tab. 4). Un test-*t* n'est donc pas nécessaire.

Tableau 4 : production en alevins (*Tilapia rendalli*) des étangs (EP2, EP3 et EP5) et des réservoirs (CP1, CP2 et CP3).

Date	CP1, CP2 et CP3	EP2	EP3	EP5	Total EP	Moyenne	SD
07/07/04	0	831	426	221	1478	493	310
21/07/04	0	471	183	347	1001	334	144
04/08/04	0	376	19	283	678	226	185
18/08/04	0	56	3	49	118	36	29
Total	0	1734	631	900	3265	1088	575

L'évolution des effectifs récoltés au cours du temps est illustré figure 11. Le nombre d'alevin pêché diminue à chaque récolte, sauf pour EP5 où la première récolte est faible.

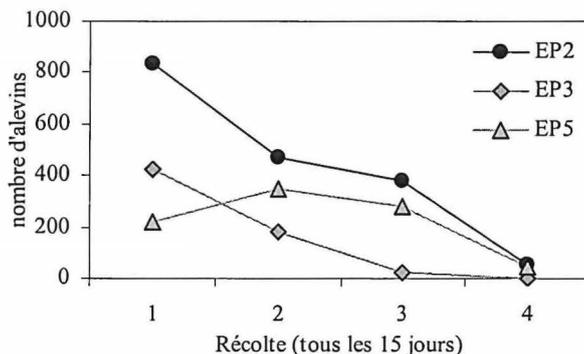


Figure 11 : Evolution des effectifs d'alevins de *T. rendalli* récoltés dans les étangs.

Dans les trois étangs, beaucoup de larves de grenouilles sont pêchées en même temps que les alevins. Dans l'étang EP5, des alevins plus grands sont récoltés, la reproduction a donc été plus précoce que dans les autres étangs. De plus, des spécimens d'*Oreochromis shiranus* et *Clarias gariepinus* (trois individus de plus de 60 cm et quelques juvéniles de 10-20 cm ont été pêchés) s'introduisent dans l'étang par le canal, et *O. shiranus* se reproduit dans l'étang. Il est possible que *O. shiranus* ait été introduit par erreur dans les étangs lors de l'introduction des géniteurs de *T. rendalli* (étape effectuée en mon absence). Seuls les alevins de *T. rendalli* ont été recensés dans cette étude.

Qualité de l'eau

Des différences entre les étangs et les réservoirs sont observées, les réservoirs ayant des températures et des taux d'oxygène dissous (DO) supérieurs aux étangs. Mais ces variations sont régulières entre les deux systèmes (fig. 12), et les températures et DO sont statistiquement semblables en étang et réservoirs (test-t, annexe 4 tab. 13 a et b, tab. 14 a et b). Les données de DO et de pH ne permettent pas une analyse précise car l'appareil de mesure n'est pas fiable.

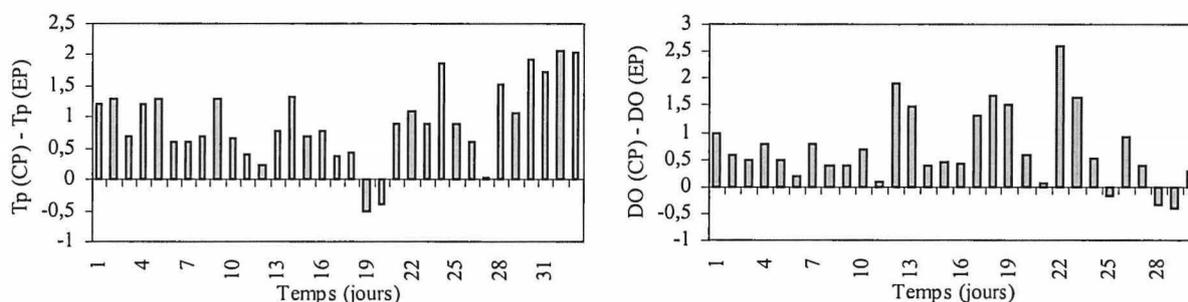


Figure 12 : Différence entre les températures (TP) des réservoirs (CP) et des étangs (EP), en °C, et différence entre taux d'oxygène dissous mesurées en réservoirs et ceux mesurées en étangs, en mg/l.

II.3. Sélection

Aucune reproduction de *Tilapia rendalli* et de *Oreochromis shiranus* n'a été recensée dans les hapas du 01/05/04 au 31/08/04. Des parasites du genre *Lernaea* sont présents sur les poissons des hapas, ce qui représente une cause significative de mortalité au Malawi (Robert et Sommerville, 1982). Ce parasite s'attache profondément dans la musculature et provoque de sévères réactions ulcéraives, rendant le poisson non commercial car il est maigre et peu attractif.

Les données traitées sont celles de la population de base qui sert à produire la génération F1 (statistiques descriptives en annexe 4 tab. 16). Les données figurent dans les tableaux 5 à 8 et la figure 13.

Tableau 5 : Poids corporel moyen (g) des croisements (en vert) et des souches pures (en jaune).

Lignée Mâles	Lignée femelle					Moyenne pour la lignée male
	BV	CU	DO	KS	MIM	
BV	56,19	42,24	44,57	51,09	68,50	52,52
CU	39,23	62,04	55,94	50,00	58,18	53,08
DO	189,45	62,93	53,90	81,03	62,80	90,02
KS	74,55	77,06	128,23	105,88	89,34	95,01
MIM	38,28	105,60	100,00	74,11	47,57	73,11
Moyenne pour la lignée femelle	79,54	69,97	76,53	72,42	65,28	72,75

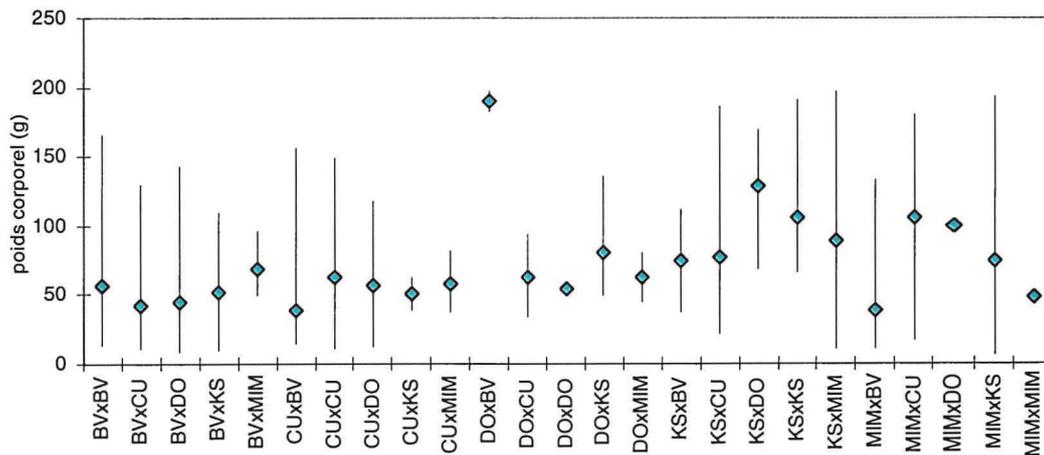


Figure 13 : Poids corporel moyen (en bleu), avec indication de la valeur minimale et maximale (lignes).

Tableau 6 : Phénotype moyen des souches pures, Pn, et des croisements, Xn(n-1).

Pn	65,12
Xn(n-1)	74,66

Tableau 7 : Effet maternel (g).

Souches croisées		Souches pures	
gM BV	33,78	gI BV	-42,70
gM CU	21,12	gI CU	-24,20
gM DO	-16,87	gI DO	5,65
gM KS	-28,24	gI KS	69,00
gM MIM	-9,79	gI MIM	-7,75
Sum gM j	0,0000	Sum gI j	0,0000

Tableau 8 : Hétérosis (%).

Lignée mâle	Lignée femelle				
	BV	CU	DO	KS	MIM
BV	0,00	-31,09	112,57	-22,48	2,91
CU	-31,09	0,00	2,53	-24,33	49,42
DO	112,57	2,53	0,00	30,97	60,44
KS	-22,48	-24,33	30,97	0,00	6,52
MIM	2,91	49,42	60,44	6,52	0,00

Le poids moyen des individus issus des croisements (74,66 g, tab. 9) est supérieur aux souches pures (65,12 g). Cependant, la distribution des poids corporels des descendants des croisements s'étale de façon importante (fig. 13 qui donne les poids maximum et minimum autour de la moyenne). L'amélioration moyenne de la croissance entre SP et SC est de 14,7%. Les effets maternels peuvent être négatifs pour la souche pure (CU, BV, MIM, tab. 7), et positif pour la souche croisée (BV, CU). La souche MIM a toujours des effets maternels négatifs. La souche pure qui possède les meilleures performances de croissance est KS, puis dans l'ordre décroissant CU, BV, DO et enfin MIM (tab. 5). Cependant, tous les croisements ne donnent pas une descendance plus performante, car en effet, pour certains l'hétérosis est positif alors que pour d'autres il est négatif (tab. 8).

III. DISCUSSION

III.1. Biologie de la reproduction

En étangs, il existe une importante variation individuelle de l'âge (ou taille) à la première maturité, ce qui est commun dans les populations dominantes en tilapia (Shell, 1983, Maluwa, 1990). La taille à la première maturité dans cette étude est proche de ce qui est indiqué dans la littérature. Selon Huet (1986), la reproduction a lieu à une taille supérieure à 15 cm ; les tilapias dans les lacs sont matures vers 18 cm (Fryer et Iles, 1972). Mais dans une population de *Tilapia zillii*, les plus petits mâles matures mesuraient 5,1 cm et les femelles 6,6 cm (Dadzie et Wangila, 1980), ce qui illustre le phénomène de nanisme qui apparaît dans des populations où la reproduction des tilapias est trop importante au détriment de la croissance. En effet, la maturation sexuelle se traduit par une diminution de la croissance. La population du NAC ne semble pas souffrir de nanisme, car la saison froide limite le nombre de pontes. De tels résultats sont obtenus en culture de *T. rendalli* à Shaba (République Démocratique du Congo) où il existe une saison froide, ce qui n'est pas le cas dans le bassin du Zaïre à Yangambi où la reproduction est continue (Gosse, 1963). Les mâles sont matures à une taille inférieure à celle des femelles, comme pour d'autres espèces de tilapias (*T. esculenta*, Lowe, 1956 ; *O. niloticus*, Welcomme, 1966, *T. zillii*, Dadzie et Wangila, 1980).

L'impact de l'environnement sur l'âge et le poids à la première maturité a déjà été démontré pour la même espèce (Siddiqui, 1979 ; Jalabert et Zohar, 1982 ; Pullin, 1982). Peu de choses sont par contre connues sur la part génétique et environnementales de ce trait (la maturation). Des études sur les familles permettraient de faire la part entre les effets de l'environnement et la composante génétique (par exemple, Kronert *et al.*, 1986 avec *Oreochromis niloticus*), mais elles nécessitent plus de moyens. Une variabilité génétique très importante dans le développement des gonades est trouvée par Kronert *et al.* (1989) en laboratoire avec *O. niloticus*, ce qui correspond à ce qui a été

trouvé dans d'autres espèces comme les saumons (Gjerde, 1984 ; Gjerde et Gjerdrem, 1984). Il est donc possible de faire des sélections sur l'âge à la première maturité qui peut constituer un réel problème pour la productivité d'élevage de tilapias. Une variabilité génétique et une héritabilité élevée ont été observées pour le caractère croissance de *O. niloticus* par Kronert *et al.* (1989), contrairement à Hulata *et al.* (1986), qui suppose que la variabilité génétique faible observée est due à un échantillon trop petit. La sélection sur le poids du corps est donc également possible.

Les expérimentations ont eu lieu en hiver, lorsque les températures de l'eau sont inférieures à 21°C, seuil d'inhibition de la reproduction (à partir du 05/05/04, les températures peuvent être inférieures à ce seuil, et du 01/06/04 au 02/08/04, les températures sont en permanence inférieures à 21°C). La spermatogenèse est continue chez cette espèce, mais l'ovogenèse est influencée par les variations de température et de photopériode (Costa-Pierce, 1996 ; Moreau, 1982), ce qui explique que très peu d'individus femelles soient matures alors que quelques mâles le soient. En saison froide, la spermatogenèse est retardée, mais tous les stades de développement restent observés dans les gonades qui contiennent des cellules des différents stades chez le genre *Tilapia* (Moreau, 1979). Chez les femelles, au contraire, la vitellogenèse exogène est inhibée par les températures basses et tous les ovocytes avec vitellus sont résorbés (Jalabert et Zohar, 1982). Une différence peut être observée entre les équations de fécondité et de fertilité, due à un phénomène courant chez les tilapias de résorption de certains œufs dans la gonade (Peters, 1963) que nous n'avons pu mettre en évidence par manque de données.

Cependant, d'un mois à l'autre, il existe de grandes variations de l'état de maturation des gonades. Les poissons disséqués étant pêchés dans différents étangs du NAC, nous ne disposons d'aucune indication sur les effets de l'environnement. Or, la reproduction des tilapias est influencée par de nombreux facteurs de différents types :

- **physiques** : comme la saison (Lowe-McConnell, 1958), la qualité de l'eau (Santiago *et al.*, 1983), la salinité (Balarin, 1983), la profondeur, la photopériode et l'intensité lumineuse, la structuration spatiale (Baroiller *et al.*, 1997 ; Duponchelle et Legendre, 2001),
- **biologiques** : lié au système d'élevage (Guerrero et Gracia, 1983, Santiago *et al.*, 1982, Antonio *et al.*, 1983), à la nutrition (Santiago *et al.*, 1983), à l'âge (Balarin, 1983), la taille (Rakocy, 1985) et la densité des géniteurs (Hugues et Berhends, 1983).
- **sociales** : les facteurs sociaux (Balarin, 1983, Baroiller *et al.*, 1997), le sex-ratio (Guerrero et Villanueva, 1978), la présence d'autres espèces qui entrent en compétition pour la nourriture et le territoire.

Tous ces paramètres influencent la maturation des géniteurs mais nous ne disposons d'aucune information pour évaluer leur importance dans cette étude.

La taille, le poids et le nombre d'œufs augmentent avec la taille de la femelle (Baroiller et Jalabert, 1989). Chez *Tilapia squamipinnis*, Berns *et al.* (1978) a déterminé que lorsque les individus sont petits (PC de 20 à 160 g, poids des œufs de 10,3 à 27,5 mg), la corrélation entre PC et le poids des œufs augmente avec PC, mais celle entre PC et le nombre d'œufs ne devient significative qu'avec des grands poissons. Le nombre d'œufs qui constituent la ponte varie significativement pour un même poids de gonades (Baroiller et Jalabert, 1989 ; Peters, 1963) car le développement ovarien présente des différences individuelles dues à des variations génétiques ou de réponses physiologiques à divers stimuli, comme le statut social (Baroiller et Jalabert, 1989), les stimuli visuel (*O. mossambicus*, Silverman, 1978 a et b) ou chimique avec d'autres individus (Tacon *et al.*, 1996). Les mâles et les femelles peuvent aussi émettre des sons, qui paraissent liés à la reproduction pour les mâles mais liés à la nutrition pour les femelles (Lanzing, 1974). Chez *O. mossambicus*, les sons émis par le mâle augmentent la fréquence d'oviposition de la femelle isolée d'autres stimuli (Marshall, 1972).

Le poids des gonades mâles est faible par rapport à celui d'espèces sans garde parentale (Peters, 1971), ce qui explique les GSI très faibles observés (tab. 9). La distribution de la taille des follicules est connue pour être fortement liée au GSI, mais nous avons trop peu de données pour le vérifier.

Tableau 9 : GSI des tilapias fluants (R) et immatures (S) (Peters, 1963).

Espèce	Etat	Nombre d'individus	Poids du corps (g)			GSI		
			min	Max	moyenne	min	max	moyenne
<i>T.tholloni</i>	R	10	9,4	64,7	21,1	8,8	14,3	11,2
	S	6	8,8	60	18,8	1,9	2,7	2,3
<i>T.mossambica</i>	R	5	3,7	24,6	13,4	4,9	10,2	7,0
	S	6	3,6	24,1	14,5	1,0	3,0	1,7
<i>T.macrocephala</i>	R	15	7,4	316	107	4,3	11,6	8,1
	S	15	10,7	268	77,2	2,2	5,1	3,5
<i>T. rendalli</i> (cette étude)	R	3	41,7	78	4,5	1,6	4,8	3,4
	S	2	29,3	157,3	4,8	0,3	0,5	0,4

Il existe de très grandes différences dans la tailles des oeufs (Criland, 1961 ; Berns *et al.*, 1978 ; Philippart et Ruwet, 1982...). Deux classes distinctes de taille de follicules sont observées et correspondent à deux vagues folliculaires successives. Les follicules de petite taille (0,2-0,8 mm) ne sont pas développés, la vitellogenèse n'est pas encore engagée, car inhibée par la première vague folliculaire. Dès la ponte de la première vague, ces follicules s'engageront dans une vitellogenèse rapide et seront utilisés ensuite pour la prochaine ponte. Les follicules les plus gros (1-1,8 mm) sont ceux qui sont prêt à être pondus (fig. 9). Dans la littérature, les tailles des œufs de *T. rendalli* sont supérieures à celles observées en fin de vitellogenèse sur la première vague. En effet, les œufs mesurent en moyenne 1,80 mm (Collectif, 2003 ; Balarin, 1983 ; Hanon, 1975 d'après Philippart et Ruwet, 1982), et Rashidi (1990) rapporte des valeurs de 1,8 à 2,5 mm en milieu naturel.

Des résultats similaires dans la répartition de taille des œufs est reportée pour *Tilapia macrocephala* par Peters (1963), qui décrit deux classes de taille : 0,65-1,3 mm, qui sont les oeufs non développés, et la classe 1,6-2,2 mm, dont les oeufs sont prêts pour la ponte. Chez *Tilapia mossambica*, les oeufs les deux classes ne sont pas aussi distinctes que chez *T. macrocephala* (les classes se chevauchent), et dans ce cas, il est impossible de prédire le nombre d'œufs qui seront inclus dans la prochaine ponte. En effet, Tacon *et al.* (1996) a montré chez *O. niloticus* que les ovocytes en vitellogenèse se trouvent à tous les stades de maturation et que la vitellogenèse dure plus longtemps que l'intervalle entre deux pontes.

Le nombre d'œufs de *T. rendalli* ainsi que leur taille est du même ordre que celui observé chez d'autres pondeurs sur substrat (tab. 10 et 11), surtout *Tilapia zillii* (Coward et Bromage, 1999). Cependant, les tailles mesurées au NAC sont faibles, de même que la fécondité. Il serait intéressant de poursuivre cette étude durant la saison chaude au Malawi (octobre-mars) lorsque la reproduction de *T. rendalli* est optimale et les températures de l'eau supérieures à 21 °C. Les œufs des pondeurs sur substrat sont plus petits mais plus nombreux que ceux des incubateurs buccaux (Trewavas, 1982), car la garde parentale de ces derniers est plus efficace et la survie des alevins est supérieure aux PS (tab. 10 et 11).

Chez les pondeurs sur substrat comme *T. zillii*, le nombre d'œufs est en relation avec le cube de la longueur du corps (Welcomme, 1979 ; Jalabert et Zohar, 1982), mais nos données ne nous permettent pas de le vérifier pour *T. rendalli*.

Tableau 10 : Fécondité de certaines espèces de tilapias, IC : incubateur buccal ; PS : pondéur sur substrat.

Espèce	IC / PS	Fécondité	Source	Remarque
<i>T. esculenta</i>	IC	324 – 1672	Lowe, 1955	
<i>T. leucosticta</i>	IC	56 – 498	Welcomme, 1957	
<i>T. zillii</i>	PS	1 000 - 7 061 674 - 7 009	Lowe, 1955 Dadzie, 1980	Longueur : 8,22 cm Population naines Longueur : 6,6 à 14,1 cm
		1191 – 2608	Coward et Bromage, 1999	
<i>T. rendalli</i>	PS	1066 – 2853	Cette étude	

Tableau 11 : Taille des œufs chez différentes espèces de tilapia ; avec PS : pondéur sur substrat ; IB1 : incubateur buccal femelle , IB2 : incubateur buccal mâle (Peters, 1963).

Espèce	type	Taille des œufs de la vague la plus avancée (mm)	Taille des œufs de la seconde vague (mm)
<i>T. tholloni</i>	PS	1,3 - 1,6	0,4 - 0,7
<i>T. mossambica</i> <i>k.</i>	IB1	2,7 - 2,9	1,1 - 1,3
<i>T. macrocephala</i>	IB2	2,0 - 4,5	1,1 - 1,5
<i>T. zillii</i>	PS	1,44 – 1,53	
<i>T. rendalli</i> (cette étude)	PS	1 - 1,8	0,2 - 0,8

III.2. Evaluation des systèmes d'élevage

Pourquoi la production d'alevins est faible ?

L'expérimentation a été conduite durant les mois les plus froids au Malawi (mai-août), hors de la saison de reproduction (octobre-mars). La production en alevins est donc minimale, et Costa-Pierce (1996) a même observé un arrêt total de la reproduction de juillet à août dans les étangs et réservoirs de Domasi. Dans cette étude, les géniteurs se reproduisent à partir du 21 juin alors même que les températures sont inférieures à 21°C, seuil en dessous duquel la reproduction de *T. rendalli* est inhibée. En général, la saison de reproduction commence quand la photopériode augmente en même temps que la température (Baroiller *et al.*, 1997), soit en octobre au Malawi. En une année, Rashidi (1990) a observé huit reproductions au lac Kariba. Les femelle de 21,1 cm (190 g) produisent 48 000 alevins par an (8 pontes de 6 000 alevin chacune) et celles de 31,5 cm produisent 70 000 alevins. Mais en aquaculture au Malawi, les résultats de production d'alevins sont inférieurs : à partir d'un mâle et de deux femelles (d'un poids moyen 40 g) Costa-Pierce (1996) récolte entre 750 et 900 alevins par femelle après 416 jours (de décembre à février, en saison chaude). Brummett (1997) a obtenu entre 3 000 et 5 000 alevins de poids individuel de 2 g minimum sur une période de 9 mois, dans les étangs qui ont été sennés avec une barrière tubulaire tous les 60 ou 30 jours, respectivement ce qui est bien supérieur aux données recueillies dans cette étude.

T. rendalli est décrit comme monogame par De Bont (1950). Dans cette étude (et celle de Costa-Pierce, 1996), des femelles en surplus gênent une production maximale d'alevins. Chez les pondéurs sur substrats ayant des territoires stables, les femelles en surplus pour un même mâle ne participent pas à la reproduction, mais dérangent au contraire celle de la femelle qui fraie (Philippart et Ruwet, 1982 ; Costa-Pierce, 1996).

De plus, l'incubateur buccal *O. shiranus* qui s'est introduit dans les étangs et s'y reproduit entre en compétition avec *T. rendalli* pour délimiter et occuper les territoires de reproduction. Par ailleurs un cannibalisme des alevins de *T. rendalli* qui garde ses alevins en nuage autours de lui

mais ne les prend pas dans la cavité buccale est exercé par *O. shiranus*. Par contre, une compétition pour la ressource alimentaire est peu probable, car ces deux espèces ont des régimes différents (*O. shiranus* se nourrit de détritiques et de plancton, Koenings, 1990).

Pourquoi tous les alevins nés ne sont pas pêchés ?

Le nombre d'alevins recensés est inférieur à la production effective dans les étangs. En effet, divers facteurs réduisent le nombre d'alevins pêchés :

- les larves de grenouilles retrouvées dans les étangs agissent comme des prédateurs sur les alevins de taille inférieure, phénomène très marqué dans l'étang EP3.
- la prédation des alevins et adultes est probable dans les étangs et les réservoirs par les oiseaux et les loutres (présence de fèces au bord des étangs et des réservoirs), et éventuellement par les lézards.
- prédation des alevins par d'autres espèces de poissons qui s'introduisent dans l'étang 5 par le canal (*O. shiranus* et *C. gariepinus*).
- certains alevins échappent au filet de taille légèrement inférieure pour ces étangs. Ce phénomène est accentué par les températures faibles, car les alevins ont tendance à se cacher dans les puits des nids ou dans les berges.
- EP5 : des alevins de plus grandes taille sont pêchés, la reproduction a donc été plus précoce que dans les autres étangs, ce qui accentue la prédation des alevins les plus âgés envers les plus jeunes.

De plus, le taux de capture des alevins baisse au cours du temps car ceux ayant échappé aux premières captures consomment les plus petits (Baroiller et Jalabert, 1989). En effet, les juvéniles de *T. rendalli* se nourrissent des alevins de taille inférieure, parfois de façon très importante (Caulton, 1979). Ce cannibalisme réduit significativement la production de juvéniles dans les unités de production (Broussard *et al.*, Patastico *et al.*, 1988).

Mais dans notre étude, le filet de pêche étant de dimension trop petite, certains alevins peuvent fuir et ne pas être capturés, spécialement le long des berges où les alevins se cachent. Les juvéniles qui ont échappés à la capture grandissent et rentrent en compétition pour l'accès à la nourriture présente au détriment des juvéniles nés plus tard qui restent plus petits (Brummett *et al.* 1995).

Comparaison entre les productions des étangs et des réservoirs

La reproduction est plus précoce en étangs (62 jours, 20/04/04 au 21/06/04) qu'en réservoirs (aucune reproduction n'est observée jusqu'à fin août). Cette différence de production en alevins s'explique par :

- la présence de substrat,
- les différences de qualité de l'eau,
- les différences d'agressivité et/ou de capacité à échapper au cannibalisme selon la structuration spatiale.

En effet, *T. rendalli* a besoin d'un substrat pour la construction du nid. Ce substrat est disponible dans les étangs ou les nids sont observés vers la mi-mai, mais pas dans les réservoirs où il est obligé de déposer les œufs sur le béton. Généralement, il choisit les coins des réservoirs (rectangulaires) pour pondre, et c'est à cet endroit que les alevins sont observés (ce qui est comparable à ce qui est observé pour les incubateurs en bacs ou en race-ways. Costa-Pierce (1996) rapporte que, bien que ces poissons soient des pondreuses sur substrat, il n'y avait aucune différence entre la production d'alevins dans les réservoirs avec ou sans des substrats de sable. Les réservoirs de cette étude sont donc tous trois sans substrat pour faciliter l'expérience.

La qualité de l'eau influe le comportement reproducteur des géniteurs. Des températures et un taux d'oxygène dissous élevés favorisent la reproduction. Cependant, les valeurs de ces paramètres sont plus élevées en réservoirs, où la reproduction est plus tardive. En outre, à taille égale, les réservoirs en béton sont plus rapidement affectés que les étangs par des variations des paramètres environnementaux (surtout dans notre cas car ils sont plus petits que les étangs), que ce soit à l'échelle journalière ou à plus long terme. D'autres paramètres influent sur le comportement des tilapias, comme la teneur en nitrates, nitrites ou phosphates qui n'ont pas pu être mesurés dans cette étude. Spécifiquement, dans le réservoir CP3, la qualité de l'eau est supposée médiocre car l'eau fuie, ce qui rend la couleur de l'eau brune.

Selon Abella et Batao (1988), le système de réservoirs en béton est le meilleur pour une production de masse d'alevins, mais son coût est élevé. Cependant, dans ces systèmes qui constituent un environnement restreint, l'agressivité du mâle a de plus fortes conséquences que dans les étangs. En effet, les mâles peuvent tuer les femelles ou entraîner, par leurs attaques répétées, des stress importants des femelles et par suite à une régression ovarienne, alors que dans les étangs, les femelles peuvent fuir (Pullin, 1982).

Nous pouvons conclure de cette étude, que l'étang est un meilleur système de production d'alevins de *T. rendalli* mais des études plus précises, comme la qualité de l'eau et le comportement d'agressivité, permettraient de mieux comprendre quels sont les paramètres qui varient entre ces deux systèmes.

III.3. Sélection

Tilapia rendalli se reproduit plus aisément en étang qu'en réservoir en béton ou en hapas, car il a besoin d'un substrat pour la construction du nid. Ce manque de substrat associé aux températures faibles expliquent l'absence de reproduction. Il se peut que la présence de parasites ait également affecté la reproduction (ces parasites n'ont été observés qu'en hapas).

T. rendalli creuse des nids très spécifiques pour la reproduction. En effet, il peut construire un simple nid en forme de soucoupe (Lowe, 1959), une série de tunnels fabriqués par les parents (Ribbink *et al.*, 1981) ou pondre sur une surface rocheuse, sur la végétation ou une racine (Turner et Robinson, 2000). Généralement, un nid de 40 à 90 cm de diamètre et de quelques centimètres à 20 cm de profondeur est construit dans des zones herbeuses le long des berges à une profondeur moyenne de 20-80 cm (Ribbink *et al.*, 1981). Un seul nid peut avoir 5 à 21 puits de profondeur variable. Les œufs sont déposés dans un puits peu profond, oxygéné par l'un des parents pendant que l'autre agrandi le nid. Il faut quelques jours à l'embryon pour éclore (Baerends et Baerends-van Roon, 1950 ; Fryer et Iles, 1972) et pendant ce temps, la construction des nids continue. Une fois les œufs éclos, les alevins sont gardés par les deux parents, qui les oxygènent en brassant l'eau et les transportent d'un puits à l'autre. Après environ sept jours, les alevins sont transférés vers le puits le plus profond (Ribbink *et al.*, 1981). Les juvéniles de moins de 15 mm (longueur standard) sont confinés dans le puits profond, lorsqu'ils sont plus grands, ils commencent à nager librement et répondent mieux aux signaux des parents. La fin du gardiennage a lieu lorsque les juvéniles atteignent environ 40 mm (Ribbink *et al.*, 1981). La construction de puits profonds et de tunnels qui relient les puits est certainement une réponse à la prédation intense exercée sur les juvéniles. L'absence de ces puits baisse très certainement la survie des juvéniles. Bien que la ponte sur un substrat artificiel ne semble pas être un facteur limitant de la reproduction (Costa-Pierce, 1996), les larves ne pouvant être protégées par les tunnels ou les puits sont soumises à une plus forte prédation et un plus fort cannibalisme.

Certaines données que nous avons analysées sont à interpréter avec précaution car nous ne disposons pas de beaucoup de données, comme pour les croisements MIMxMIM, BVxMIM où les données de trois individus seulement sont disponibles ; MIMxDO, KSxBV, DOxBV CUxKS, deux individus et DOxDO, un seul individu.

Pour certaines souches, l'effet maternel a un impact positif en souches pures, alors qu'en croisement l'effet maternel est négatif. C'est le cas de la souche KS qui donne des descendants plus gros en souche pure qu'en croisements ; ce qui paraît être le cas pour la souche DO, mais nous ne disposons pas d'assez de données pour la souche pure pour valider cette hypothèse. La souche MIM possède de mauvaises performances en souches pures, mais qui sont améliorées par les croisements (hétérosis positif pour tous les croisements). Les croisements qui paraissent acceptables sont MIMxCU et MIMxDO (mâle x femelle).

Les meilleurs croisements sont, dans l'ordre décroissant (tab. 8) ceux qui ont un effet d'hétérosis fort : DOxBV (mâle x femelle et femelle x mâle), DOxMIM, CUxMIM, DOxKS, KSxMIM, BVxMIM. Certains croisements ont des effets d'hétérosis négatifs, lorsque les descendants des croisements ont des performances plus faibles que la souches pure. C'est le cas de BVxKS, CUxKS, BVxKS (mâle x femelle et femelle x mâle).

Les interactions avec l'environnement affectent les performances non additives, l'effet hétérosis peut donc être exprimé de façon médiocre dans certains systèmes d'élevages (Bentsen *et al.*, 1998). Mais dans cette étude, nous ne disposons que des données obtenues sur un site, au NAC. A la suite de ces croisements, le programme de sélection sur le poids corporel est réalisé. En outre, un seul paramètre est étudié ici, qui est la performance de croissance, or d'autres caractères peuvent être intéressants comme la résistance au froid et aux maladies.

CONCLUSION

Grâce à ses avantages, *Tilapia rendalli* est une espèce importante pour la pisciculture au Malawi, où le gouvernement a interdit l'introduction d'espèces non endémiques. En effet, macrophytophage, il se nourrit de résidus de récoltes, il possède une bonne résistance aux faibles taux d'oxygène dissous, il est capable de se reproduire jusqu'à des températures de 21°C, il est résistant aux maladies, et étant apprécié par les consommateurs, la demande est élevée. D'après notre étude, il se reproduit aux environs de 29 g pour les femelles et 15,5 g pour les mâles. Ces valeurs sont à prendre avec précaution compte tenu du nombre réduits d'individus matures récoltés. Les individus du NAC (National Aquaculture Center) paraissent avoir une fécondité faible comparés aux valeurs de la littérature.

En général, les meilleures performances des systèmes de production d'alevins en hapas par rapport aux étangs sont rapportées à un meilleur contrôle des paramètres environnementaux (Behrends et Lee, 1990 ; Lovshin et Ibrahim, 1988). Cependant, selon notre étude, pour *T. rendalli*, le meilleur système semble être l'étang. Il serait intéressant de poursuivre cette expérience durant la saison de reproduction (octobre-mars) pour valider cette observation. En étang, *T. rendalli* a accès à un substrat pour construire un nid, alors qu'il est indisponible dans les réservoirs et dans les hapas. La construction de puits profonds et de tunnels qui relient les puits est certainement une réponse à la prédation intense exercée sur les juvéniles. De plus, en hapas, le territoire est réduit et les comportements agressifs du mâle ont plus de conséquences sur la femelle. De même, dans les réservoirs qui sont de taille inférieure aux étangs, l'échappement de la femelle est plus difficile. Il faudrait également contrôler la qualité de l'eau en hapas, vérifier

que l'eau circule correctement au travers du filet (des colmatages par des développement d'algues sont souvent observés dans les happas de maille trop fine).

Le programme de sélection débuté au NAC en 1996 donne des gains de croissance intéressants : + 14,7 % après le croisement des cinq souches de départ. Par la suite, la sélection combinée améliorera encore ce gain. Le taux de survie des descendants pourrait être abaissé en utilisant un désinfectant lors du marquage, des serviettes pour sécher le poisson avant manipulation, et en cherchant à limiter le temps de manipulation.

La dissémination des souches améliorées vers les agro-pisciculteurs est un processus coûteux. Les souches améliorées seront produites au NAC puis vendues aux fermiers qui devront retourner se procurer les juvéniles pour chaque cycle de production. En effet, une production par le fermier lui-même, sur la base d'une population réduite de fondateurs entraînera rapidement une perte d'hétérosis dans la descendance. Mais ce programme suppose que les agro-pisciculteurs achètent chaque année les juvéniles. Or une partie des éleveurs produisent eux-mêmes leurs alevins pour des raisons financières, avec un risque évident d'un retour vers une tendance au nanisme après plusieurs générations sans nouvel apport génétique.

BIBLIOGRAPHIE

- Alliee, W.C., Emerson, A.E., Park, O., Park, T., Schmidt, K.P., 1949. Principles of Animal Ecology. Philadelphia and London : W.B.Saunders and Co, 180 p.
- Abella, T.A., Batao, M.N., 1988. Broodstock exchange technique for maximum production of *Oreochromis niloticus*. Central Luzon University, Nueva Ecija, Philippines. 4 p.
- Antonio, M.B., Carlos, M.H., Antonio, I.S., 1983. Hatchery production of *Oreochromis niloticus* at different sex ratios and stocking densities. Aquaculture, 73 : 85-95.
- Baerends, Baerends-van Roon, 1950. An introduction to the study of the ethology of cichlid fishes. Behaviour Supplement 1 : 1-242.
- Balarin, J.D., 1983. A guide to tilapia breeding. Report 38p.
- Balarin, 1987. National Reviews for Aquaculture Development in Africa, FAO, Rome.
- Balarin, 1988. development planning for tilapia farming in Africa. In R.S.V. Pullin, T.Bhukaswan, K.Tonguthai and J.L. Maclean (eds.) The Second International Symposium on Tilapia aquaculture. ICLARM Conference proceeding 15, 623 p. Department of Fisheries, Bangkok, Thailand, and International Centre for Living Resources Management, Manila, Philippines.
- Bardach, J.E., Ryther, J.H., McLarney, W.O., 1972. Aquaculture : the farming and husbandry of freshwater and marine organisms. Wiley-Interscience, New York.
- Baroiller, J.F. and Jalabert, B., 1989. Contribution in reproductive physiology to the culture of tilapias. Aquat. Living Resour., 2 : 105-116.
- Baroiller, J.F., Desprez, D., Carteret, Y., Tacon, P., Hoareau, M.C., Mélard, C., and Jalabert, B., 1997. Influence of environmental and social factors on the reproductive efficiency in three tilapia species, *Oreochromis niloticus*, *O. aureus* and the red tilapia (Red Florida strain). In K. Fitzsimmons (eds.), Proceedings of the fourth International Symposium on Tilapia in Aquaculture, 9-12 November 1997, Orlando, Florida. U.S.A., pp. 238-252.
- Behrends, L.L., Lee, J.C., 1990. Hatchery systems for mouthbrooding tilapia, p.61-71. In R.Oneal Smitherman and D.Tave (eds.). Proceedings Auburn Symposium on fisheries and Aquaculture, 365 pp. Auburn University, Alabama, USA.
- Bentsen, H.B., Eknath, A.E., Palada-de Vera, M.S., Danting, J.C., Bolivar, H.L., Reyes, R.A., Dionisio, E.E., Longalong, F.M., Circa, A.V., Tayamen, M.M., Gjerde, B., 1998. Genetic improvement of farmed tilapias: growth performance in a complete diallel cross experiment with eight strains of *Oreochromis niloticus*. Aquaculture, 160 : 145-173.
- Berns, S., Chave, E.H., Peters, H.M., 1978. On the biology of *Tilapia squampinnis* (Gunther) from Lake Malawi (Teleostei : Cichlidae). Arch.Hydrobiol. 2 : 218-246.
- Broussard, M.C.Jr., Reyes, R., Raguindin, F. 1983. Evaluation of hatchery management schemes for large scale production *Oreochromis niloticus* fingerlings in Central Luzon, Philippines. In Fishelson, L. and Yaron, Z., (compilers), proceeding of the First International Symposium on Tilapia Aquaculture, 624 p., Tel Aviv University, Israel.

- Brummet, R.E., M'hango, T., Maluwa, A., Costa -Pierce, B.A., 1995. Study 3 : Production of *Tilapia rendalli* under Malawian smallholding conditions ; p. 414-424. In Research Report Number 5 : *Oreochromis shiranus* and *Tilapia rendalli* fry production for Malawian smallholders, ICLARM.
- Brummett, R.E., 1997. Production of *Tilapia rendalli* juveniles under Malawian smallholder conditions. In: Fitzsimmons, K., University of Arizona (Ed.), *Tilapia Aquaculture: Proceeding of the Fourth International Symposium on Tilapia Aquaculture*. NRAES-106, Orlando, Florida, pp. 273-286.
- Caulton, 1982. Feeding, metabolism and growth of Tilapias : Some quantitative consideration ; p. 157-180; In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.). *The Biology and Culture of Tilapias* ; 432 p. Proceeding of the International Conference on the Biology and Culture of Tilapia, 2-5 septembre 1980. International Centre for Living Resources Management, Manila, Philippines.
- Collectif, 2003. *Tilapia rendalli*. Fish Base : <http://ichtyonb1.mnhn.fr/Summary/SpeciesSummary.cfm?ID=1397&genusname=Tilapia&speciesname=rendalli>.
- Collectif. 2004. GIFT Technology manual : An aid to Tilapia selective breeding. editor: N.Puttaraksar, published by World Fish Center, Penang, Malaysia. 56 p.
- Costa-Pierce, B.A., 1996. Effect of substrate and water quality on seasonal fry production ba *Tilapia rendalli* in tanks. In: Pullin, R.S.V., Lazard, J., Legendre, M. (Eds.), *The Third International Symposium on Tilapia Aquaculture*. ICLARM, CRO, ORSTOM, CIRAD-EMVT, Abidjan, pp. 280-288.
- Coward, K., Bromage, N.R., 1999. Spawning frequency, fecundity, egg size and ovarian histology in groups of *Tilapia zillii* maintained upon two distinct food ration sizes from first-feeding to sexual maturity. *Aquatic Living resources*. 12 (1) : 11-22.
- Ciriland, 1961. Laboratory on experiment on the growth of *Tilapia* spp.- The reproduction of *Tilapia esculenta* under artificial conditions. *Hydrobiologia*, 18 : 177-184.
- Dadzie, S. et Wangila, B.C.C., 1980. Reproductive biology, length-weighted relationship and relative condition of pond raised by *Tilapia zillii* (Gervais). *Journal of Fish Biology*, 17 : 243-253.
- Duponchelle, F. and Legendre, M., 2001. Rapid phenotypic changes of reproductive traits in response to experimental modifications of spatial structure in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Aquatic Living Resources*, 14: 145-152.
- Eccles, D.H., 1992. FAO species identification sheets for fishery purposes, Field guide to the freshwater fishes of Tanzania. FAO, Rome, pp. 145.
- Eknath, A.E., Acosta, B.O., 1998. Genetic improvement of Farmed Tilapia (GIFT) Project – final Report, March 1988 to december 1997. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.
- Eknath, A.E., Dey, M.M., Rye, M., Gjerde, B., Abella, T.A., Sevilleja, R.A., Tayamen, M.M., Reyes, R.A., Bentse, H.B., 1998. selective breeding of Nile Tilapia for Asia. In p.89-96. *Proceedings of the Sixth World Congress of Genetics Applied to Livestock Production.*, 27, Armidale, Australia.
- Fryer et Iles, 1972. *The cichlids fishes of the Great Lakes of Africa*. Olivier and Boyd, Edinburgh, 641 p.
- Gjerde, B., 1984. Response to individual selection for age and sexual maturity in Atlantic Salmon. *Aquaculture*, 33 : 51-72.
- Gjerde, B. et Gjerdrem, T., 1984. Estimates of phenotypic and genetic parameter for some carcass traits in Atlantic salmon and rainbow trout. *Aquaculture*, 36 : 97-100.
- Gosse, J.P., 1963. Le milieu aquatique et l'écologie des poissons dans la région de Yangambi. *Ann.Mus.R.Afr.Cent.* (serie 8 Sci.Zool.) 116 113: 113-249, + 1-10.
- Guerrero, R.D. III, Gracia, A.M., 1983. Studies on the fry production of *Oreochromis niloticus* L. in Lake based hatchery. Fishelson, L., Yuron, Z. (eds.). *Proceeding of the International Symposium on tilapia aquaculture*. Nazereth, Israel. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel. 388-393.
- Guerrero et Vilanuera, 1978. Pond Production of Nile Tilapia fingerlings with three sex ratio of breeders. Project report technical report No 13. *Freshwater Aquaculture Center Central Luzon State University, Nueva Ecija, Philippines*. 386-393.
- Huet, M., 1986. *Textbook of fish culture – Breeding and cultivation of fish*, second edition, Fishing New Books Ltd, Farnham Surrey, England. 438 p.
- Hugues, D.G., Berhends, L.L., 1983. Mass fry production of *Tilapia nilotica* seed in suspended net enclosures. Fishelson, L., Yuron, Z. (eds.). *Proceeding of the International Symposium on tilapia aquaculture*. Nazereth, Israel. Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel. 394-401.
- Hulata, G., Wolfarth, G.W., and Harvey, A., 1986. Mass selection for growth rate in the Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture*, 57 : 177-184.
- ICLARM, 1998. Dissemination and Evaluation of Genetically Improved Farmed Tilapia Species in Asia: Final Report. Asian Development Bank Regional Technical Assistance No, 5558. International Center for Living Aquatic Resources Management, Manila, Philippines.

- Jalabert, B. et Zohar, Y., 1982. Reproductive physiology in cichlid fishes, with particular references to *Tilapia* and *Sarotherodon* ; 129-140. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.). The Biology and Culture of Tilapias ; 432 p. Proceeding of the International Conference on the Biology and Culture of Tilapia, 2-5 septembre 1980. International Centre for Living Resources Management, Manila, Philippines.
- Koenings, A., 1990. Ad Koenig's book and all the fishes of Lake Malawi. T.F.H. Publications, Inc., Neptune City, N.J., 495 p.
- Kronert, U., Horstgens-Schwark, G., Langholz, H-J., 1986. Investigations on selection of tilapia for late maturity. In ; K.Tiews (eds), Symposium on selection, Hybridization and Genetic Engeneering in Aquaculture of Fish and Selfish for Consumption and Stocking, EIFAC/86/Symp.May 1986, Bordeaux, France, pp.346-352.
- Kronert, U., Horstgens-Schwark, G., Langholz, H-J., 1989. Prospects of selecting for late maturity in tilapia (*Oreochromis niloticus*). I. Family studies under Laboratory Conditions, Aquaculture, 77 : 113-121.
- Lewis, D, Reinthal, P., Trendall J. 1986. A guide to the fishes of Lake Malawi National Park. Published by WWF, World Conservation Centre, Gland, Switzerland. Creda Press.
- Lovshin, L.L., Ibrahim, H.H., 1988. Effect of broodstock exchange on *Oreochromis niloticus* egg and fry production in net enclosures, p.231-236. In Pullin, R.S.V., Bhukaswan, T., Tonguthai, K., Maclean, J.L. (eds.). The Second Intenational Symposium on Tilapia Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623 p. Thailand Department of Fisheries, Bangkok, Thaïlande and International center for living Aquatic Ressources management, Manila, Philippines.
- Lowe, R.H., 1955. The fecundity of Tilapias species. E.Afr.agric.J. 21 : 45-52.
- Lowe, R.H., 1956. Observations on the biology of Tilapia (Pisces-Cichlides) in Lake Victoria, East Africa. E.A.F.F.R.O. Suppl.1, 1-72.
- Lowe-McConnell, R.H., 1958. Observations on the biology of *Tilapia niloticus*, Linne in East African waters. Rev.Zool.Bot.Afr 57 (1-2) : 130-170.
- Lowe, R.H., 1959. Breeding behaviour patterns and ecological differences between Tilapia species and their significance for evolution withing the genus *Tilapia* (Pisces : Cichlidae). Proc. Zool. Soc. Lond. 132, 1-30.
- Lowe-McConnell, R.H., 1982.Tilapias in fish communities. p. 83-114. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.). The Biology and Culture of Tilapias ; 432 p. Proceeding of the International Conference on the Biology and Culture of Tilapia, 2-5 septembre 1980. International Centre for Living Resources Management, Manila, Philippines.
- Maluwa, A.O.H.O. 1990 Reproductive biology and fry production of *Oreochromis shiranus*, Boulanger, 1896 (Pisces : Cichlidae). M.Sc.Thesis. University of Malawi, Zomba, Malawi.
- Marshall, J.A., 1972. Influence of male sound production on oviposition in female *Tilapia mossambica* (Pisces : Cichlidae). Bull.Ecol.Soc.Am. 53, 29.
- Moreau, J., 1979. Biologie et évolution des peuplements de Cichlidés (Pisces) introduits dans les lacs malgaches d'altitude. Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse Cedex, France. 301+41 p., PhD dissertation.
- Moreau, J., 1982.Reproductive cycle of *Tilapia rendalli* and *Sarotherodon* in an upland tropical lake (Lake Alaotra, Madagascar). Acta. Oceanol., 3 : 3-32.
- Patastico, J.B., Dangilan, M.M.A., Eguia, R.V., 1988. Cannibalism among different size of tilapia (*Oreochromis niloticus*) fry/fingerling and the effect of natural food, p. 465-468. In Pullin, R.S.V., Bhukaswan, T., Tonguthai, K., Maclean, J.L. (eds.). The Second Intenational Symposium on Tilapia Aquaculture. ICLARM Conference Proceedings 15, 623 p. Thailand Department of Fisheries and International center for living Aquatic Ressources management, Manila, Philippines.
- Peters, H.M., 1963. Fecundity, egg weight and oocyte development in tilapias (Cichlidae, teleostei). ICLARM translations 2, ICLARM, Manila, The Philipines. 28p. (Peters, H.M., 1963. Eizahl, eigewicht une geleeentwicklung in der Gattung Tilapia (Cichlidae, Teleostei). Int.Rev.Gesant.Hydrobiol., 48 : 547-576.)
- Peters, H.M., 1971. Testis weight in *Tilapia* (Pisces : Cichlidae). Copeia, 1 : 13-17.
- Philippart, J.-C., Ruwet, J.-C., 1982. Ecology and distribution of Tilapias, p 15-59. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.). The Biology and Culture of Tilapias ; 432 p. Proceeding of the International Conference on the Biology and Culture of Tilapia, 2-5 septembre 1980. International Centre for Living Resources Management, Manila, Philippines.
- Pullin, 1982. General discusion on the biology and culture of tilapias ; 331-352. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.). The Biology and Culture of Tilapias ; 432 p. Proceeding of the International Conference on the Biology and Culture of Tilapia, 2-5 septembre 1980. International Centre for Living Resources Management, Manila, Philippines.

- Rakocy, J., 1985. Breeding tilapia in hapas. Alternative aquaculture network. Brenigsville, PA 18031.4 p.
- Rashidi, 1990. A synoptic review of the biology and culture of *Tilapia rendalli*, Boulenger 1896. Paper presented to ICLARM/GTZ – Malawi Department of Fisheries – University of Malawi International Conference on Research for the Development of Tropical Aquaculture Technology Appropriate for Implementation in Rural Africa, Chancellor College, Zomba, Malawi.
- Ribbink, A.J., Marsh, A.C., Marsh, B.A., 1981. Nets-building and communal care of young by *Tilapia rendalli* Dumeril (Pisces, Cichlidae) in Lake Malawi. *Env.Biol.Fish.* Vol.6, No 2, p.219-222.
- Robert, R.J., Sommerville, C., 1982. Diseases of Tilapias, p. 247-263. In R.S.V. Pullin and R.H. Lowe-McConnell (eds.). *The Biology and Culture of Tilapias* ; 432 p. Proceeding of the International Conference on the Biology and Culture of Tilapia, 2-5 septembre 1980. International Centre for Living Resources Management, Manila, Philippines.
- Santiago, C.B., Aldaba, M.B., Laron, M.A., 1982. Dietary crude protein requirement of *Tilapia niloticus* fry. *Kalikahan Philipp.J.Biol.* 11 (1-2) : 255-265.
- Santiago, C.B., Aldaba, M.B., Laron, M.A., 1983. Effect of varying crude protein levels on spawning frequency and growth of *Sarotherodon niloticus* breeders. *Fish.Res.J.Philipp.*, 9-18.
- Shell, 1983. Fish farming research. Department of fisheries and Allied Aquaculture Alabama Agricultural Experiment Station. Auburn University, Alabama ; 89-105.
- Silverman, H.I., 1978a. Effects of different levels of sensory contact upon reproductive activity of adult male and female *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* (Peters), Pisces : *Cichlidae*. *Animal Behaviour*. 26: 1081-1090.
- Silverman, H.I., 1978b. The effects of visual social stimulation upon age of first spawning in the mouthbrooding Cichlid fish *Sarotherodon (Tilapia) mossambicus* (Peters), Pisces : *Cichlidae*. *Animal Behaviour*. 26: 120-1125.
- Siddiqui, A.R., 1979. Reproductive biology of *Tilapia zillii* in Lake Naivasha, Kenya. *Environ.Biol.Fish.*, 4 (3) : 257-262.
- Skelton, 2001. A complete guide to the freshwater fishes of Southern Africa. Struik Publication. Cape Town, South Africa.
- Tacon, P., Ndiaye, P., Cauty, C., Le Menn, F., Jalabert, B., Relationship between the expression of maternal behaviour and ovarian development in the mouthbrooding cichlid fish *Oreochromis niloticus*. *Aquaculture*, 146: 261-275.
- Trewavas, E., 1982. Tilapiine fishes of the genera *Sarotherodon*, *Oreochromis* and *Danakilia*. British Museum (Natural History), London, 583 pp.
- Turner, G.F., Robinson, R.L., 2000. Reproductive biology, mating system and parental care. In: Malcolm, C.M., Beveridge, McAndrew, B.J. (Eds.), *Tilapias : Biology and exploitation*. Kluwer Academic Publishers, pp. 33-58.
- Van der Waal, B.C.W., Skelton, P.H., 1984. Check list of fishes of Caprivi. *Madoqua* 13, 303-320.
- Van Oijen, M.J.P., 1995. Appendix I. Key to Lake Victoria fishes other than haplochromine cichlids. In: Witte, F., Van Densen, W.L.T. (Eds.), *Fish stocks and fisheries of Lake Victoria. A handbook for field observations*. Samara Publishing Limited, Dyfed, Great Britain, pp. 209-300.
- Vaas, K.F., Hofstede, A.E., 1952. Studies on *Tilapia mossambica* Peters (ikan mudjair) in Indonesia. *Contrib.Inland Fish.Res.Stn.*, Djakarta, Bogor, Indonesia. 1: 1-68.
- Voss, J., 2000. *Tilapia (Coptodon) rendalli*, Boulenger, 1896. [Angelicus-terraqua.com](http://angelicus-terraqua.com).
- Welcomme, R.L., 1966. Observations on the biology of introduced species of *Tilapia* in Lake Victoria, *Revue Zool Bot afr* 76 : 249-279.
- Welcomme, R.L., 1967. The relationship between fecundity and fertility in the mouthbrooding cichlid fish *Tilapia leucosticta*. *J.Zool.*, London. 151 : 453-468.

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE 1	2
Fiches technique sur l'étude de la maturation.....	2
ANNEXE 2	4
Fiches techniques sur la sélection de masse	4
ANNEXE 3.....	10
Technique de sélection des souches GIFT.....	10
ANNEXES 4	14
Figures complémentaires	14
Figure 1 : Etat de maturation des gonades au cours des séries d'expérimentations.....	14
Figure 2 : Etat de maturation des gonades (en pourcentage) dans la population de <i>T.rendalli</i> échantillonnée au NAC.	14
Figure 3 : Relations longueur standards et autres paramètres morphologiques chez les mâles de <i>T.rendalli</i>	15
Figure 4 : Relations longueur standards et autres paramètres morphologiques chez les femelles de <i>T.rendalli</i>	15
Tableau 3 : Moyenne et médiane des paramètres mesurés chez tous les individus de <i>Tilapia rendalli</i> disséqués, avec SL : longueur standard, TL : longueur totale, BW : poids corporel, GSI : indice gonadosomatique, GW : poids des gonades.	16
Tableau 4 : Moyenne des paramètres morphologiques mesurés chez les mâles.	16
Tableau 5 : Moyenne des paramètres morphologiques mesurés chez les femelles.....	16
Tableau 6 : Poids corporel par classe d'état de maturation des gonades mâles.	16
Tableau 7 : Poids corporel par classe d'état de maturation des gonades femelles.....	16
Tableau 8 : Température (TP, °C) et taux d'oxygène dissous (DO, mg/l) dans les étangs (EP) et dans les réservoirs en béton (CP).	16
Tableau 9 a et b : Caractéristiques de la distribution des poids corporels des mâles dans les classes de maturation des gonades (a) et ANOVA (b).	17
Tableau 10 a et b : Caractéristiques de la distribution des poids corporels des femelles dans les classes de maturation des gonades (a) et ANOVA (b).	17
Tableau 11 a et b : Comparaison entre le poids des mâles et le poids des femelles ; statistiques de groupe (a), test de Levene d'égalité des variances et test- <i>t</i> d'égalité des moyennes (b).	18
Tableau 12 a et b : Comparaison entre le poids des individus matures et non matures ; statistiques de groupe (a), test de Levene d'égalité des variances et test- <i>t</i> d'égalité des moyennes (b).	18
Tableau 13 a et b : Comparaison entre les températures des étangs (EP) et des réservoirs en béton (CP) ; statistiques de groupe (a), test de Levene d'égalité des variances et test- <i>t</i> d'égalité des moyennes (b)..	18
Tableau 14 a et b : Comparaison entre les taux d'oxygène dissous (DO) des étangs (EP) et des réservoirs en béton (CP) ; statistiques de groupe (a), test de Levene d'égalité des variances et test- <i>t</i> d'égalité des moyennes (b).	19
Tableau 15 : Statistiques descriptives relatives aux poids de la descendance des croisement entre lignées de <i>Tilapia rendalli</i> , avec mâles x femelles.....	19

Gonad maturation stage of *Tilapia rendalli*

Every month, 10 fish (or 5 to 10 males and 5 to 10 female for each category if) of each body weight category are be sampled from ponds at the NAC :

A:]5-10] g ; B :]10-15] g ; C :]15 ; 20] g ; D :]20-30] g ; E : > 30 g.

The following parameters are recorded : body weight (BW, cm), total length (TL, cm), standard length (SL, cm) and body depth (BD, cm). The fish are sexed and dissected to observe the gonad maturation stages. The gonads are classified as immature (I), active (A), ripe (R), ripe running (RR), or spent (S) as described by Maluwa (1990, table 1 and 2). The mature fish are those whose gonads are from ripe to spent stages. The R and RR ovaries are preserved in formalin (4%) for egg count. Gonad weight is define every time it's possible and the total eggs of R and RR ovaries are counted one by one so as to determine the fecundity. If possible, the eggs counted can be spited into three categories :

- the non developed eggs : the small ones without vitelline;
- the developing eggs : were some vitellogenese has began, but not completely (this categorie can be empty for RR gonads);
- the complete eggs: big ones, where vitellogenesis is over.

The diameter of the eggs is measured for a sample of 50 eggs preserved in formalin.

Table 1 : Gross morphological description of male gonad maturation stages of *Tilapia*, Maluwa 1990, adapted from Balarin, 1983.

Gonad maturity stage	Symbol	Appearance of the gonad
Immature	Im	Testes thin threadlike, flesh colored, colorless to transparent.
Inactive	In	Translucent, wider than above, generally longer than ovaries in (In) female.
Active	A	Dull white/yellowish, thickened and elongate, about 3/4 visceral cavity.
Ripe	R	Cream white, distended fully over length of visceral cavity, milt evident if testes cut. Males show intensified breeding colors and nesting behavior.
Ripe running	RR	White/silvery, fully distended, milt runs freely under pressure, breeding evident.
Spent	S	Flesh/red color shrunken with blood capillaries evident.

Table 2 : Gross morphological description of female gonad maturation stages of *Tilapia*, Maluwa 1990, adapted from Balarin, 1983.

Gonad maturity stage	Symbol	Appearance of the gonad
Immature	Im	Threadlike, transparent and close to abdominal wall.
Inactive	In	Cream color, translucent, elongate wider than testis. No oocytes visible.
Inactive-active	In/A	Opaque to transparent, occupy half of the visceral cavity. Few oocytes barely visible.
Active	A	Ovary not yet swollen, but oocytes visible, yellowish with re hue.
Ripe	R	Yellow, green, or orange eggs characteristic of species, large uniform size. Occupied all available space in the visceral cavity.
Ripe running	RR	Ovaries extremely swollen and eggs run under hand pressure or separate if ovary cut.
Spent	S	Flaccid shrunken ovary, reddish with blood capillaries and small eggs discernable.

Gonad maturation stage of *Tilapia rendalli*

Date : 10 / 09 / 04

Fish nb	Cat	sex	BW (g)	TL (cm)	SL (cm)	BD (cm)	Gonad condition	Gonad Weight (g)
258								
259								
260								
261								
262								
263								
264								
265								
266								
267								
268								
269								
270								
271								
272								
273								
274								
275								
276								
277								
278								
279								
280								
281								
282								
283								
284								
285								
286								
287								
288								
288								
289								
290								
291								
292								
293								
294								
295								
296								

Nb : number ; Cat : Weight categorie (A,B,C, D or E) ; BW : Body Weight ; TL : Total Length ; SL : Standard Length ; BD : Body Depth ; Gonad condition : Im, In, In/A, A, R, RR or S.

Mass selection of *Tilapia rendalli*

The mass selection chooses an individual on his phenotype. This technique is simple and yield a rapid response, but is useful only with traits that can be evaluate in an alive fish, as the color, shape, growth rate...But it's not efficient for discrete traits and traits with low heritability as the survival rate. The main problem of this method is a disproportioned access to reproduction in favor of some individuals from the same family, and then induce a high consanguinity. The breeding goal defined for this selection is the body weight. The biggest individuals will be kept as broodstock in order to increase the growth rate of the strain selected.

Technique :

The different stages of the process is shown by the figure.

- The fry of the ponds and/or tanks are harvested every 14 or 15 days so as limit the cannibalism by the first-born fry (Baroiller et Jalabert, 1989).
- The fry are grown in a tank (1x1x0.8) for 2 month and transfered in a pond for another three months (total : 5 month).
- The selection is done with a group of the fry harvested in a month, so the one from two harvests with an interval of 14 or 15 days.
- The fingerlings from one group are counted, and the following measurements are taken :
 - o Body weight (BW), cm
 - o Total length (TL), cm
 - o Standard length (SL), cm
 - o Body depth (BD), cm

The fish that lie on there side in the anesthesia must be removed in oxygenated water because the chemical can cause fatal damages to the fish.

- The mean of the body weight and the standard deviation of the mean are determined for each group of fingerlings.

The value of the limit of selection (S) is defined by the standard deviation of the mean.

- The fingerlings where : $BW > S$ are the one kept for broodstock. They are the first generation of the selection (F1) and are mated in a different pond.
- The pond with the F1 broodstock will be harvested every 14 days and the selection will be pursued as explained above in order to produce the F2.

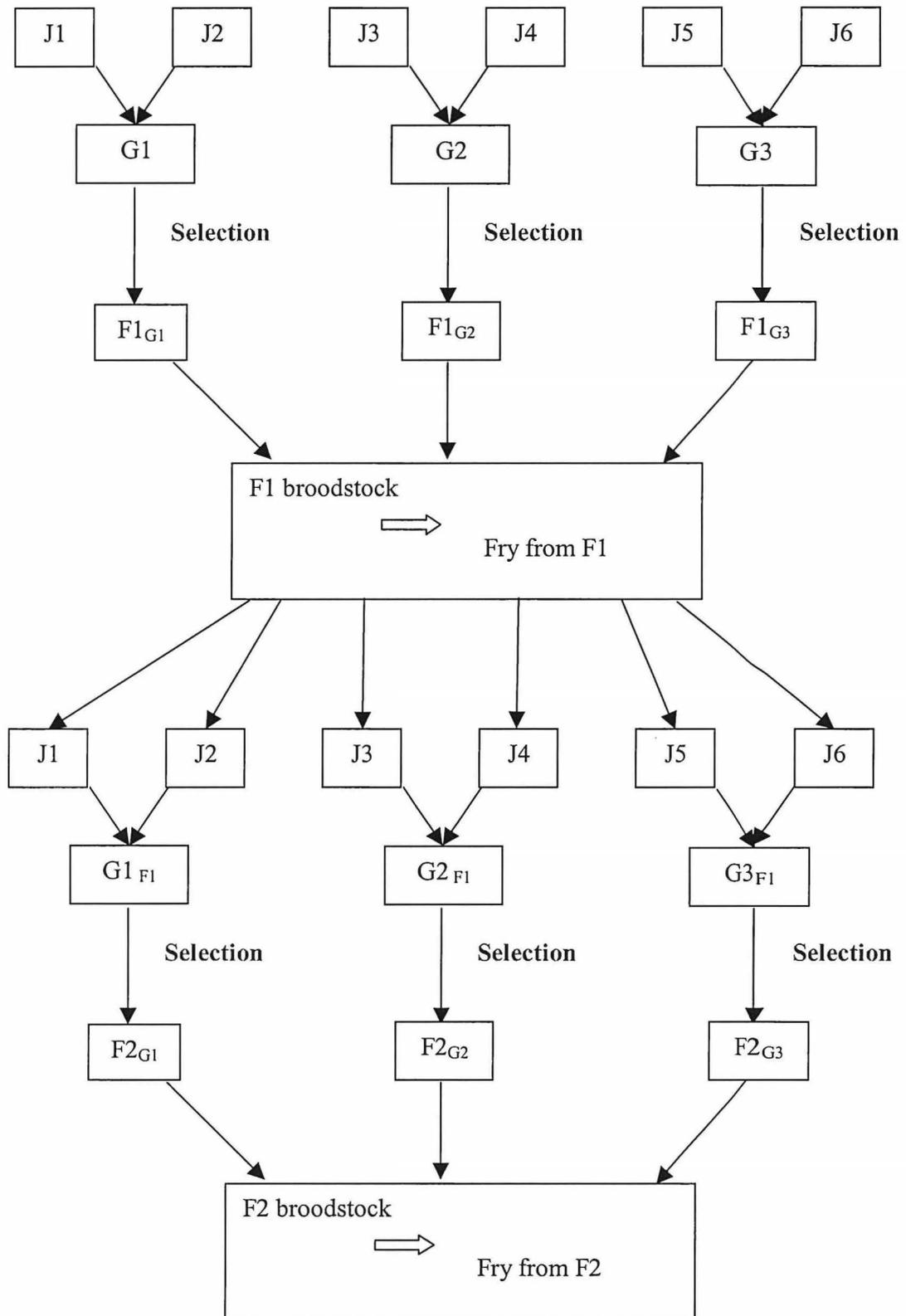


Figure 1 : Stages of the mass selection

Schedule for the mass selection of F1 *Tilapia rendalli*

Fry nb	Fry Group nb	Date of harvest	Origin	Nb of fry		Tank nb	Transfert in pond		Mass selection*
				F _i	G _i		Pond nb	Date	
F1	G1	07/07/04	EP2,3,5	1478	2479	3		14/09/04	14/12/04
F2		21/07/04	EP2,3,5	1001					
F3	G2	04/08/04	EP2,3,5	678		JICA		11/10/04	11/01/05
F4		18/08/04	EP2,3,5						
F5	G3	01/09/04	EP2,3,5					08/11/04	08/02/05
F6		15/09/04	EP2,3,5						
F7	G4	29/09/04						20/12/04	20/03/05
F8		13/10/04							
F9	G5	27/10/04						03/01/05	03/04/05
F10		10/11/04							
F11	G6	24/11/04						02/02/05	31/05/05
F12		08/12/04							
F13	G7	22/12/04						29/02/05	29/05/05
F14		05/01/05							
F15	G8	19/01/05						26/03/05	26/06/04
F16		02/02/05							
F17	G9	16/02/05						23/04/05	23/07/05
F18		01/03/05							
F19	G10	15/03/05						22/05/05	22/08/05
F20		29/03/05							
F21	G11	12/04/05						19/06/05	19/09/05
F22		26/04/05							
F23	G12	03/05/05						10/07/05	10/10/05
F24		17/05/05							
F25	G13	07/06/05						14/08/05	14/11/05
F26		21/06/05							
F27	G14	05/07/05						12/09/05	12/12/05
F28		19/07/05							
F29	G15	02/08/05						09/10/05	09/01/06
F30		16/08/05							

Nb : number

*The mass selection must be performed within a week before or after the given date.

CIRAD-Dist
UNITÉ BIBLIOTHÈQUE
Baillarguet

**The mass selection of *Tilapia rendalli*
F1 Balance sheet**

Date	Fry Group nb	Total nb of fry	Nb of fry selected	% fry selected	BW (g)	SD _{BW} (cm)	TL (cm)	SD _{TL} (cm)	SL (cm)	SD _{SL} (cm)	BD (cm)	SD _{BD} (cm)
	G1											
	G2											
	G3											
	G4											
	G5											
	G6											
	G7											
	G8											
	G9											
	G10											
	G11											
	G12											
	G13											
	G14											
	G15											

Nb : number ; BW : average Body Weight ; SD_{BW} :Standard Deviation of the mean of Body Weight ; SL : Standard Length ; SD_{SL} :Standard Deviation of the mean of Standard Length ; TL : Total Length ; SD_{TL} :Standard Deviation of the mean of Total Length ; BD : Body Depth ; SD_{BD} :Standard Deviation of the mean of Body Depth .

The mass selection of *Tilapia rendalli* F1 Run sheets

Date of selection : / /

Fry number : G

Mean body weight :

Standard deviation of the mean body weight * :

Fingerling nb	BW (g)	TL (cm)	SL (cm)	BD (cm)	Selected ? (S or NS)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					

Nb : number ; BW : Body Weight ; TL : Total Length ; SL : Standard Length ; S : Selected : NS : Non Selected

* the fish selected are the one who's body weight value is above the standard deviation above the mean of body weight.

ANNEXE 3

Technique de sélection des souches GIFT

Les stocks génétiquement modifiés ont un rôle important dans l'augmentation de la production aquacole des pays en voie de développement. Dans certains cas, il n'est pas possible d'utiliser des espèces déjà améliorées génétiquement, comme au Malawi où l'introduction d'espèce exotique est prohibée. Le transfert des technologies permettant l'amélioration génétique constitue alors une alternative et peut être appliquée à des espèces natives.

Le projet GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapias) est conduit par le World Fish Center depuis 10 ans (1988-1997) en coopération avec AKVAFORSK (The Institute of Aquaculture Research in Norway), et divers instituts de recherches nationaux aux Philippines. Ce projet a permis d'augmenter les performances de croissances du tilapia du Nil de 60 % par rapport à la population de base après 5 générations.

La valeur reproductive (breeding value, BV) d'un individu est la valeur des gènes qu'il peut donner à sa descendance, c'est-à-dire la valeur en tant que géniteur. Un individu transmet la somme des effets moyens que ses allèles possèdent, et sa BV. Le défi en sélection est d'estimer la valeur individuelle de la BV grâce à son phénotype et/ou phénotype des individus apparentés.

Il faut en premier lieu définir un objectif de sélection (breeding goal), c'est-à-dire un ensemble de caractères pour lesquels on recherche une amélioration de la valeur génétique additive des individus d'une population. Ces caractères doivent présenter un avantage économique ou sociale, comme dans cette étude le poids corporel qui permet ainsi de ne conserver pour la reproduction que les individus qui ont un taux de croissance élevé.

Trois différents types de sélection existent :

- **La sélection de masse** : c'est la sélection de l'individus sur son phénotype. Simple, mais utilisable que pour des traits qui peuvent être évalués sur le poisson vivant (couleur, forme, croissance...) mais n'est pas efficace pour des améliorer des traits discrets et peu héréditaires (taux de survie). Le problème de cette méthode est une contribution disproportionnée de l'accès à la reproduction en faveur de quelques individus apparentés, donc une consanguinité élevée. Il est possible d'empêcher la consanguinité en n'utilisant que quelques individus par famille de frères/sœurs et par familles de demi-frère/soeur.
- **La sélection familiale** : elle permet d'améliorer les traits qui ne peuvent être évalués quand l'animal est vivant (qualité de la carcasse), pour les groupes (alimentation), ou les traits à incidence élevée ou faible (taux de survie, âge à la première maturité...). Cette sélection est plus performante que celle de masse si le taux d'hérédité est faible.
- **La sélection combinée** : la sélection familiale est combinée avec une sélection de masse pour améliorer l'estimation de la BV, et avoir une meilleure réponse à la sélection. Elle peut prendre la forme d'un index dans lequel les informations de chaque et famille de plein frères et de demi-frères sera incluse, ou peut être implémentée en utilisant le 'Best Linear Unbiased Prédiction' ('BLUP'), qui permet simultanément l'estimation de la BV et l'ajustement des effets fixes.

La valeur du gain génétique obtenu par la sélection dépend de la présence de variation génétique additive dans la population de base (et d'autres facteurs comme le maintien du caractère d'une génération à l'autre). Pour augmenter la variation génétique de la population de base, différentes lignées sont utilisées. Dans le cas de *Tilapia rendalli*, les souches sauvages sont très proches des souches domestiques, et l'on peut donc utiliser les deux. Des croisements entre les lignées sont alors effectués (tab.1), qui peuvent par après être étudiés dans différents environnements.

Tableau 1 : Etablissement de la population de base par croisement 'diallele cross design'. Avec pour *T.rendalli* A : Chiuta (CU, lac); B : Bvumbwe (BV, réservoir); C : Minimini (MIM, réservoir) ; D : Domasi (station) ; E : Kasinthula (KS, station). En rouge sont indiqués les souches pures, en bleu les croisements.

Diallele cross design		Souche parent femelle				
		A	B	C	D	E
Souche parent male	A	AA	AB	AC	AD	AE
	B	BA	BB	BC	BD	BE
	C	CA	CB	CC	CD	CE
	D	DA	DB	DC	DD	DE
	E	EA	EB	EC	ED	EE

Elevage et reproduction des géniteurs

Les pontes sont synchronisées pour avoir des groupes de juvéniles uniformes en taille et en âge. Pour cela, il faut séparer les mâles des femelles. La densité recommandée pour leur maintien en réservoirs (1 x 1 x 1 m) est de 3 individus.m⁻² si le poids est inférieur à 200 g, ou de 2 individus.m⁻² si le poids excède 200 g. Si des signes d'agressivité sont observés, la densité peut être réduite. En hapas de 1,5 x 4 x 1 m (largeur x longueur x profondeur), la densité recommandée est de 20 individus.m⁻². Un aliment appropriée doit être utilisé (des résidus de maïs qui sont disponible en permanence et a moindre coût au Malawi pour *O. shiranus* et *T. rendalli*) à un taux de 3 % du poids corporel. La maturité sexuelle des femelles (tab.2) devrait être évaluée afin d'apparier les femelles prêtes à pondre (RS). Ceci n'est pas effectué au Malawi où les femelles sont introduites directement dans les hapas, appariées ou non avec un mâle.

Tableau 2 : Catégories de maturité sexuelle de la femelle de tilapia du Nil (*Oreochromis niloticus*) et le nombre évalué de jours avant la ponte suivante (Collectif, 2004).

Catégorie	Code	Caractéristiques morphologiques	Nombre de jours avant la ponte
Prêt à pondre <i>Ready to spawn</i>	RS	Papille génitale rose à rouge saillante, pore génital entièrement ouvert, abdomen distendu.	3 - 7
Ponte en préparation <i>Swollen</i>	S	Papille génitale rose à rouge, pore génital légèrement ouvert, et abdomen légèrement distendu.	5 - 10
Pas prêt a pondre <i>Not ready to spawn</i>	NRS	Papille génitale blanche ou claire et plane, abdomen normal.	21 - 30
A déjà pondu <i>Has spawned</i>	HS	Papille génitale rouge, abdomen rétréci à compressé.	15 - 30

Des hapas de 1 x 1 x 1 m sont installés dans un étang. De la chaux est appliquée à un taux de 100 g.m⁻² (le minimum recommandé) et fertilisé une semaine avant le stockage avec 2 000 kg de fumier de poulet (100 kg de fertilisant inorganique NPK a un ratio 16 : 20 : 0 est conseillé). Une distance de 40 cm entre les hapas permet une bonne circulation de l'eau.

Un mâle est apparié de façon aléatoire avec trois femelles pour produire des familles de demi-frères (sœur) paternelles. Ceci permet le calcul des paramètres phénotypiques et génotypiques (héritabilité, corrélations) qui sont nécessaires au calcul de la BV. Il est nécessaire d'éviter les appariements d'individus proches parents pour prévenir des effets de la consanguinité.

Les hapas sont vérifiés une fois par semaine pour surveiller les reproductions. Lorsque les alevins sont observés, le mâle est immédiatement mis avec la seconde femelle. Lorsque des comportements d'agressivité du mâle envers la femelle sont observés, on procède au mouth

clipping, qui consiste à couper la lèvre supérieure du mâle. Ceci peut être effectué de façon préventive lorsque la taille du mâle est plus de 30 % supérieure la femelle.

Avec *Oreochromis niloticus*, les alevins apparaissent 10 à 14 jours après le stockage des géniteurs. Dans cette étude, ils peuvent mettre quelques mois avant d'apparaître lorsque les températures sont trop faibles (inférieures à 21°C en hiver). Les alevins sont récoltés tôt le matin pour éviter stress et mortalités. Les alevins récoltés accidentellement n'ayant pas résorbé leur vésicule vitelline devraient être placés dans des incubateurs artificiels, mais cette pratique n'est pas observée dans cette étude.

Elevage des alevins

Selon les recommandations, les alevins devraient être élevés en hapas (1 x 1 x 1 m à densité de 150 à 200 alevins.m⁻³, en conservant la même densité entre hapas pour avoir les mêmes conditions environnementales), puis en B-nets cage à densité plus réduite (100 à 150 ind.m⁻³). Dans cette étude, les alevins de chaque ponte sont élevés en réservoirs, la densité diffère donc selon les réservoirs. Les alevins sont alors marqués entre 3 et 5 g.

Marquage

Il est recommandé de mettre les juvéniles dans des réservoirs avec aération un ou deux jours avant l'anesthésie pour le marquage, ce qui réduit le stress pendant la manipulation. Dans cette étude, les poissons sont pêchés directement dans les réservoirs d'élevage. L'anesthésique utilisé est l'éthyl 4-aminobenzoate (le tricaine méthanesulphate ou MS222 à [0.33 g/l] est recommandé). Les poissons qui tournent sur le côté doivent immédiatement être retirés de l'anesthésiant, qui provoque des dommages irréversibles s'il est appliqué trop longtemps (la mobilité doit être retrouvée en 2-3 minutes).

Des 'floy fingerling tags' sont utilisés pour individualiser les poissons. Ils sont constitués par une pièce en plastique tenue par un monofilament, dont le code est basé sur des chiffres. Auparavant, des fils en vinyl étaient utilisés, mais actuellement, les essais sont entrepris avec des monofilaments. En effet, les tags des individus en tank s'emmêlent et les poissons sont capables de « digérer » le fil. La démarche à suivre pour marquer les poissons est la suivante :

- couper 15 cm de monofilament, faire un nœud, insérer le tag puis une rondelle en plastique (au 2 bouts) ;
- insérer le tag du côté gauche entre la 6^{ème} et 7^{ème} épine dorsale de la nageoire caudale, au-dessus de la ligne latérale. L'aiguille est insérée sous une écaille et passée dans le tissu sans toucher aucun os ni aucune veine. Attacher le plastique rond, faire un triple nœud pour sécuriser le tag. Couper le fil, qui doit avoir 3-5 cm de marge pour la croissance du poisson.

Le marquage de 15 poissons par groupe de pleins frères est recommandé. Dans un programme de sélection, la population potentielle de géniteurs doit avoir un minimum de 20-30 poissons par groupe de pleins frères. Idéalement, ces groupes devraient être élevés dans tous les environnements rencontrés (étangs, systèmes intégrés avec les cultures...). Dans ce programme de sélection, les poissons sont élevés dans des étangs et réservoirs de trois sites différents : Domasi, Chisitu et Kasinthula (région Sud du Malawi).

Analyse des données

Pour estimer les BV, il faut corriger des effets environnementaux. Par exemple, la BLUB procédure permet à la fois l'ajustement des effets de l'environnement et l'évaluation de la BV.

L'héritabilité peut être définie comme la proportion de 'supériorité' parentale qui est transmise à la génération suivante. Elle est estimée comme le ratio entre la variance génétique additive et la variance phénotypique du trait en question. Elle est utilisée dans l'estimation de la BV pour des objectifs de sélection. Généralement, les valeurs d'héritabilité viennent d'autres données sur le trait en question. Si plus d'un trait est impliqué, des corrélations sont nécessaires pour l'estimation multi-trait de la BV.

Sélection des géniteurs :

Pour obtenir un gain génétique acceptable et pour éviter une consanguinité trop élevée, la population effective doit être relativement élevée :

$$N_e = 4 N_f N_m / (N_f + N_m) \quad (1)$$

avec N_e : population effective, N_f : nombre de femelles et N_m : nombre de mâles.

ANNEXES 4 Figures complémentaires

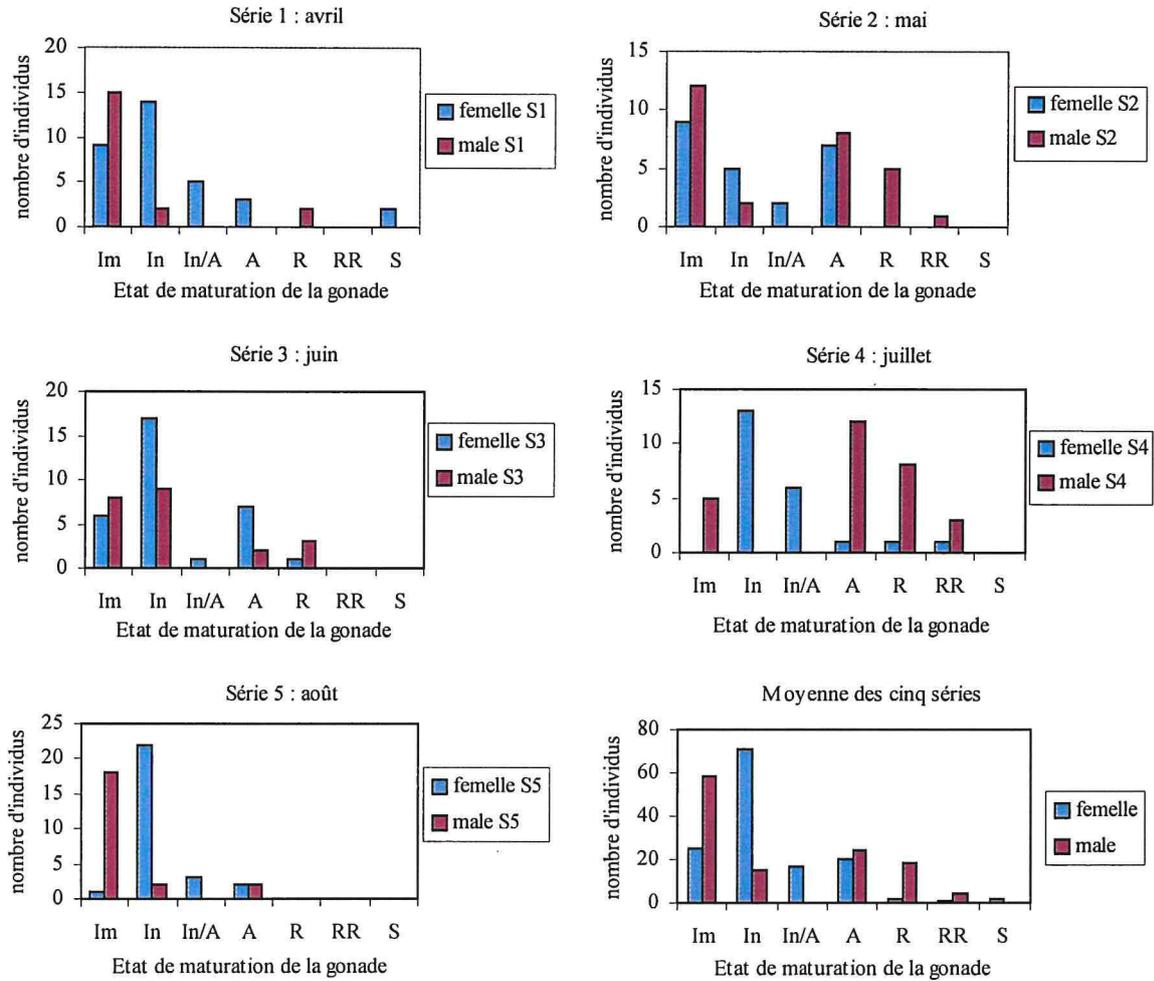


Figure 1 : Etat de maturation des gonades au cours des séries d'expérimentations.

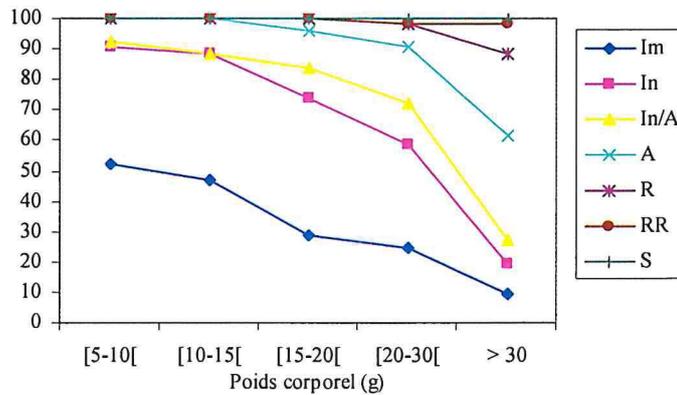


Figure 2 : Etat de maturation des gonades (en pourcentage) dans la population de *T. rendalli* échantillonnée au NAC.

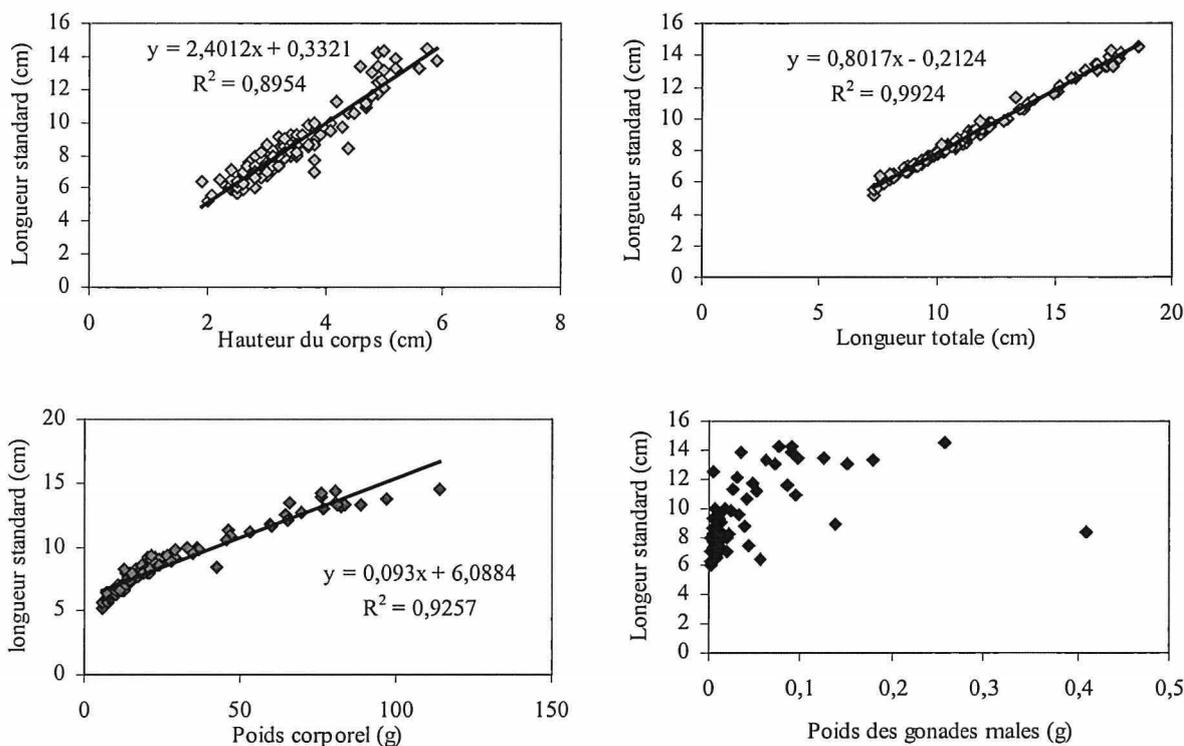


Figure 3 : Relations longueur standards et autres paramètres morphologiques chez les mâles de *T.rendalli*.

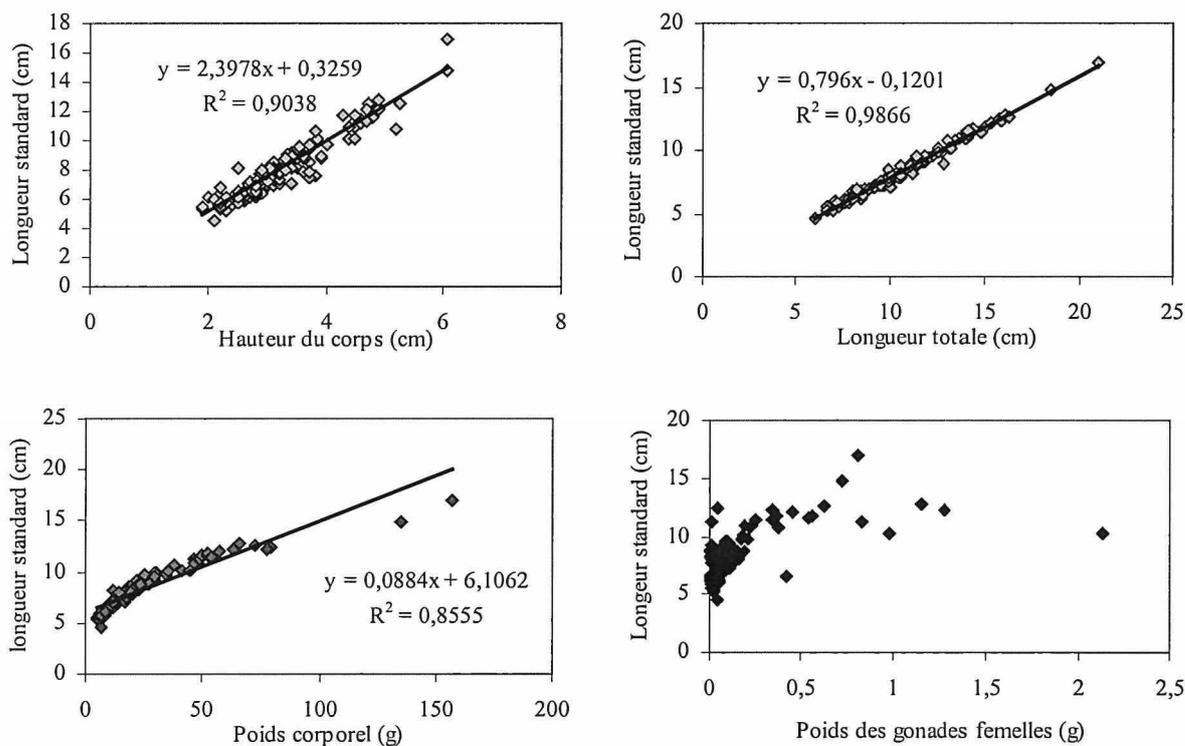


Figure 4 : Relations longueur standards et autres paramètres morphologiques chez les femelles de *T.rendalli*.

Tableau 3 : Moyenne et médiane des paramètres mesurés chez tous les individus de *Tilapia rendalli* disséqués, avec SL : longueur standard, TL : longueur totale, BW : poids corporel, GSI : indice gonadosomatique, GW : poids des gonades.

	SL	TL	BW	BD	GSI	GW
Données valide	257	257	257	257	191	191
Moyenne	8,35	10,66	24,82	2,98	,3670	,1130
Médiane	8,00	10,20	17,40	3,00	,2764	4,29000E-02
Ecart-type	2,167	2,701	22,502	1,410	,5393	,2404

Tableau 4 : Moyenne des paramètres morphologiques mesurés chez les mâles.

	N	Intervalle	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
BW	119	108,60	5,60	114,20	26,950	23,29
TL	119	11,30	7,30	18,60	10,987	2,80
SL	119	9,30	5,20	14,50	8,596	2,25
BD	119	4,00	1,90	5,90	3,442	,888
GSI	68	,793056	,000000	,7931	8,6677617E-02	,1176
GW	68	,4087	,0001	,4088	3,48824E-02	6,05148E-02

Tableau 5 : Moyenne des paramètres morphologiques mesurés chez les femelles.

	N	Intervalle	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
BW	138	152,10	5,20	157,30	22,9768	21,7132
TL	138	15,00	6,00	21,00	10,3743	2,5900
SL	138	12,30	4,60	16,90	8,1377	2,0756
BD	138	4,17	1,90	6,07	3,2580	,8230
GW	123	2,1295	,0020	2,1315	,153407	,288117
GSI	123	4,779632	,010256	4,789888	,51636633	,61595042

Tableau 6 : Poids corporel par classe d'état de maturation des gonades mâles.

	N	Intervalle	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Im	58	83,20	5,60	88,80	16,0379	12,2039
In	15	51,50	13,10	64,60	22,2733	13,2148
A	24	89,60	7,20	96,80	31,8042	24,6208
R	18	98,70	15,50	114,20	53,7111	29,1711
RR	4	48,10	33,00	81,10	53,1500	20,3903

Tableau 7 : Poids corporel par classe d'état de maturation des gonades femelles.

	N	Intervalle	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
Im	25	73,80	5,20	79,00	16,2600	14,7833
In	71	42,70	5,20	47,90	15,8324	8,5198
In/A	17	53,00	9,90	62,90	27,9765	14,4107
A	20	128,70	6,20	134,90	40,6950	30,4035
R	2	36,30	41,70	78,00	59,8500	25,6680
RR	1	,00	44,50	44,50	44,5000	,
S	2	128,10	29,20	157,30	93,2500	90,5804

Tableau 8 : Température (TP, °C) et taux d'oxygène dissous (DO, mg/l) dans les étangs (EP) et dans les réservoirs en béton (CP).

	N	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart type
TP CP	33	16,50	24,20	20,5606	2,1820
TP EP	33	14,70	23,50	19,6348	2,2046
DO CP	30	4,20	9,70	7,1633	1,5130
DO EP	30	4,10	7,80	6,4600	1,1655

Tableau 9 a et b : Caractéristiques de la distribution des poids corporels des mâles dans les classes de maturation des gonades (a) et ANOVA (b).

a)	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
Im	58	16,0379	12,2039	1,6024	12,8291	19,2468	5,60	88,80
In	15	22,2733	13,2148	3,4120	14,9552	29,5914	13,10	64,60
A	24	31,8042	24,6208	5,0257	21,4077	42,2006	7,20	96,80
R	18	53,7111	29,1711	6,8757	39,2047	68,2176	15,50	114,20
RR	4	53,1500	20,3903	10,1951	20,7045	85,5955	33,00	81,10
Total	119	26,9496	23,2937	2,1353	22,7210	31,1781	5,60	114,20

b)	Somme des carrés	ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	23436,414	4	5859,104	16,456	,000
Intra-groupes	40589,823	114	356,051		
Total	64026,237	118			

Le test de Levene donne $F_{obs} = 11,604 > F_{0,05} = 2,4$ ($ddl_1 = 4$, $ddl_2 = 114$), l'homoscédasticité n'est pas vérifiée. Si H_0 est vraie, F suit une loi de Fisher-Snedecor a $v_1 = k - 1 = 4$ et $v_2 = n - k = 113$ degrés de liberté. Pour un risque de α de 0,05, la valeur critique $F_{0,05} = 2,5$. Or $F > F_{0,05}$, l'hypothèse d'égalité des moyennes est donc acceptée. La variance intergroupe est en effet inférieure à la variance intragroupe. Avec nos données, il n'est pas possible de caractériser les classes d'état de maturation par un intervalle de poids corporel.

Tableau 10 a et b : Caractéristiques de la distribution des poids corporels des femelles dans les classes de maturation des gonades (a) et ANOVA (b).

a)	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard	Intervalle de confiance à 95% pour la moyenne		Minimum	Maximum
					Borne inférieure	Borne supérieure		
Im	25	16,2600	14,7833	2,9567	10,1577	22,3623	5,20	79,00
In	71	15,8324	8,5198	1,0111	13,8158	17,8490	5,20	47,90
In/A	17	27,9765	14,4107	3,4951	20,5672	35,3858	9,90	62,90
A	20	40,6950	30,4035	6,7984	26,4657	54,9243	6,20	134,90
R	2	59,8500	25,6680	18,1500	-170,7676	290,4676	41,70	78,00
RR	1	44,5000	-	-	-	-	44,50	44,50
S	2	93,2500	90,5804	64,0500	-720,5824	907,0824	29,20	157,30
Total	138	22,9768	21,7132	1,8483	19,3218	26,6318	5,20	157,30

b)	Somme des carrés	Ddl	Moyenne des carrés	F	Signification
Inter-groupes	24514,700	6	4085,783	13,356	,000
Intra-groupes	40075,666	131	305,921		
Total	64590,366	137			

Le test de Levene donne $F_{obs} = 15,70 > F_{0,05} = 2,3$ ($ddl_1 = 6$, $ddl_2 = 131$), l'homoscédasticité n'est à nouveau pas vérifiée. Si H_0 de l'ANOVA est vraie, F suit une loi de Fisher-Snedecor a $v_1 = k - 1 = 6$ et $v_2 = n - k = 131$ degrés de liberté. Pour un risque de α de 0,05, la valeur critique $F_{0,05} = 2,2$. Or $F > F_{0,05}$, l'hypothèse d'égalité des moyennes est donc acceptée, mais comme ce test suppose une égalité des variances, ce résultat ne peut être pris en compte.

Tableau 11 a et b : Comparaison entre le poids des mâles et le poids des femelles ; statistiques de groupe (a), test de Levene d'égalité des variances et test-*t* d'égalité des moyennes (b).

a)

sexe	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
males	119	26,950	23,294	2,135
femelles	138	22,977	21,713	1,848

b)

Test de Levene		Test- <i>t</i>					Intervalle de confiance 95% de la différence	
F	Sig.	t	ddl	Sig. (bilatéral)	Différence moyenne	Différence écart-type	Inférieure	Supérieure
2,935	,088	1,414	255	,159	3,973	2,810	-1,560	9,506

L'homoscédasticité est vérifiée grâce au test de Levene. En effet, $F_{0,05} = 3,9 > F$. L'hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée car $t_{0,05} = 1,97 > t$. Les mâles capturés ont un poids corporel (en moyenne) supérieur à celui des femelles.

Tableau 12 a et b : Comparaison entre le poids des individus matures et non matures ; statistiques de groupe (a), test de Levene d'égalité des variances et test-*t* d'égalité des moyennes (b).

a)

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
Non matures	229	20,851	17,36	1,15
Matures	28	57,25	32,13	6,07

b)

Test de Levene	Sig.	Test- <i>t</i>	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type	Intervalle de confiance 95% de la différence	
F		t					Inférieure	Supérieure
26,329	,000	-5,889	28,957	,000	-36,395	6,180	-49,036	-23,755

L'homoscédasticité n'est pas vérifiée (test de Levene). En effet, $F_{0,05} = 3,9 < F$. L'hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée car $t_{0,05} = 1,97 > t$. Le test-*t* utilisé est celui sous l'hypothèse des variances inégales ; l'hypothèse d'égalité des moyennes est rejetée car $(-t_{0,05}) > t$. Le poids corporel des individus matures est supérieur à celui des non matures.

Tableau 13 a et b : Comparaison entre les températures des étangs (EP) et des réservoirs en béton (CP) ; statistiques de groupe (a), test de Levene d'égalité des variances et test-*t* d'égalité des moyennes (b).

a)

	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
EP	33	19,6348	2,2046	,3838
CP	33	20,5606	2,1820	,3798

b)

Test de Levene	Sig.	Test- <i>t</i>	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type	Intervalle de confiance 95% de la différence	
F		t					Inférieure	Supérieure
,063	,803	-1,714	64	,091	-,9258	,5400	-2,0045	,1529

L'homoscédasticité est vérifiée grâce au test de Levene ($F_{0,05} = 4,12 > F$). L'hypothèse d'égalité des moyennes est acceptée ($t_{0,05} = 2,829 > t$), les températures peuvent être considérées comme équivalentes dans les étangs et les réservoirs en béton.

Tableau 14 a et b : Comparaison entre les taux d'oxygène dissous (DO) des étangs (EP) et des réservoirs en béton (CP) ; statistiques de groupe (a), test de Levene d'égalité des variances et test-*t* d'égalité des moyennes (b).

a)	N	Moyenne	Ecart-type	Erreur standard moyenne
EP	30	6,4600	1,1655	,2128
CP	30	7,1633	1,5130	,2762

b)

Test de Levene F	Sig.	Test-t t	ddl	Sig. (bilatérale)	Différence moyenne	Différence écart-type	Intervalle de confiance 95% de la différence	
							Inférieure	Supérieure
2,373	,129	-2,017	58	,048	-,7033	,3487	-1,4013	-5,3447E-03

L'homoscédasticité est vérifiée grâce au test de Levene ($F_{0,05} = 4,17 > F$). L'hypothèse d'égalité des moyennes est acceptée ($t_{0,05} = 2,829 > t$), la DO peut être considérée comme équivalente dans les étangs et les réservoirs en béton.

Tableau 15 : Statistiques descriptives relatives aux poids de la descendance des croisement entre lignées de *Tilapia rendalli*, avec mâles x femelles.

	N	Intervalle	Minimum	Maximum	Moyenne	Erreur std	Ecart type
BVxBV	17	153,40	13,00	166,40	56,1882	11,8175	48,7249
BVxCU	8	119,00	11,00	130,00	42,2375	15,5443	43,9659
BVxDO	6	135,00	8,00	143,00	44,5667	20,3099	49,7488
BVxKS	7	99,60	9,80	109,40	51,0857	14,3448	37,9528
BVxMIM	3	46,50	49,50	96,00	68,5000	14,0801	24,3875
CUxBV	8	142,60	14,00	156,60	38,2250	17,0687	48,2774
CUxCU	5	137,90	11,30	149,20	62,0400	25,5581	57,1497
CUxDO	22	105,80	11,60	117,40	55,9409	6,9101	32,4115
CUxKS	2	24,00	38,00	62,00	50,0000	12,0000	16,9706
CUxMIM	6	44,50	37,00	81,50	58,1833	6,1855	15,1513
DOxBV	2	14,70	182,10	196,80	189,4500	7,3500	10,3945
DOxCU	10	59,20	34,20	93,40	62,9300	6,3065	19,9430
DOxDO	1	0		53,90		-	-
DOxKS	6	87,00	49,00	136,00	81,0333	12,9346	31,6831
DOxMIM	5	36,20	44,00	80,20	62,8000	6,4407	14,4019
KSxBV	2	75,10	37,00	112,10	74,5500	37,5500	53,1037
KSxCU	7	164,00	21,80	185,80	77,0571	19,4972	51,5847
KSxDO	7	100,70	69,00	169,70	128,2286	14,8196	39,2089
KSxKS	5	124,80	66,40	191,20	105,8800	23,5596	52,6808
KSxMIM	7	186,70	10,50	197,20	89,3429	29,2899	77,4938
MIMxBV	29	122,90	10,60	133,50	38,2828	6,2228	33,5110
MIMxCU	12	162,80	17,00	179,80	105,6000	17,2857	59,8795
MIMxDO	2	,00	100,00	100,00	100,0000	,0000	,0000
MIMxKS	14	187,50	6,50	194,00	74,1143	19,6392	73,4831
MIMxMIM	3	2,00	46,90	48,90	47,5667	,6667	1,1547