

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Institut des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral
ISMAL

Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en science de la mer
option : Aquaculture

Travail réalisé au Centre National d'Etudes et de Documentation pour la Pêche
et l'Aquaculture

thème

Fabrication et essai de 4 formulations d'aliments pour le
pré-grossissement d'oeuvres marines.

Présenté par :
Bouglane djamila
Chetouane rabéa
Mekhati idir

Membres du jury :
Mr SEFIANE Omar chargé de cours (ISMAL) Président de jury
Mr MEZIANE Nouredine Dr vétérinaire (CNDPA) Promoteur
Mr BOUAZIZ Ahmed chargé de cours (ISMAL) Examineur
Mr BELHASNET Khafed chargé de cours (ISMAL) Examineur
Mme MESLEM Nabila chargée de cours (ISMAL) Examinatrice

Session juin 2004

REMERCIEMENTS

Nos sincères remerciements vont à :

Mr HACHMANE, directeur du CNDPA, et Mr ZOUREZ, chef de département de la pêche et de l'aquaculture (CNDPA) pour avoir bien accepté de réaliser la partie pratique de notre travail au niveau de ce centre.

Mr SEFIANE Omar qui a accepté de présider ce jury.

Mr BELHASNET Khaled, BOUAZIZ Ahmed et Mme MESLEM Nabila qui ont accepté d'examiner ce modeste travail et de leurs précieux conseils.

Mr MEZIANE Noureddine, notre promoteur, pour ses précieux conseils et ses aides.

Nous tenons aussi à remercier :

Toute l'équipe du service aquaculture et celle du labo de chimie (CNDPA), spécialement Mr DJILLALI et Mr BOUDJENAH Mustapha pour leur coopération et leurs conseils.

Tout le personnel du labo aquaculture de l'ISMAL ainsi que le staff administratif.

Nos sincères remerciements vont également à nos parents, frères et sœurs qui n'ont pas cessé de nous encourager et pour leur compréhension et aides.

SOMMAIRE

Introduction

1. Généralités.....	1
1.1. Biologie d' <i>Oreochromis niloticus</i>	3
1.1.1. Systématique.....	3
1.1.2. Morphologie.....	3
1.1.3. Anatomie, physiologie et digestion.....	4
1.1.4. Répartition géographique.....	7
1.1.5. Le régime alimentaire.....	10
1.1.6. La croissance.....	11
1.2. Les paramètres de tolérance.....	12
1.2.1. La température.....	12
1.2.2. L'oxygène dissous.....	12
1.2.3. Potentiel d'hydrogène.....	13
1.2.4. Salinité.....	13
1.2.5. Limites létales des nitrites, nitrates, ammonium et MES.....	13
1.3. Besoins nutritifs d' <i>Oreochromis niloticus</i>	14
1.3.1. Les protéines.....	14
1.3.1.1. Rôle des protéines.....	14
1.3.1.2. Les besoins en protéines.....	14
1.3.2. Les lipides.....	15
1.3.2.1. rôle des lipides.....	15

1.3.2.2. Besoins en lipides.....	16
1.3.3. Les glucides.....	16
1.3.4. Vitamines.....	17
1.3.5. Besoins en minéraux.....	18
1.3.6. Besoins énergétique	18
1.3.6.1. Le devenir de l'énergie alimentaire.....	18
1.3.6.2. Les besoins énergétiques pour la croissance	19
1.4. Facteurs antinutritionnels.....	19
1.4.1. Principaux facteurs antinutritionnels des produits végétaux.....	20
1.4.1.1. Acide phytique.....	20
1.4.1.2. Facteurs antitrypsiques.....	20
1.4.1.3. Autre facteurs antinutritionnels.....	20
1.4.2. Facteurs antinutritionnels des produits animaux.....	21
1.4.2.1. Thiamine.....	21
1.4.2.2. Histamine.....	21
1.4.2.3. Lipides peroxydés.....	21
1.5. Pathologie d'origine nutritionnelle	21
1.5.1. Carence en Protéines.....	22
1.5.2. Carence en Lipides.....	22
1.5.3. Carence en Vitamines.....	23
1.5.4. Carence en Minéraux.....	24

1.6. Avantages et inconvénients des matières premières utilisées.....	25
1.6.1. Farines d'origine animale.....	25
1.6.2. Farines d'origine végétale.....	26
2. Formulation des aliments en aquaculture.....	28
2.1. Principe général.....	28
2.2. Les différentes étapes de cette méthode.....	29
2.2.1. Classement des matières premières disponibles.....	29
2.2.2. Choix des matières premières à utiliser en fonction de leur prix et de leur valeur.....	30
2.2.3. Calcul de la quantité de chaque matière première servant à l'élaboration de chaque formule.....	30
2.2.3.1. Exemple.....	30
2.2.3.2. Fonction et calculs qu'il faut faire	33
2.3. Intérêt de la méthode proposée.....	41
3. Fabrication d'aliments.....	42
3.1. Processus de fabrication.....	42
3.1.1. Matériels.....	42
3.1.2. Fabrication de la farine de poisson.....	42
3.1.3. Méthode de fabrication d'aliments.....	45
3.1.3.1. Séchage des matières premières.....	45
3.1.3.2. Broyage.....	45
3.1.3.3. Pesage.....	45
3.1.3.4. Mélange.....	46
3.1.3.5. Pressage et calibrage.....	47
3.1.3.6. Séchage d'aliment.....	47
3.1.3.7. Conservation.....	48

4. Distribution et test d'aliments.....	49
4.1. Matériels.....	49
4.2. Méthode.....	50
5. Méthodes d'évaluation de l'efficacité de l'aliment.....	52
5.1. Indices.....	52
5.1.1. Indice de conversion (IC).....	52
5.1.2. Coefficient d'efficacité protéique (CEP).....	52
5.1.3. Indice de croissance journalière (ICJ).....	53
5.2. Tests statistiques.....	53
5.2.1. Test de comparaison entre plusieurs moyennes et analyse de la variance.....	53
5.2.2. Test de comparaison entre deux moyennes	54
5.3. Evaluation économique des aliments testés.....	55
6. Résultats.....	56
7. Discussion.....	72
8. Conclusion.....	76
Bibliographie.....	78
Annexes	85

Introduction

Oreochromis niloticus est de plus en plus reconnue comme une espèce de choix pour l'élevage intensif à travers le monde pour plusieurs raisons :

- Elle supporte bien les situations de stress et les activités liées à la pisciculture (tri, manipulations, pêche, transport,...) ;
- Elle a une croissance rapide ;
- Elle supporte de larges variations des paramètres physico-chimiques du milieu (température, oxygène, PH,...) ;
- La qualité de sa chair est délicieuse et contient peu d'arêtes, avec un fort contenu protéique et vitaminique (Kestemont et *al*, 1989).

D'après Arrignon, 2002, la production mondiale aquacole de cette espèce est d'environ 930000 tonnes.

Cependant, la pisciculture intensive rencontre des problèmes quant au choix de l'aliment le plus favorable permettant :

- des taux de croissance élevés ;
- d'assurer un bon état sanitaire ;
- une qualité organoleptique acceptable
- d'avoir un coût le plus bas possible
- d'avoir le moins d'impacts négatifs possible sur l'environnement.

Les formulations d'aliment standard universellement acceptées n'existent pas puisque l'intérêt d'un ingrédient particulier sera fonction de son abondance et de sa disponibilité et donc de son prix selon les régions.

La nutrition des poissons n'a retenue l'attention des scientifiques que depuis une date récente, et elle ne souffre pas seulement de sa jeunesse mais aussi des difficultés d'étude liées au milieu et les particularités nutritionnelles des poissons (Guillaume et *al*, 1999).

En Algérie, l'élevage d'*Oreochromis niloticus* est une activité nouvelle, les travaux de recherche sur cette espèce sont peu nombreux et l'introduction de cette espèce est très récente (en Mai 2001) (Boutouchent, 2002).

Actuellement, il n'est produit aucun aliment artificiel pour poisson d'élevage par manque de maîtrise technique et scientifique de ce sujet. Ceci va constituer alors un facteur limitant qui pourrait décourager ceux qui voudraient se lancer dans l'élevage intensif de cette espèce.

Ce présent travail dont la partie pratique est réalisée au sein du Centre National d'études et de Documentation pour la Pêche et l'Aquaculture (CNDPA) propose :

- une étude bibliographique approfondie sur la biologie, les besoins nutritifs et la pathologie d'origine nutritionnelle d'*Oreochromis niloticus* ; de la présentation des matières premières utilisées en alimentation animales ainsi que la mesure de l'efficacité des aliments fabriqués.

- Une méthode de formulation d'aliment simple, sans avoir recours aux logiciels de formulation d'aliments pour poissons et qui sont inexistantes en Algérie.

- et un essai de quatre (4) aliments fabriqués à partir des matières premières couramment utilisées par les fabricants d'aliment et dont le cours international est fluctuant. Ces quatre aliments doivent répondre aux besoins nutritifs de nos poissons et être formulés aux moindres coûts.

1. Généralités

1.1. Biologie d'*Oreochromis niloticus*:

1.1.1. Systématique :

Embranchement :	Vertébrés
Classe :	Actinoptérygie
Ordre :	Perciformes
Famille :	Cichlides
Genre :	<i>Oreochromis</i>
Espèce :	<i>Oreochromis niloticus</i> (Trewavas, 1983)

Remarque :

Les principaux synonymes de cette espèce que l'on peut trouver dans la littérature récente sont :

- *Oréochromis niloticus niloticus*;
- *Tilapia nilotica*
- *Sarotherodon niloticus*.

1.1.2. Morphologie:

Oreochromis niloticus a une forme trapue, la taille maximale observée est de 64cm (Lac Turkana ; Trewavas, 1983.).

La nageoire dorsale comprend 17 à 18 rayons épineux suivis de 12 à 14 rayons mous.

La nageoire anale est formée de 3 rayons épineux précédés de 9 à 10 rayons mous.

Les deux nageoires pelviennes portent un rayon dur suivi de 5 rayons mous.

La peau est recouverte d'écailles cycloïdes et parfois d'écailles cténoïdes

La ligne latérale sur les deux flancs du poisson est interrompue en comptant 18 à 19 écailles, puis décrochée vers le bas une seconde ligne d'une douzaine d'écailles.

Un nombre élevé de branchiospines fines et longues (18 à 28 sur la partie inférieure du premier arc branchial et 4 à 7 sur la partie supérieure.)

Une coloration grisâtre avec poitrines et flancs rosâtres et une alternance de bandes verticales claires et noires visibles notamment sur la nageoire dorsale.

Un liséré noir en bordure de la nageoire dorsale et caudale chez les mâles.

La papille génitale chez le mâle est protubérante en forme de cône et porte un pore urogénital à l'extrémité, alors que chez la femelle elle est petite, arrondie avec une fente transversale au milieu (le pore génital) et un pore urinaire à l'extrémité.

Trois à quatre séries de dents sur chaque mâchoire (3 à 5 rarement) et six chez les individus dépassant 20 cm LS.

1.1.3. Anatomie, physiologie et digestion :

a) Squelette :

Il est osseux. Le squelette de la tête comprend les os du crâne qui protègent les centres nerveux et les os de la face, essentiellement les mâchoires qui soutiennent les branchies.

Les os du tronc comprennent la colonne vertébrale et des petits os, support des nageoires, elles même constituées de rayons osseux ou cartilagineux.

b) Les muscles :

On distingue une masse musculaire composée de deux filets dorsaux épais et de deux flancs moins épais en relation étroite avec les arêtes. Ces masses musculaires assurent les propulsions du poisson et ce sont celles qui sont intéressantes pour le consommateur.

D'autres muscles, plus petits, font fonctionner les mâchoires, le pharynx et les nageoires.

c) L'appareil digestif :

Comme dans les autres phylums, l'anatomie d'*Oréochromis niloticus* est adaptée au comportement alimentaire.

D'une manière générale, la taille du tube digestif d'*Oreochromis niloticus* est adaptée à la prise alimentaire de petits repas et avec une grande fréquence.

De l'avant vers l'arrière, l'appareil digestif comprend :

1) La bouche :

Elle est plus ou moins proéminente, dents fonctionnelles : fines dents pharyngiennes en forme de crochet et servent à la préhension d'aliment.

2) Le pharynx :

C'est une sorte de carrefours où s'ouvrent les branchies.

3) L'œsophage :

Il est très court, conduit vers l'estomac, parois plus ou moins épaisses, souvent sert au transit. Il se caractérise par l'absence des glandes digestives et l'abondance de plusieurs sécrétions muqueuses (Cataldi et al, 1982 Gargiole et al, 1996 in Beveridge et al, 2000).

Ce mucus assure la protection contre les blessures lors de l'ingestion alimentaire et assure une protection contre les bactéries et les virus (Scocco, 1998 in Beveridge et al, 2000.)

4) L'estomac :

Comme chez les mammifères, l'estomac d'*Oréochromis niloticus* a trois régions distinctes (d'après Caceci et al, 1998 in Beveridge et al, 2000).

- La région cardiaque (ou initiale) ;
- La région profonde (centrale ou de milieu) ;
- La région pylorique (terminale.)

La région centrale est le site de sécrétions d'acides (glandes gastriques). Ces dernières sont stimulées par la présence de l'aliment (Akintunde, 1982 ; Gatachew, 1989 ; Caceci et al, 1998 in Beveridge et al, 2000.).

La protection de l'épithélium de l'estomac contre les acides extrêmes de l'environnement a été attribuée aux mucopolysaccharides et aux longues chaînes de carbohydrates qui forment une barrière viscolastique (Scocco et al, 1997 et Caceci et al, 1998 in Beveridge et al, 2000).

5) L'intestin :

Il a une forme spiralée, plus longue que celui des autres Cichlidés (7 à 13 fois la longueur du corps chez les adultes), (Trewavas, 1983.).

Son rôle essentiel est le passage dans le sang des éléments nutritifs résultant de la digestion.

Les microvillosités représentent plus de 90% de la surface de digestion (Friesson et Foltz, 1972, in Beveridge et al, 2000).

d) Le foie :

C'est une grosse glande brune placée en arrière du cœur.

e) L'anus :

Il débouche en avant de l'orifice génito-urinaire du premier rayon de la nageoire anale.

f) L'appareil respiratoire :

C'est par les branchies que respire le poisson. Chacune est composée d'une armature osseuse : l'arc branchial qui supporte les lamelles au niveau desquelles se fait le transfert d'oxygène de l'eau vers l'organisme de poisson.

L'Oréochromis niloticus est équipé d'une paire de quatre branchies situées de part et d'autre du corps, protégées par les opercules.

g) L'appareil circulatoire :

C'est un circuit fermé comprenant les artères puis les vaisseaux, très fins, les capillaires ensuite les veines et le cœur qui se situe en arrière des branchies.

h) L'appareil excréteur :

Il est constitué essentiellement par les reins, une sorte de glandes brunes, très allongées et ramifiées, tapissant la partie dorsale de la cavité viscérale avec laquelle ils sont en relation. Les urines sont drainées vers l'orifice urinaire par deux uretères.

i) La digestion :

La digestion est un processus largement achevé par les enzymes intestinaux suivant la dégradation de l'aliment dans l'estomac. (Coulton, 1976 in Beveridge et al 2000).

La valeur du pH stomacal peut être inférieur à 1, plus faible que les autres téléostéens. Les excréments cellulaires acides augmentent essentiellement avec le remplissage de l'estomac (Northcott, 1988 et Gatachew, 1989 in Beveridge et al, 2000) ce qui entraîne des baisses du pH jusqu'à des valeurs extrêmes.

Le pH stomacal s'élève aussi autour de la valeur de 7 quand l'alimentation s'arrête.

Bowen, 1981 (in Beveridge et al 2000) estime que 20% de la ration (carbohydrates) est digérée dans l'estomac. La majeure partie de la digestion se fait dans l'intestin. Le pH intestinal est de 6,8 à 8,8 et l'activité de la trypsine, chymotrypsine, amylase et estérase a été identifiée dans le fluide intestinal. (Bowen, 1982 in Beveridge et al 2000).

La digestion des protéines est complétée à l'intérieur du quart de l'intestin proximal, les acides aminés ne sont digérés qu'en s'approchant de la fin de la partie distale de l'intestin.

1.1.4. Répartition géographique :

Oreochromis niloticus présente une répartition originelle strictement africaine (Pilipart et Ruwet, 1982 in Kestemont et al, 1989). Il couvre les bassins du Sénégal, de la Gambie, de la Volta, du Niger, de la Bénoué et du Tchad.

Vu son intérêt piscicole, *Oreochromis niloticus* figure parmi les espèces les plus

importantes en pisciculture Africaine et tropicale. Actuellement, certains pays travaillent dans le développement de cette activité à partir de rejets des centrales thermonucléaires.

Au début de 20^{ème} siècle, une série d'introduction et d'acclimatation de cette espèce a eu lieu dans les eaux naturelles de divers pays ; et en Algérie, cette introduction est très récente (mai 2001) et a porté sur 4000 alevins et 200 géniteurs importés d'Egypte (Boutouchent,2002).

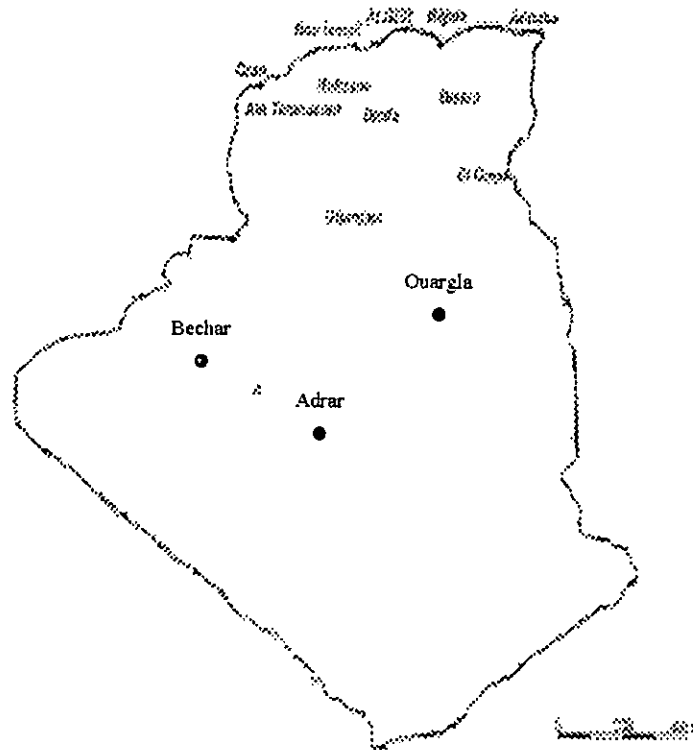


Figure-1- : Répartition d'*Oreochromis niloticus* dans les régions chaudes de l'Algérie
Source : CNDPA (2004)

- Limite de l'aire de répartition de l'espèce naturelle
- Captures de spécimens identifiés formellement
- Lieux d'introduction de l'espèce

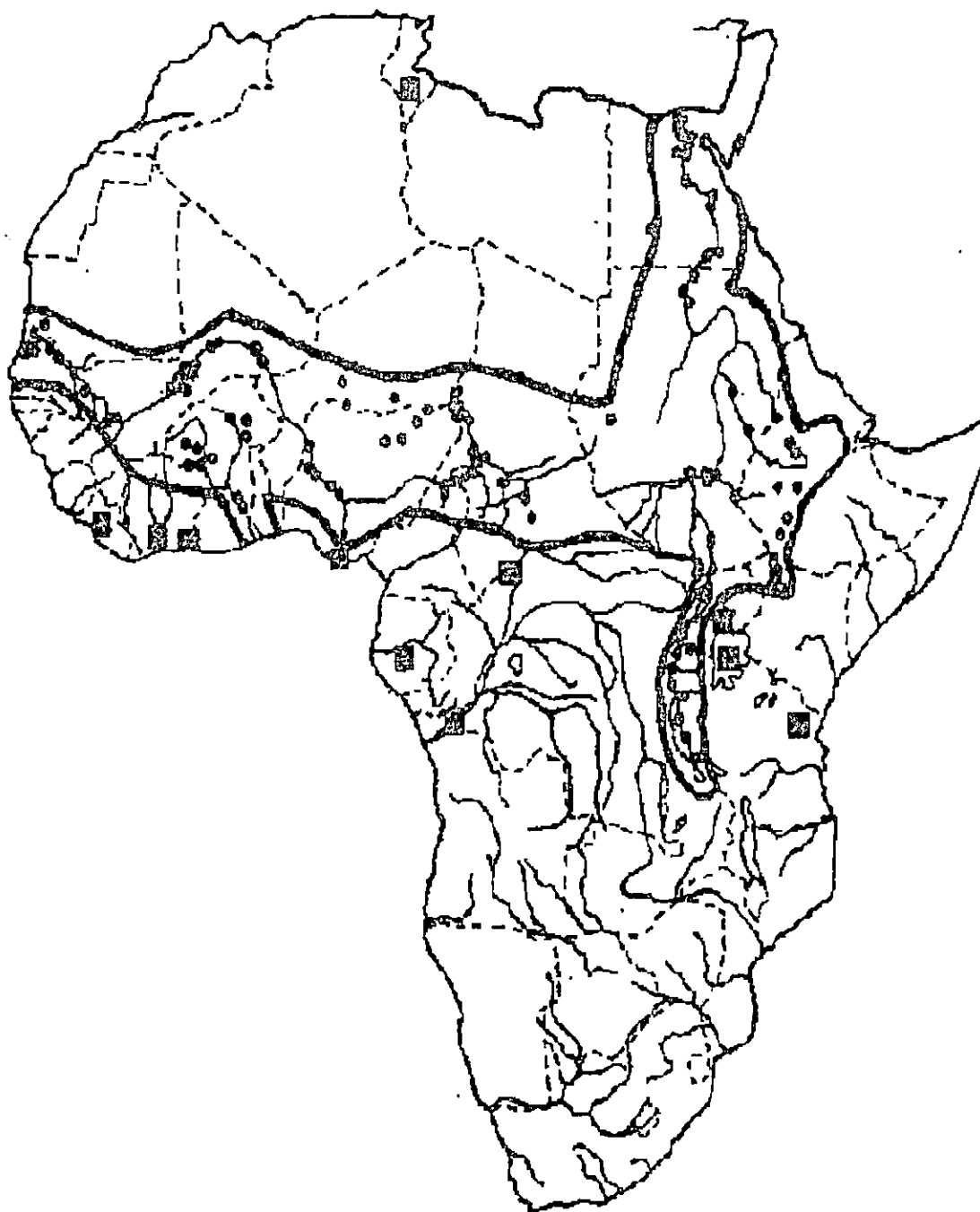


Figure -2- : carte de répartition géographique d'*Oreochromis niloticus* en Afrique (Source : Kestement et al, 1989)

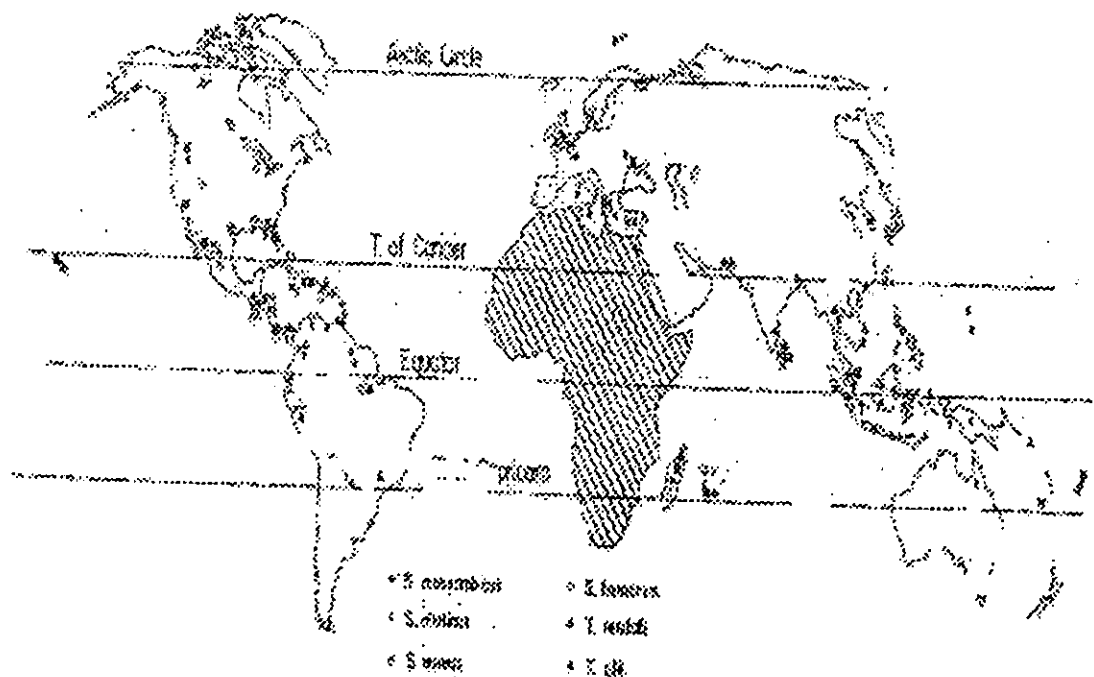


Figure-3- : carte de répartition géographique d'*Oreochromis niloticus* dans le monde (source : Arrignon.j, 1993)

1.1.5. Le régime alimentaire :

Etant donné que les arcs branchiaux d'*Oreochromis niloticus* disposent de branchiospines fines, longues et nombreuses et de microbranchiospines, l'eau qui y transite est véritablement filtrée de son plancton. Cette espèce, en milieu naturel, est donc essentiellement microphytoplanctonophage, consomme de multiples espèces de Chlorophycées, Cyanophycées, Euglenophycées, etc. Ce qui ne l'empêche pas

d'absorber du zooplancton et même des sédiments riches en bactéries et Diatomées. Mais en milieu artificiel (système de pisciculture), cette espèce est pratiquement omnivore, valorisant divers déchets agricoles (tourteaux d'oléagineux, déchets de brasseries, ...) tirant partie des excréments des porcs ou des volailles, de déchets ménagers, acceptant facilement des aliments composés sous forme de granulés, etc. (Lazard,1990), Cette capacité d'adaptation à divers aliments et déchets est phénoménale et est à la base de sa haute potentialité pour la pisciculture.

1.1.6. Croissance :

En général, *Oréochromis niloticus* est connue pour sa croissance rapide (Lowe-Mc Connel, 1982 in Beveridge et al, 2000) et présente un indice de croissance plus performant que les autres espèces du genre *Oréochromis* (Pauly et al, 1988 in Beveridge al, 2000). Sa durée de vie est relativement courte (4 à 7 ans).

Une grande caractéristique d'*Oréochromis niloticus* concerne son dimorphisme sexuel de croissance. Cette différence de croissance se marque dès 20 à 40 g (Kestemont et al, 1989), poids à partir duquel les femelles acquièrent la maturité sexuelle dont une grande partie d'énergie est investie dans la production d'ovules, l'incubation des œufs et la garde des jeunes larves.

Les principales techniques utilisées pour remédier à cette faible croissance des femelles sont :

- L'élimination des femelles par sexage manuel ;
- Une charge importante permettant de bloquer la reproduction ;
- L'inversion hormonale du sexe.

Il existe d'autres facteurs influençant la croissance d'*Oréochromis niloticus* en élevage intensif comme:

- La température: une élévation de la température pour un poids corporel donné produit une augmentation de la vitesse de croissance.

- L'alimentation : elle agit sur la croissance via trois paramètres principaux : la qualité de l'aliment, le taux de nourrissage et la fréquence de nourrissage.
- L'oxygène dissous : il exerce une action positive sur la croissance quand sa teneur augmente, (>3 mg/l avec un optimum de 6 mg/l).
- Biomasse : l'augmentation de la biomasse a un effet négatif sur la croissance.
- M.E.S. : l'effet négatif des M.E.S sur la croissance pourrait provenir du stress mécanique exercé sur les branchies.

1.2. Les paramètres de tolérances :

De nombreuses études de terrain et de laboratoire (Pallin et Lowe-Mc Connel, 1982 ; Fishelson et Yaron, 1983 ; Plisnier et al, 1988 ; ... etc ; in Beveridge et al ;2000) montrent qu'*Oreochromis niloticus* est une espèce relativement eurypote, adaptée à de larges variations de facteurs écologiques.

1.2.1. Température :

Oreochromis niloticus est une espèce thermophile, se rencontre en milieu naturel entre 13.5°C et 33°C mais l'intervalle de tolérance thermique observé en laboratoire est plus large : 7°C à 41°C pendant plusieurs heures (Balarin et Hatton, 1979 in Beveridge et al, 2000). Quant à la température optimale de reproduction, elle se situe entre 26 et 28°C, le minimum requis étant de 22°C.

1.2.2. Oxygène dissous :

Cette espèce tolère à la fois de nets déficits et des sursaturations importantes. Jusqu'à 3ppm d'oxygène dissous, *Oreochromis niloticus* ne présente pas de difficultés métaboliques mais en deçà de cette valeur, un stress respiratoire se manifeste.

Cette espèce peut supporter sur de courtes périodes une concentration de 0.1ppm d'oxygène dissous (Melard et al, 2000).

La consommation d'oxygène est en relation directe avec l'importance de la ration alimentaire : l'accroissement est minimum avec la ration de maintenance et maximum avec la ration maximale.

1.2.3. Potentiel d'hydrogène :

La tolérance aux variations de pH est très grande puisque l'espèce se rencontre dans des eaux présentant des valeurs de pH de 5 à 11.

1.2.4. Salinité :

L'euryhalinité d'*Oreochromis niloticus* est également bien connue, car on la rencontre dans des eaux de salinité comprise entre 0 et 30 ‰. Toutefois, au-delà de plus ou moins 20‰, l'espèce subit un stress important qui la rend sensible à une série de maladies. De plus, la reproduction serait inhibée en eau saumâtre à partir de 15 à 18 ‰.

1.2.5. Limites létales des nitrites, nitrates, ammoniacque et M.E.S :

Les poissons sont des animaux ammoniotéliques et sont à même de tirer d'avantage d'énergie nette (EN) des nutriments protéiques puisqu'ils poursuivent la dégradation de ces derniers jusqu'à l'ammoniac (NH_3). Les déchets azotés solubles sont excrétés par les branchies et l'urine sous deux formes principales : NH_4^+ et NH_3 (85%) et l'urée (25%) (Barabé, 1989). Cette excrétion est fonction de température, taille des poissons, la concentration de l'ammoniacque dans le milieu et la qualité de l'aliment (degré de digestibilité des protéines). Cependant, en élevage intensif, les concentrations de ces substances doivent être maintenues inférieures au seuil critique de cette espèce. Ces valeurs sont représentées dans le tableau n°1.

En ce qui concerne les MES, elles proviennent aussi bien de la mauvaise gestion de l'aliment (gaspillage de l'aliment), que de sa mauvaise utilisation digestive (déchets d'origine fécales). A des concentrations élevées, elles exercent une action mécanique sur les branchies.

Tableau -1- : Optimum des nitrites, nitrates, ammoniacque et MES :

Paramètres	Optimum	Valeur critique
Nitrates (NO ₂ ⁻) (mg/l)	<1	>5
Nitrites (NO ₃ ⁻) (mg/l)	<20	>500
Ammoniacque total (mg/l)	<3	>15
MES (mg/l)	<20	>200

Source Beveridge et al, 2000

1.3. Les besoins nutritifs d'*Oreochromis niloticus*

1.3.1. Les protéines :

1.3.1.1. Rôles des protéines :

L'apport de protéines est principalement exigé pour les fonctions suivantes :

- la croissance ;
- l'énergie d'entretien ;
- et la reproduction.

1.3.1.2. Les besoins en protéine :

La considération des besoins en protéines est généralement divisée en deux parties, à savoir, les besoins quantitatifs (volume absolu dans le régime), voir tableau n°2, et les besoins qualitatifs (la disponibilité en acides aminés indispensables (AAI)),

Voir tableau n°3.

Tableau -2 : Besoins quantitatifs approximatifs en protéines pour l'*Oreochromis niloticus* en % d'aliment :

Poids (g)	% optimal en protéine
Eclosion - 0.5	40 - 45
0,5 - 10	30 - 35
10 - 30	25 - 30
30 - taille marchande	25 - 30

Source : Beveridge et al (2000)

Tableau .3 : Besoins quantitatifs en AAI pour *Oreochromis niloticus* :

AAI	Arg	His	Iso	Leu	Lys	Met	Phe	Thr	Trp	Val
% de prot.brt.	4.2	1.7	3.1	3.4	5.1	2.7	3.8	3.8	1.0	2.8

Source Beveridge et al (2000)

1.3.2. Les lipides :

1.3.2.1. Rôles des lipides :

L'effet bénéfique des lipides sur l'efficacité alimentaire se situe à plusieurs niveaux :

- maintien de l'intégrité des structures membranaires (via leur efficacité).
- servent de vecteurs lors de l'absorption intestinale des vitamines liposolubles et pigments caroténoïdes.
- précurseurs de prostaglandine et stéroïdes lors de la reproduction, et surtout de leur densité énergétique si on admet qu'une digestibilité de 95 % de 1g de lipide alimentaire fournit 37 à 38 KJ soit approximativement 2,5 fois plus que les glucides et 1,8 fois plus que les protéines (Guillaume et al ,1999).

1.3.2.2. Besoins en lipides :

D'après Hauley (1991) in Beveridge et al (2000), les besoins nutritifs en lipides d'*Oreochromis niloticus* se situent entre 6 % et 12 % de la ration alimentaire.

Pour sa croissance, l'acide linoléique (18 :2n-6) doit représenter au minimum 0.5 % de la ration alimentaire (Guillaume et al, 1999).

1.3.3. Les glucides (hydrates de carbone) :

Il existe des possibilités importantes d'épargner des protéines par l'utilisation des hydrates de carbone (Anderson et al, 1983 in Beveridge et al, 2000).

Toutefois, les fibres (polysaccharides complexes constituées principalement de cellulose chez les végétaux) ne sont pas bien utilisables par *Oreochromis niloticus* qui ne dispose pas de cellulase (Stickney, 1976 in Beveridge et al, 2000).

Et d'après Anderson et al, 1984(in Beveridge et al, 2000), un taux de fibre supérieur à 5% réduit l'utilisation des aliments et leur digestibilité, et des taux supérieurs à 10 % réduisent l'utilisation des protéines.

Les besoins nutritifs en glucides d'*Oreochromis niloticus* varient entre 30 à 70 % de la ration alimentaire (Beveridge et al, 2000).

1.3.4. Vitamines :

Les besoins vitaminiques d'*Oreochromis niloticus* sont représentés dans le tableau ci-dessous :

Tableau -4- : Les besoins vitaminiques d'*Oreochromis niloticus* en mg / Kg d'aliment :

Vitamines	Besoin mg / Kg d'aliment)	Rôle	Références
Cyanocobalamine (Vit B12)	Non déterminé	Fonction métabolique : co-enzyme	Limsuwan et Lovell(1981)in Beveridge et al, (2000)
Acide ascorbique (Vit C)	1250	Fonction métabolique : Transfert H^+ / e^-	Soliman et al (1987) in Beveridge et al,(2000)
Vit E	50 -100	Transfert des H^+ / e^- Protection des membranes)	Satoh et al (1987) in Beveridge et al,(2000).

1.3.5. Besoins en minéraux :

Ils sont mentionnés dans le tableau n°5 :

Tableau -5-: Besoins d'*Oreochromis niloticus* en minéraux :

Minéraux	Besoins	Rôle	Références
Phosphore	4.6g/Kg	Croissance osseuse ; Métabolisme ; Constituant cellulaire et membranaire ; Constituant de co-enzyme : NADP ⁺ , thiamine pyrophosphate, phosphate depyridoxal coenzyme A.	Haylor et al (1988)in Beveridge et al, (2000) .
Magnesium	< 9 g/Kg	Croissance et intégrité musculaire ; Respiration, métabolisme énergétique ; Cofacteurs enzymatiques ; Métabolisme thyroïdien.	Watanade et al (1980) in Beveridge et al, (2000) .
Zinc	>30mg/Kg	Enzymes : déshydrogénase ; péptedases ; aldolase et dismutase.	Eid and Ghoneim (1994) in Beveridge et al, (2000).

1.3.6. Besoins énergétiques

1.3.6.1 Le devenir de l'énergie alimentaire :

L'énergie brute (EB), l'énergie digestible (ED), l'énergie métabolisable (EM) et l'énergie nette (EN) peuvent tous les quatre servir à mesurer l'énergie provenant des aliments. :

L'EB dépend uniquement de sa composition chimique et elle peut être calculée par addition des quantités d'EB apportée par chacun des composés organiques du régime, les valeurs moyennes étant de 23,7KJ/g de protéines, 39,5 KJ/g de lipides et 17.2 KJ/g de glucides.(Kaushik,1995)

L'ED correspond à l'EB diminuée de l'EB des fèces, laquelle oscille généralement

entre 10 et 30% de l'EB du régime. La digestibilité de l'énergie d'un régime résulte de celle de ses ingrédients.

L'EM est l'ED diminuée de l'énergie rejetée par le poisson sous forme d'excrétions branchiales et urinaires.

L'EN d'un régime est l'EM diminuée de l'énergie des dépenses liées à la consommation et à l'utilisation de l'aliment. Ces pertes correspondent à l'énergie thermique résultant de travail mécanique (ingestion et la mastication) et biochimique (digestion, absorption, transport et la transformation des nutriments); et réellement pour fabriquer du muscle ou de la chair.

1.3.7. Besoin énergétique pour la croissance :

Lors de la distribution d'aliment, les poissons sont capables d'ajuster leur consommation d'aliment selon la densité énergétique de l'aliment, de façon à atteindre une croissance maximale.

Le besoin énergétique de croissance peut être définie comme une quantité d'énergie nécessaire pour produire 1kg de poisson, chez *Oreochromis niloticus*, elle est de 12 KJ/g de matière sèche (Guillame et al, 1999)

Le besoin défini est fonction du régime : l'orientation des nutriments vers l'anabolisme ou le catabolisme dépend de l'équilibre énergie protéique / énergie non protéique. Ainsi, les recommandations concernant la composition des aliments sont indiquées en terme de rapport protéine digestible / énergie digestible qui est de l'ordre de 25 mg/KJ chez *Oreochromis niloticus* (Guillaume et al, 1999).

1.4. Facteurs antinutritionnels

Les composés à action antinutritionnelle, sont courants dans les produits végétaux et rares dans les produits d'origine animale ou micro- organique.

1.4.1. Les principaux facteurs antinutritionnels des produits végétaux :

1.4.1.1. L'acide phytique :

Les poissons ne possèdent pas de phytase ou de la flore digestive active capable d'hydrolyser efficacement les liaisons esters de ce composé.

L'action néfaste de l'acide phytique est d'agir sur certaines enzymes digestives et diminuer la digestibilité des protéines alimentaires.

1.4.1.2. Facteurs anti-trypsiques :

Ces composés de nature protéique n'exercent une action défavorable que lorsqu'ils sont en concentration élevée dans les aliments, d'après Kaushik, 1995, il ne faut pas que cette concentration dépasse 3mg/g d'aliment pour poisson. La présence de ces composés dans l'aliment provoque une diminution très nette de la digestibilité des protéines.

1.4.1.3. Autres facteurs anti-nutritionnels :

Les autres facteurs anti-nutritionnels les plus connus présents dans les végétaux sont : les anti-vitamines, les anti-enzymes (glucosinolates), certains phénols (gossypol), les tannins ou les alcaloïdes et enfin les toxines fongiques et algales.

Les effets de ces composés sont bien démontrés chez les vertébrés supérieurs mais leur nocivité pour les poissons reste très mal connue. (Guillaume *et al*, 1999)

1.4.2. Les facteurs anti-nutritionnels des produits

animaux :

1.4.2.1. Thiaminase :

Elle est présente surtout dans le poisson cru et plus particulièrement dans le poisson d'eau douce. Sa présence dans l'aliment provoque une diminution de la digestibilité des protéines. Cette enzyme est inactivée par le chauffage.

1.4.2.2. Histamine :

Elle a un rôle dans les phénomènes d'allergie et est produite après la mort du poisson sous l'action de bactéries.

L'histamine est l'un des critères couramment retenu pour évaluer la qualité de la farine de poisson.

1.4.2.3. Lipides peroxydés :

Les acides gras insaturés sont très sensibles à la peroxydation qui a lieu naturellement *in vivo*. Ces réactions peuvent aussi se produire dans les matières premières au cours du chauffage, pendant le stockage des matières premières ou des aliments.

Ces lipides peroxydés peuvent provoquer une inappétence du poisson vis-à-vis de l'aliment et induire des déficiences en vitamine C et surtout en vitamine E et exercer des effets toxiques proprement dits.

1.5. Pathologie d'origine nutritionnelle

Une carence en principaux éléments de l'alimentation provoque des troubles chez *Oreochromis niloticus* essentiellement la diminution de la croissance et des males formations. Ces troubles, généralement, ne sont pas un fait d'une seule et unique carence (Mézière, 2000)

1.5.1. Carence en protéines :

Le retard de croissance est le seul et unique signe clinique d'une carence protéique (AAE) à l'exception de :

- Lysine : sa carence, peut induire une érosion de la nageoire caudale (Guillaume et *al*, 1999).
- Tryptophane : le signe clinique de sa carence est la scoliose, lordose, et le dépôt de calcium anormal dans les reins (néphrocalcinose), (Guillaume et *al*, 1999).

1.5.2. Carence en lipides :

Les régimes déficients en AGE entraînent un ralentissement de la croissance et une diminution de l'efficacité alimentaire. Au bout d'un certain temps ils s'accompagnent de signes pathologiques tels que dégénérescence hépatique avec accumulation de lipides, érosion des nageoires, lésions branchiales ou diminution du taux d'hémoglobine (Tacon, 1998). Pour la carence plus spécifiquement en acide linoléique dans l'alimentation des poissons, celle-ci provoque des maladies cardiovasculaires.

1.5.3. Carence en vitamines :

Les symptômes de carence en vitamines indispensables pour l'*Oreochromis niloticus* sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau -6- : symptômes de carence en vitamines chez *Oreochromis niloticus* :

Vitamines	Principaux signes de déficience	Référence
Cobalamine (B12)	-inappétence ; -Diminution du taux d'hémoglobine ; -Anémie.	Linsuxan et lovell, 1981.
Acide ascorbique (Vit. C)	-Scoliose ; -Lordose ; -Diminution de croissance ; -Hémorragie ; -Exophtalmie ; -Anémie.	Seliman et al, 1994.
Tocophérols (Vit. E)	-Anorexie; -Réduction de croissance; -Dystrophie musculaire ; -Dépigmentation de la peau ; -Fragilité érythrocytaire.	Satoh et al, 1987.

Source : Beveridge et al, 2000

1.5.4. Carence en minéraux :

Les symptômes de carence en minéraux indispensables pour *Oreochromis niloticus* sont résumés dans le tableau suivant:

Tableau -7- : symptômes de carence en minéraux :

Minéraux	Interactions	Symptômes de carence
Phosphore	Ca, Mg, Mn, Vit. PP, Vit. B ₁ , Vit. B ₆ .	-Diminution de croissance ; -Déformation de crâne et vertèbres ; -Déminalisation ; -Augmentation de dépôt lipidique ; -Augmentation de la phosphatase alcaline sérique ; -Diminution de glycogène hépatique.
Magnésium	Protéines, Ca, P.	-Dégénérescence musculaire ; -Déformation des vertèbres ; -Diminution de la concentration tissulaire en magnésium ; -Calcinose ; -Anorexie ; -Cataracte.
Zinc	Acide phytique, Ca, P.	-Cataracte ; -Nanisme ; -Hémorragies externes ; -Diminution de la fécondité.

Source : Guillaume et al, 1999

1.6. Avantages et inconvénients des différentes matières premières utilisées:

La valeur alimentaire d'une matière première ne se limite pas à sa composition chimique. La digestibilité plus ou moins aisée des constituants majeurs, la présence des composés anti-nutritionnels ou toxiques sont autant de facteurs susceptibles de modifier fortement cette valeur (Raymond, 2000)

1.6.1. Farine d'origine animale :

• farine de poisson

Avantages :

- Riche en acides aminés indispensables ;
- Riche en acides gras essentiels ;
- Riche en vitamine A.
- Absence de composés cellulosiques.

Inconvénients :

- Risque de contamination bactérienne si le produit est mal conservé ou mal stérilisé.
- Durée de conservation limitée.

Remarque :

Les autres farines d'origine animale (farine de viande, farine d'os, farine de viande osseuse ainsi que toute autres protéines d'origine animale) sont interdites sauf les farines de poissons pour poissons à cause de l'épidémie d'encéphalopathie spongiforme bovine (ESB) communément connue sous le nom de la maladie de la vache folle , et qui est transmissible à l'homme (Creutzfeldt Jakob) ; et chez l'ovin (connue sous le nom de la maladie tremblante).

1.6.2. Farines d'origine végétale :

• Maïs :

Avantages :

- Riche en acides gras poly-insaturés n-6(acide linoléique), et phosphore.
- Bonne source d'énergie en raison de sa richesse en amidon et en matière grasses ;
- Fort pouvoir liant.
- Bonne source de vitamine E et B.
- Disponibilité sur le marché.
- Pauvre en cellulose.

Inconvénients :

- Pauvre en protéines et acides aminés indispensables (Lysine et Tryptophane).
- Prix élevé.
- Pauvre en certains oligo-éléments.

• Orge :

Avantages :

- Riche en amidon.
- Pauvre en cellulose.
- Disponible sur le marché.

Inconvénients :

- Pauvre en matière grasse.
- Groupe très hétérogène.

• Gland :

Avantages :

- Disponible sur le marché et à bas prix.
- Durée de conservation très élevée.
- Bonne source d'énergie en raison de sa richesse en lipides et amidon.

- Fort pouvoir liant.

Inconvénients :

- Pauvre en protéines.
- Nécessite la décortication.

• **Levure de boulangerie :**

Avantages :

- Riche en protéines et en acides aminés indispensables.
- Pauvre en fibres.
- Délitement de l'aliment.
- Riche en vitamine B et E.

Inconvénient :

- Prix élevé

• **Huile végétale :**

Avantages :

- Bonne source d'énergie d'origine lipidique.
- Bon pouvoir liant.

Inconvénient :

- prix élevé

2. Formulation des aliments en aquaculture :

Les diverses matières premières utilisées pour la fabrication des aliments destinés aux poissons peuvent être classées de plusieurs manières selon que l'on se réfère à leur origine, à leur composition, à certaines propriétés nutritionnelles ou physico-chimiques et à des critères économiques.

2.1 Principe général :

- **Objectif minimal :**

C'est de satisfaire le besoin nutritionnel du poisson en sélectionnant la solution la plus économique.

- **Schéma global**

L'aliment le plus économique couvrant les besoins du poisson n'est pas le meilleur aliment en pratique car pour l'être il faut qu'il assure le profit le plus élevé à un ensemble de personnes ou d'entreprises concernées comprenant les fabricants, les éleveurs, les transformateurs ainsi que la communauté chargée de la préservation du milieu.

- **Facteurs liés au poisson, à l'aliment et au milieu pris en compte lors de formulation :**

- Poisson :

- Besoins en nutriments.
- Sa capacité à digérer tel ou tel type d'aliment.
- Caractéristiques métabolisables découlant de l'espace et du stade physiologique.

- Aliment :
 - Composition chimique des matières premières
 - Présence ou absence d'antinu-triments
 - Facteurs d'appétibilité ou d'inappétibilité.
 - Propriétés physiques de l'aliment.
- Milieu :
 - Teneurs en oxygène dissous.
 - Teneur en minéraux.
 - Matières organiques dissoutes
 - Matières organiques en suspension.

D'autres paramètres tels que les techniques de mise en forme ou le mode de distribution de l'aliment sont également à considérer.

Les quatre (04) formulations d'aliments à tester sont formulées en suivant la méthode de pourcentage à moindre coût. Le principe de cette méthode est basé sur des opérations de règles de trois, en combinant entre les différentes matières premières à utiliser de tel façon à aboutir aux besoins du poisson et qu'elles soient à moindre coût.

2.2. Les différentes étapes de cette méthode sont :

2.2.1. Classement des matières premières disponibles en :

- Matière première riche en protéine.
- Matière première riche énergie.
- Matière première faible en énergie.
- Matière première riche en minéraux.

2.2.2. Choix des matières premières à utiliser en fonction de leur prix et leur valeurs nutritives.

Exemple :

Supposons qu'on a deux sources de protéines : farine de poisson (65% de protéine) et farine de soja (48 % de protéines) et leur prix respectivement est de 40DA/kg et 25DA/kg. Le prix d'1kg de protéine de farine de poisson est de : $40/0,65=61,53$ DA/kg. Le prix d'1 kg de protéine de farine de soja est de : $25/0,48=52,08$ DA/kg. Donc les protéines de farine de soja sont moins coûteuses que les protéines de farine de poisson. Alors, il plus est préférable d'utiliser les farines de soja comme source de protéine que les farines de poisson. Le même principe est appliqué pour sélectionner les matières premières comme source d'énergie les moins coûteuses.

2.2.3. Calcul de la quantité de chaque matière première servant à l'élaboration de chaque formule :

2.2.3. 1. Exemple : Formulation 1,

Les ingrédients proposés sont : Orge
Mais
Farine de poisson.
L'huile végétale
Levure de Boulangerie

La composition chimique de chaque ingrédient est donnée dans le tableau n°8

Au début on suppose aléatoirement les pourcentages de chaque ingrédient qui vont servir à l'élaboration de la formule. En fonction des résultats, on ajuste ces pourcentages jusqu'à satisfaction des besoins du poisson..

Remarque :

Lors de la formulation, les ajustements doivent se faire judicieusement. Ainsi, par exemple, si on a une carence en Cystéine (CYS), il faut augmenter le pourcentage de l'ingrédient riche en CYS, et en parallèle on diminue le pourcentage de l'ingrédient le plus pauvre en CYS.

Mais dans le cas de la formule 1, bien que le maïs soit l'ingrédient le plus pauvre en CYS, on diminue le pourcentage de l'orge car ce premier couvre le besoin en AGPI ω 6. Ces résultats peuvent être reformulés à souhait et aisément sous programme excel.

Tableau -8 - : Composition et valeur nutritive des matières premières

Caractéristiques %Produit brut	Mais	Soja	Gland décortiqué	Orge	Huile tournesol	Farine poisson	Levure de bière
matière sèche	86	88	89	86	88	92	95
protéines brutes	9	48	6,1	9,2	0	64,6	47
méthionine	0,19	0,66	0,1	0,16	0	5,04	0,66
méthionine+cystine	0,39	1,43	0,23	0,41	0	1,81	1,19
tryptophane	0,06	0,65	0,06	0,1	0	2,39	0,5
thréonine	0,32	1,88	0,19	0,31	0	0,65	2,03
leucine	1,13	3,68	0,37	0,64	0	2,73	2,92
isoleucine	0,35	2,42	0,25	0,35	0	4,81	2,02
valine	0,46	2,46	0,3	0,5	0	3,04	2,45
histidine	0,26	1,19	0,13	0,2	0	3,55	0,99
arginine	0,43	3,59	0,35	0,48	0	1,58	2,17
phénylalanine+tyrosine	0,85	4,12	0,34	0,79	0	3,71	3,27
lysine	0,25	3,05	0,28	0,35	0	4,81	3,25
matières grasses	4,5	1,9	4,3	1,8	98,7	5,5	2,8
AGPI n-6	2,11	0,9	?	?	>2	0,11	?
Glucide	69	28,5	72,3	67,9	0	0	37,8
cellulose	2,2	3,4	3,8	4,8	0	0	2,5
Energie brut kcal/kg	386	420	385,32	368	931,53	460	437,6
source	INRA, 1989				GUILLAUME, 1999		

2.3.3.2. Fonction et calculs à faire (exemple formule 1) :

- pourcentage de chaque ingrédient pris arbitrairement :

- orge	—————>	30%	—————>	30 g
- mais	—————>	30%	—————>	30 g
- farine de poisson	—————>	36%	—————>	36 g
- huile végétal	—————>	3%	—————>	3 g
- levure de boulangée	—————>	1%	—————>	1 g
- Total	—————>	100%	—————>	100 g

- Calcul de la quantité de protéine provenant de l'orge :

100g d'orge contiennent 10 g de protéine, l'orge participe avec 30 g dans la formule donc l'orge donne X g de protéine.

$$\begin{array}{l} 100 \text{ g d'orge} \longrightarrow 10 \text{ g de protéine} \\ 30 \text{ g} \longrightarrow X = 3 \text{ g} \end{array}$$

Même chose pour calculer le taux de protéine contenue dans chaque ingrédient.

- Calcul des lipides :

Dans 100 g d'orge, on a 2 g de lipide et dans 30 g nous en avons X.

$$X=30 \cdot 2/100=0,6 \text{ g}$$

Ainsi de suite pour chaque ingrédient

- **Calcul des glucides :**

Dans 100 g d'orge, on a 67.9 g de glucide, donc dans 30 g, nous avons X.

$$X=30*67.9/100=15,9 \text{ g}$$

Même chose pour chaque ingrédient

- **Calcul des AAE :**

Exemple : LYS

Dans 100 g d'orge, on a 0,37 g de LYS, donc dans 30 g, nous en avons X

$$X=30*0.37/100=0,11 \text{ g}$$

Et ainsi de suite pour chaque AAE.

Remarque :

Les besoins en AAE d'*Oreochromis niloticus* donnés ici en % de protéine (chapitre 3) , lors des calculs, il faut les convertir en % de l'aliment comme suit :

Exemple LYS :

Dans 27,21g de protéine (taux des protéines total de la formule 1), il nous faut 5,1% de LYS, donc il Nous faudra X % de 100g de la formule entière.

$$X=5,1*100/27,21=1,38$$

Alors 1.38 est le besoin en LYS recherché en % de la formule.

Et ainsi de suite pour chaque AAE.

- **Calcul d'AGPI n-6 (acide linoléique) :**

Dans 100 g de maïs, on a 2,11 g AGPI n-6, donc dans 30 g, nous en avons X :

$$X = 30 * 2,11 / 100 = 0,63 \text{ g}$$

- **Calcul du taux de la cellulose**

Dans 100g d'orge on a 4g de cellulose, donc dans 30 g nous en avons X :

$$X = 30 * 4 / 100 = 1,2 \text{ g}$$

Et ainsi de suite pour chaque ingrédient.

- **Calcul de l'énergie brut :**

1g de protéine \longrightarrow 23.7Kj \longrightarrow 5.66 K cal

1g de lipide \longrightarrow 39.Kj \longrightarrow 9.44 Kcal

1g glucide \longrightarrow 17.Kj \longrightarrow 4.11 Kcal

Dans 1g de protéine on a 23,7 Kj, donc dans 29,4 nous en avons X.

$$X = 29,4 * 23,7 = 697,39 \text{ KJ avec } 1 \text{ Kcal} = 4,185 \text{ KJ}$$

Ainsi de suite pour les glucides et les lipides.

- **Calcul de l'énergie digestible :**

Énergie digestible = énergie brut – énergie des fèces.

La détermination de l'énergie digestible de chaque matière première dans la bibliographie pour *Oreochromis niloticus* n'a pu être trouvée.

La perte d'énergie par les fèces pour poisson en général est estimée entre 12 à 35% de l'énergie brute, par conséquent, dans les formulations, l'énergie digestible a été calculée en tenant compte de ces deux valeurs extrêmes.

- **Calcul du prix de chaque ingrédient :**

1Kg d'orge coûte 15DA (prix du mois de avril 2004, donné par l'O.N.A.B.), le prix de 300 g d'orge dans la formulation, il est de

$$X = 300 * 15 / 1000 = 4.5 \text{ DA.}$$

Et ainsi de suite pour chaque ingrédient.

- **Vitamines et minéraux**

On ajoute toujours 1% à 2% de mélange minéral vitamine (CMV) bien équilibré, selon les besoins de l'espèce.

Remarque :

Dans nos formules on a utilisé le complexe minéral vitamine (CMV) de la poule reproductrice élaboré par l'O.N.A.B (voir annexe -1-).

Les résultats des formulations sont donnés alors dans les tableaux suivants :

Tableau -9- : Résultats de la formule 1 obtenus après calculs

Ingrédients %	Prot	Llip	Glu	LYS	MET	TRY	THR	LEU	ISO	VAL	HIS	ARG	PHR+TYR	AGPIn-6	Cell	Energie féces12%	Energie féces35%
Orge	3	0,6	15,9	0,11	0,05	0,03	0,099	0,2	0,11	0,16	0,06	0,15	0,25	0	1,2		
Maïs	2,7	1,26	20,7	0,075	0,06	0,02	0,096	0,34	0,11	0,14	0,08	0,13	0,25	0,63	0,66		
Farine de poisson	23,25	1,98	0	1,81	0,65	0,23	0,98	1,73	1,09	1,28	0,57	1,33	1,73	0,04	0		
Huile végétal	0	2,97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45	0		
Levure de boulangerie	0,47	0,028	0,38	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0	0,03		
Total	29,43	6,84	36,98	2,03	0,76	0,29	1,2	2,31	1,33	1,59	0,71	1,64	2,26	1,12	1,88	337,18Kcal	249,05Kcal
Besoins (%)	25 - 30	6 - 12	30 - 70	1,5	0,79	0,29	1,12	1	0,91	0,82	0,5	1,23	1,12	0,5	<5	289	289

Tableau - 10- : Pourcentage et prix des ingrédients à incorporer pour la formule 1

Ingrédients	Orge	Maïs	Farine de poisson	Huile végétal	Levure de boulangerie	CMV	Total
% de l'aliment	30	30	36	3	1	1	101
Prix (DA/Kg)	4,5	4,12	14,4	2,66	1,4	0,9	27,98

Tableau -11- : Résultats de la formule 2 obtenus après calculs

Ingédients %	Prot	Lip	Glu	LYS	MET	TRY	THR	LEU	SO	VAL	HIS	ARG	PHE+TRY	AGPIIn-6	Cell	Energie ces12%	Energie ces35%
Soja	22,08	0,874	13,11	1,403	0,304	0,299	0,8648	1,639	1,11	1,132	0,547	1,651	1,8952	0,414	0,773		
Mais	2,16	1,008	16,56	0,06	0,046	0,0144	0,0768	0,271	0,08	0,11	0,062	0,103	0,204	0,506	0,043		
Orge	2,5	0,5	13,25	0,093	0,04	0,0275	0,0825	0,173	0,09	0,13	0,053	0,125	0,205	0	0,125		
Huile	0	3,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0		
Levure	0,47	0,028	0,378	0,033	0,007	0,005	0,0203	0,029	0,02	0,025	0,01	0,022	0,0327	0	0,012		
Total	27,21	6,37	43,298	1,588	0,396	0,3459	1,0444	2,166	1,31	1,397	0,672	1,901	2,3369	1	0,953	345,11	254,908
besoins (%)	25 30	6 12	30 70	1,388	0,7347	0,272	1,034	0,925	0,84	0,762	0,463	1,143	1,03398	0,5	<5	289	289

Tableau -12- : Pourcentage et prix des ingrédients à incorporer pour la formule 2

Ingédients	Orge	Maïs	Soja	Huile végétale	Levure de boulangerie	CMV	MET	Total
% de l'aliment	25	24	46	4	1	1	0,339	101,3
Prix (DA/Kg)	3,75	3,744	13,644	3,5552	1,4	0,9	0,087	27,08

Tableau -13 - : Résultats de la formule 3 obtenus après calculs

Ingrédients %	Prot	Lip	Gluc	LYS	MET	TRY	THR	LEU	ISO	VAL	HIS	ARG	PHE+TYR	AGPIIn-6	Cell	Energie féces 12 %	Energie féces 35 %
Soja	9,12	0,361	5,415	0,58	0,125	0,1235	0,3572	0,699	0,46	0,47	0,226	0,682	0,7828	0,171	0,665		
Maïs	2,43	1,134	18,63	0,068	0,051	0,0162	0,0864	0,305	0,09	0,12	0,07	0,116	0,2295	0,57	0,594		
Orge	3	0,6	15,9	0,111	0,048	0,033	0,099	0,207	0,11	0,16	0,063	0,15	0,246	0	1,5		
Farine de poisson	12,274	1,045	0	0,958	0,344	0,1235	0,5187	0,914	0,58	0,68	0,3	0,705	0,9139	0,021	0		
levure	0,48	0,028	0,378	0,033	0,007	0,0051	0,0207	0,03	0,02	0,03	0,01	0,022	0,0334	0	0,025		
Huile végétale	0	3,96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0		
Total	27,304	7,128	40,32	1,749	0,575	0,3013	1,082	2,155	1,26	1,45	0,67	1,675	2,2056	1,362	2,784	392,733	290,0868
Besoins (%)	25 30	6 12	30 70	1,393	0,737	0,273	1,038	0,928	0,85	0,77	0,464	1,147	1,037552	0,5	<5	289	289

Tableau -14- : Pourcentage et prix des ingrédients à incorporer pour la formule 3

Ingrédients	Orge	Maïs	Soja	Farine de poisson	Huile végétale	levure de boulangerie	MET	CMV	Total
Mode l'aliment	30	27	19	19	4	1	0,16	1	101,16
Prix/kg(DA)	4,5	4,212	5,635	7,6	3,55	1,4	0,0424	0,9	27,8398

Tableau -15- : Résultats de la formule 4 obtenus après calculs

Ingrédient%	Prot	Lip	Glu	LYS	MET	TRY	THR	LEU	ISO	VAL	HIS	ARG	PHR+TYR	AGPIIn-6	Cel	Energie féces 12%	Energie féces 35%
Soja	23,04	0,91	13,68	1,46	0,32	0,31	0,9	1,76	1,16	1,18	0,57	1,72	1,97	0,43	1,68		
Orge	1	0,2	5,3	0,04	0,016	0,01	0,03	0,07	0,04	0,05	0,02	0,05	0,08	0	0,5		
Gland	2,07	1,46	24,58	0,09	0,034	0,02	0,06	0,12	0,09	0,1	0,04	0,12	0,11	0	1,46		
Maïs	0,31	0,15	2,41	0,01	0,006	0	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,02	0,029	0,07	0,07		
Huile végétal	0	3,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Levure	0,47	0,03	0,38	0,03	0,006	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,032	0,02	0,03		
Total	26,89	6,21	46,35	1,63	0,38	0,35	1,03	2,03	1,31	1,37	0,65	1,92	2,23	0,52	3,73	353,317	260,97
besoins (%)	25 30	6 12	30 70	1,37	<u>0,72</u>	0,27	1,02	0,91	0,83	0,75	0,46	1,13	1,02	0,5	<5	289	289

Tableau -16- : pourcentage et prix des ingrédients à incorporer pour la formule 4

Ingrédients	Soja	Orge	Gland	Maïs	Huile végétale	Levure de boulangerie	CMV	MET	Total
% de Aliment	48	10	34	3,5	3,5	1	1	0,345	101
Prix	12,43	1,5	3,4	0,48	3,11	1,4	0,9	0,09	23,3

2.5. Intérêt de cette méthode :

- 1) cette méthode est à la portée de tout pisciculteur ayant un minimum de connaissance en excel.
- 2) le pisciculteur a l'avantage de reformuler à souhait en fonction des prix et de la disponibilité des matières premières sur le marché.
- 3) contrairement aux logiciels existants sur le marché à des prix exorbitants, notre méthode n'exige qu'un simple ordinateur équipé d'un programme excel.

3. Fabrication de l'aliment

3.1. Processus de fabrication :

3.1.1. Matériel :

- Balance électronique ;
- Récipients ;
- Tamis fin (1mm) ;
- Plats de cuisson ;
- Papier aluminium ;
- Etuve ;
- Broyeur ;
- Hachoir à viande ;
- Sachets en plastiques ;
- Bocaux en verre ;
- Tissu filtrant ;
- Couteau, bistouris.

3.1.2. Fabrication de la farine de poisson :

La farine de poisson utilisée dans notre aliment est fabriquée en suivant les étapes du diagramme ci-après (figure 4). Ces étapes sont inspirées de la méthode par voie humide (Gouessant ,2004).

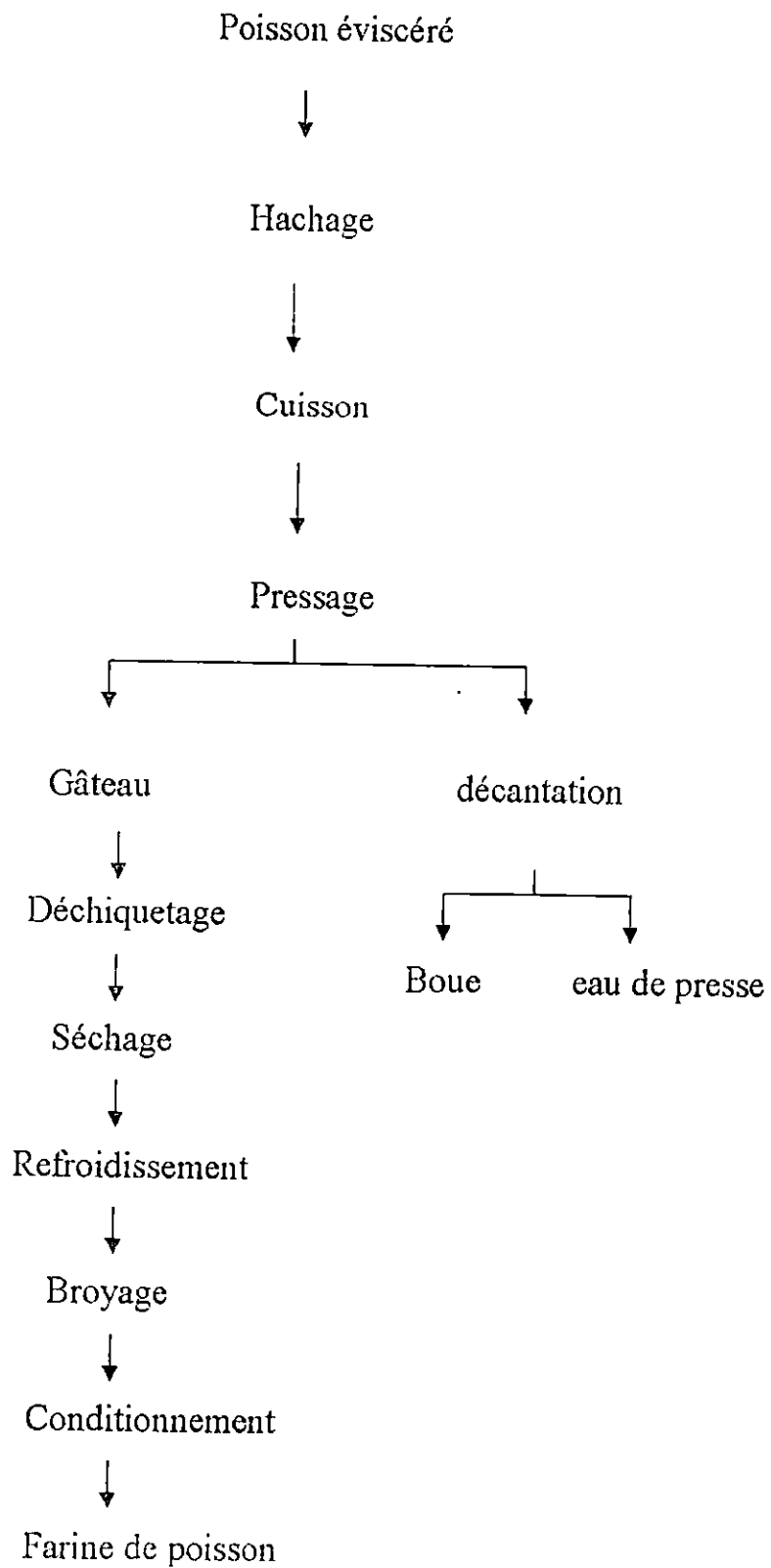


Figure 4 : Diagramme de fabrication de la farine de poisson

- **Hachage :**

Les poissons éviscérés sont coupés en petits morceaux à l'aide d'un couteau.

- **Cuisson :**

Elle est réalisée dans un autoclave en présence d'eau, à une température de 90°C pendant 20mn. A ce niveau, à lieu la première séparation entre la phase solide (gâteau) et la phase liquide (eau + huile).

- **Le pressage :**

Il est réalisé manuellement en mettant toute la matière première cuite dans un tissu filtrant (en forme de poche), puis on serre fortement.

- **La décantation :**

Le liquide est mis dans un récipient et laissé décanter jusqu'à l'obtention de trois couches distinctes : la première est flottante (huile), la deuxième est l'eau, puis en dernier lieu on trouve la boue ; cette dernière est ajoutée au gâteau.

- **Séchage :**

Le gâteau est séché dans une étuve à une température de 45°C pendant 48h.

- **Broyage :**

Après refroidissement, la matière sèche est passée dans un broyeur puis tamisée afin d'avoir une farine fine et homogène. Les particules seront alors rebroyées.

- **Conditionnement :**

La farine de poisson est stockée dans des sachets à l'abri de la lumière et de l'humidité.

Remarque : La qualité de la farine de poisson dépend essentiellement de la fraîcheur de la matière première, du mode et température de séchage (la température la plus utilisée est celle de LT : Low Température ou basse température T° inférieur à 70°C, et enfin de l'espèce de poisson.

3.1.3. Méthode de fabrication d'aliment :

Le processus de fabrication des aliments consiste en une série d'opération dont le but est d'associer plusieurs matières premières dont les proportions sont fixées à l'avance, pour un objectif nutritionnel précis.

Les 04 aliments à tester sont fabriqués suivant les étapes ci- dessous :

3.1.3.1. Séchage :

Est réalisé dans une étuve (60°C) pendant 24 à 48 h (selon la nature de la matière première). Les matières premières sont séchées séparément les unes des autres.

3.1.3.2. Broyage :

Consiste à réduire les matières premières en particules plus fines et il est suivi d'un tamisage pour éliminer les grandes particules qui vont être broyées. Pour notre expérience, on a utilisé le broyeur du CNDPA, qui peut réduire les particules jusqu'à 800 µm.

3.1.3.3. Pesage :

La précision du pesage est d'une importance capitale car tout excès ou insuffisance d'un élément constitue une dépense supplémentaire pour le fabricant et/ou un risque pour le pisciculteur.

Dans notre expérience, le pesage est fait à l'aide d'une balance électronique d'une précision de 0.001g.

3.1.3.4. Mélange :

Est fait à la main, dans un récipient propre. Cette opération est importante pour l'élaboration d'un aliment composé. Elle consiste à associer les matières premières préalablement broyées et dosées en le répartissant uniformément dans la masse du mélange.

L'incorporation de l'huile se fait progressivement avec un mélange continu.

L'ajout d'eau à 50°C se fait également progressivement jusqu'à l'obtention d'une pâte.

Les vitamines et les sels minéraux sont incorporés à ce stade après les avoir dissous dans l'eau ou l'huile, selon leur nature (hydrosolubles ou liposolubles).

La pâte obtenue est laissée reposer à une température ambiante pendant 1h de temps pour que sa masse volumique diminue par l'effet des levures de boulangerie.



Photo 1 : Mélange des différentes matières premières lors de fabrication de l'aliment.

7.1.3.5. Pressage et calibrage :

A l'aide d'un hachoir à viande, la pâte est pressée puis transformée en spaghetti d'un diamètre de 3 mm approximativement.

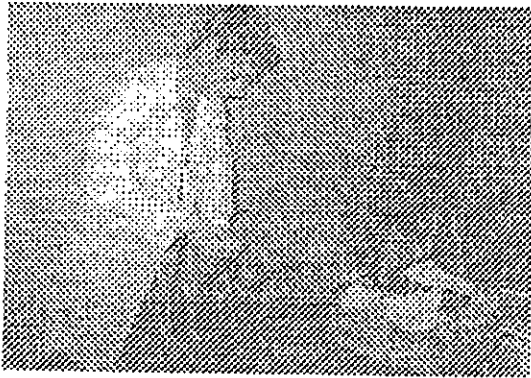


Photo 2 : Préssage et calibrage de l'aliment

7.1.3.6. Le séchage :

Est réalisé dans une étuve à une température de 60°C. Le taux d'humidité obtenue après le séchage est de 10 à 15 %.

Les spaghettis séchés et refroidis , sont réduits en granulés de taille d'environ 2 mm à l'aide d'un bistouri.

Le taux d'humidité de l'aliment s'obtient par soustraction du poids du mélange des matières séchées du poids du mélange après séchage.

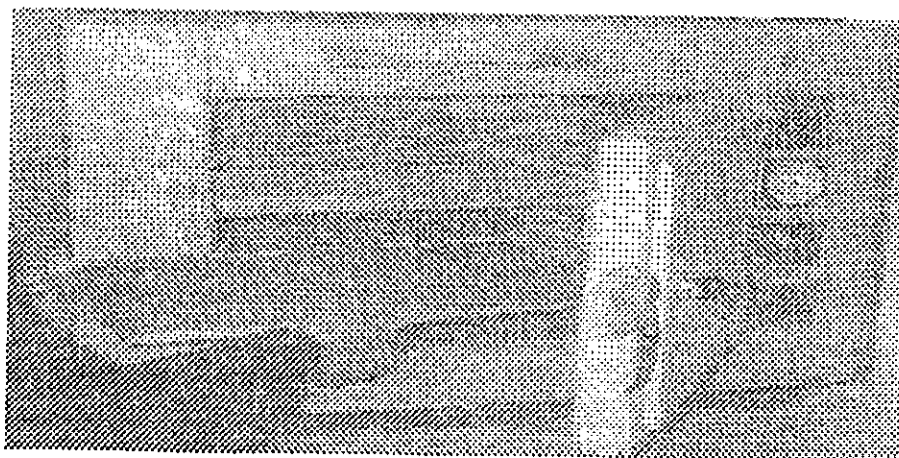


Photo 3 : Séchage de l'aliment à une température de 60°C

7.1.3.7. La conservation :

Les granulés sont stockés dans des bocaux en verre, munis d'étiquettes (date de fabrication, n° de formules, ingrédients,...), à l'abris de la lumière et de l'humidité (dans un réfrigérateur à une température 4°C).

4. distribution et test d'aliment

4.1. Matériel :

- 08 aquariums ;
- Thermostats ;
- Aérateurs ;
- Balance électronique ;
- Anesthésiant ;
- Ichtyo mètre ;
- Récipient ;
- Tuyaux ;
- Pipettes ;
- Thermomètre ;
- PH mètre ;
- Oxymètre ;
- Fioles 100 ml ;
- Flacons ;
- Nacelle ;
- Spectrophotomètre ($\lambda = 630 \text{ nm}$).
- Poissons (de CNDPA, âge de 6 mois).
- Les réactifs :
 - R_1 = Solution de phénol-nitroprussiate de Na (3 ml).
 - R_2 = Solution alcaline d'hypocrite (3 ml).

4.2. Méthode :

L'expérience a été réalisée sur 64 individus, de poids approximativement semblable, à raison de 08 poissons par aquarium.

Chaque formule est testée sur 16 individus répartis équitablement sur 2 aquariums dont le volume d'eau de chacun est de 50 l

Le poids moyen initial des individus est de 11,2 g, de 6 mois d'âge.

Les alevins sont mis dans les aquariums une semaine avant le début de l'expérience pour l'adaptation, leur alimentation est arrêtée 02 jours avant le démarrage de notre expérience.

Tous les aquariums sont équipés de filtres, aérateur et thermostats qui assurent respectivement la filtration de l'eau, l'aération et une température optimale de 28°C.

La ration journalière (R_j) est de 6% de poids des individus.

$$R_j = \text{poids total des individus par aquarium} * 0,06$$

Le relevé de la croissance Taille- Poids se fait chaque semaine (le mercredi), individu / individu pour chaque aquarium.

Une nouvelle ration journalière est alors calculée en fonction de la nouvelle biomasse.

La distribution de l'aliment se fait manuellement tous les jours sauf le vendredi (jour de jeun).

La fréquence de distribution est de 03 fois /jour : matin, midi et soir.

Le renouvellement de l'eau est de l'ordre de 10% du volume totale de chaque aquarium /jour (c'est-à-dire, 5l/j)

La vidange et le rinçage des aquariums se fait chaque semaine (mercredi) en même temps que les opérations de pesée et de mesures des tailles des poissons.

Les paramètres physico-chimiques (T° , PH, O_2) sont mesurés quotidiennement alors que l'analyse de NH_4^+ se fait hebdomadairement.

Les mesures des taux d'oxygène dissous se fait avant et après chaque repas.

5. Méthodes d'évaluation de l'efficacité de l'aliment

5.1. Indices :

5.1.1. L'indice de conversion (IC) :

$$IC = \frac{\text{Quantité d'aliment ingérée (g)}}{\text{Gain de poids (g)}}$$

Où :

Quantité d'aliment ingérée (QAI) (g) = Biomasse (g) * Ration journalière

Gain de poids (GP) (g) = Poids final (g) – Poids initial (g).

Plus la valeur de ce rapport (IC) est petite et plus la valeur biologique de l'aliment est grande (Vassal et Brusle, 1984)

5.1.2 Coefficient d'efficacité protéique (CEP) :

$$CEP = \frac{\text{Gain de poids (g)}}{\text{Quantité de protéines ingérée (g)}}$$

Où :

Quantité de protéines ingérée (QPI) (g) = QAI (g) * Pourcentage de protéines (%).

Plus la valeur de ce rapport (CEP) est grande et plus la valeur biologique des protéines est grande (Alliot et *al*, 1984)

5.1.3. L'indice de croissance journalière (ICJ) :

$$\text{ICJ} = \frac{\text{Gain de poids (g)}}{\text{Durée de l'expérience (j)}}$$

5.2. Etude statistiques : (Schwartz, 1993)

Ces tests statistiques nous permettent de comparer les rendements moyens des aliments.

5.2.1. Test de comparaison entre plusieurs moyennes et analyse de la variance :

La comparaison des moyennes de c séries de mesures d'une quantité x , inscrites dans les c colonnes d'un tableau est basée sur le rapport F dont :

le numérateur est la variance « entre colonnes » :

$$\frac{\sum (T_i^2/n_i) - T_G^2/N}{C - 1}$$

et le dénominateur est la variance « résiduelle » :

$$\frac{\sum x^2 - \sum (T_i^2/n_i)}{N - C}$$

Avec :

n_i : nombre de mesures de la colonne i ;

N = nombre total des mesures = $\sum n_i$;

T_i : total des mesures de la colonne i ;

T_G = total général des mesures = $\sum T_i$.

Les moyennes diffèrent significativement dans leur ensemble au risque 5% si F dépasse la limite $F_{C-1, N-C}^{C-1}$ lue dans la table de F « point 5% » pour les degrés de liberté $(C-1)$ et $(N-C)$. Elle diffèrent au seuil 1% si F dépasse la limite lue dans la table « point 1% ».

5.2.2. Test de comparaison entre deux moyennes (test t) :

La comparaison entre deux moyennes m_A et m_B observées sur deux échantillons n_A et n_B , cas des petits échantillons, dont l'un au moins est petit, est basée sur la valeur de :

$$t = \frac{m_A - m_B}{\sqrt{(S^2/n_A) + (S^2/n_B)}}$$

Où :

S^2 désigne l'estimation de la variance supposée commune et exprimée par la formule :

$$S^2 = \frac{\sum (x - m_A)^2 + \sum (x - m_B)^2}{n_A + n_B - 2}$$

Si t est inférieur à la valeur lue dans la table de t pour d. d. l. = $n_A + n_B - 2$, et le risque 5%, la différence n'est pas significative et le risque indiqué par la table pour la valeur de t trouvée fixe le degré de signification.

5.3. Evaluation économique des aliments testé :

Connaissant les prix des matières premières à utiliser et connaissant les taux de conversion de chaque aliment, on peut en déduire alors les frais d'alimentation des poissons.

Frais d'aliment pour 1 kg de poisson = IC * Prix d'un kg d'aliment.

6. Résultats :

a) poids et mortalités :

Les résultats des poids et des mortalités enregistrés durant l'expérience sont donnés dans les tableaux et figures ci-après. Ces résultats montrent que la croissance pondérale des 4 lots d'alevins nourris par chaque une des 4 aliments est différente. Cette différence a été confirmée par les tests statistiques (test de comparaison entre plusieurs moyens et analyse des variances et le test t de comparaison entre deux moyens (Schawrdz, 1993). Les résultats de ces tests sont donnés après les tableaux et figures des poids.

Tableau -17- : Poids initiaux (g)

Individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	11.68	12.21	9.26	9.25	10.98	10.63	10.78	12.57
2	11,36	11.9	10.58	9.29	10.85	10.92	10.8	10.4
3	11,73	11.81	11.48	11.12	9.91	11.14	10.5	12.86
4	11,36	9.6	11.52	9.35	10.27	11.97	11.53	11.18
5	9,46	11.25	13	11.84	9.41	10.37	12.8	11.56
6	11,98	13.61	13.45	9.47	11	11.23	12.59	11.35
7	13,72	10.77	12.26	9.76	11.16	12.31	10	12.45
8	11,93	9.93	8.08	10.26	12.46	12.69	13.25	12.03

Poids total	184.3	169.97	177.1	186.66
Poids moyen	11.52	10.62	11.07	11.67
Ration journalière	11.06	10.2	10.62	11.2

Tableau -18- : Poids après 1semaine (g)

Individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	16.58	15.8	16.77	10.59	16.88	15.02	14.01	14.5
2	16.07	14.05	15.67	14.67	14.73	16.95	11.7	14.1
3	14.3	12.26	14.43	11.65	12.77	12.45	12.8	12.26
4	13.04	19.42	16.17	12.73	13	13.92	15.51	14.5
5	16.53	12.96	10.22	15.18	14.8	12.86	14.95	13.41
6	18.09	15.26	11.26	12.24	14.71	14.02	14.51	14.1
7	15.41	15.04	14.58	12.34	12.63	13.13	12.29	15.64
8	16.23	mort	16.27	12.19	mort	14.05	13.82	14.9

Poids total	231.04	216.96	201.1	227
Poids moyen	15.40	13.56	14.20	13.94
Ration journalière	13.86	13.02	12.07	13.62

Tableau -19- : Poids après 2 semaines (g)

Individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	21,42	25,22	18,44	17,89	18,7	18,53	16,78	12,9
2	20,23	22,8	19,27	17,64	16,42	17,62	18,45	17,84
3	19,5	19,6	13,79	15,51	16,24	16,16	13,63	17,52
4	22,8	26,36	20,41	15,95	19,47	17,66	18,53	16,39
5	18,16	17,52	19,81	15,45	22,25	18,37	14,47	15,64
6	21,55	20,34	18,4	14,07	18,45	17,79	17,21	18,96
7	21,13	mort	17,75	14,97	17,13	15,99	17,79	16,8
8	20,9	mort	12,1	15,03	mort	15,48	14,45	14,35

Poids total	298,79	266,48	266,85	261,71
Poids moyen	21,34	16,66	17,79	16,36
Ration journalière	17,93	15,99	16,01	15,7

Tableau (20) : Poids après 3 semaines (g)

Individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	24.49	20.95	21.21	17.3	19.22	18.2	21.05	17.75
2	24.95	21.76	21.06	19.54	18.89	21.75	18.88	19.431
3	18.01	23.27	20.74	16.89	17.59	18.93	14.15	15.37
4	24.31	24.48	22.41	19.44	21.12	16.03	20.11	18.38
5	19.9	31.5	14.29	17.36	24.17	17.23	19.97	18.17
6	23.58	28.87	14.57	17.35	26.91	22.45	16.64	21.72
7	24.2	mort	22.06	16.91	21.09	21.64	19.37	Mort
8	25.24	mort	20.7	18.20	mort	19.97	mort	mort

Poids total	337,54	300.03	305.95	240.93
Poids moyen	24,11	18,75	20,4	18,53
Ration journalière	20,252	18,002	18,358	14,456

Tableau (21) : Poids après 4 semaines (g)

Individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	28.02	38.76	25.34	19.6	24.1	23.6	22.09	19.62
2	30.93	33.77	23.87	20.73	21.68	23.62	23.75	18.5
3	33.45	23.94	23.75	20.87	33.21	20.23	18.9	21.95
4	22.45	27.11	17.89	21.27	33.15	27.06	22.11	23.2
5	26.44	26.29	25.01	19.78	25.9	18.92	15.71	mort
6	31.58	37.64	27.62	22.41	32.39	22.66	22.2	mort
7	18.73	mort	24.01	20.91	25.35	24.9	19.66	mort
8	30.22	mort	15.97	17.88	mort	21.18	mort	mort

Poids total	412,62	346,94	379,88	227,97
Poids moyen	29,47	21,68	25,33	20,72
Ration journalière	24,76	20,82	22,79	13,68

Tableau -22-: Poids après 5 semaines (g)

Individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	29.01	44.20	17.58	23.59	27.06	28.70	16.20	23.30
2	23.05	35.10	31.49	24.06	40.12	26.29	24.23	24.31
3	34.36	28.92	29.79	24.34	34.82	21.32	26.33	19.28
4	39.74	32.78	27.60	23.95	27.47	21.51	26.11	mort
5	36.24	40.01	29.07	22.71	30.56	32.41	20.13	mort
6	35.70	43.55	22.39	25.01	32.39	22.09	24.01	mort
7	mort	mort	33.84	20.75	24.40	26.32	mort	mort
8	mort	mort	mort	23.61	mort	35.88	mort	mort

Poids total	422.75	381.73	433.42	203.15
Poids moyen	35.23	25.45	29.89	22.57
Ration journalière	25.37	22.90	26.01	12.19

Tableau -23- : Résultats des poids moyens des poissons nourris par les 4 formules.

Age (semaine)	Poids moyens (g)			
	formule 1	formule 2	formule 3	formule 4
0	11,52	10,62	11,07	11,67
1	15,38	13,56	14,2	13,94
2	21,34	16,66	17,79	16,36
3	24,11	18,75	20,4	18,53
4	29,7	21,68	25,33	20,72
5	35,23	25,45	28,89	22,57

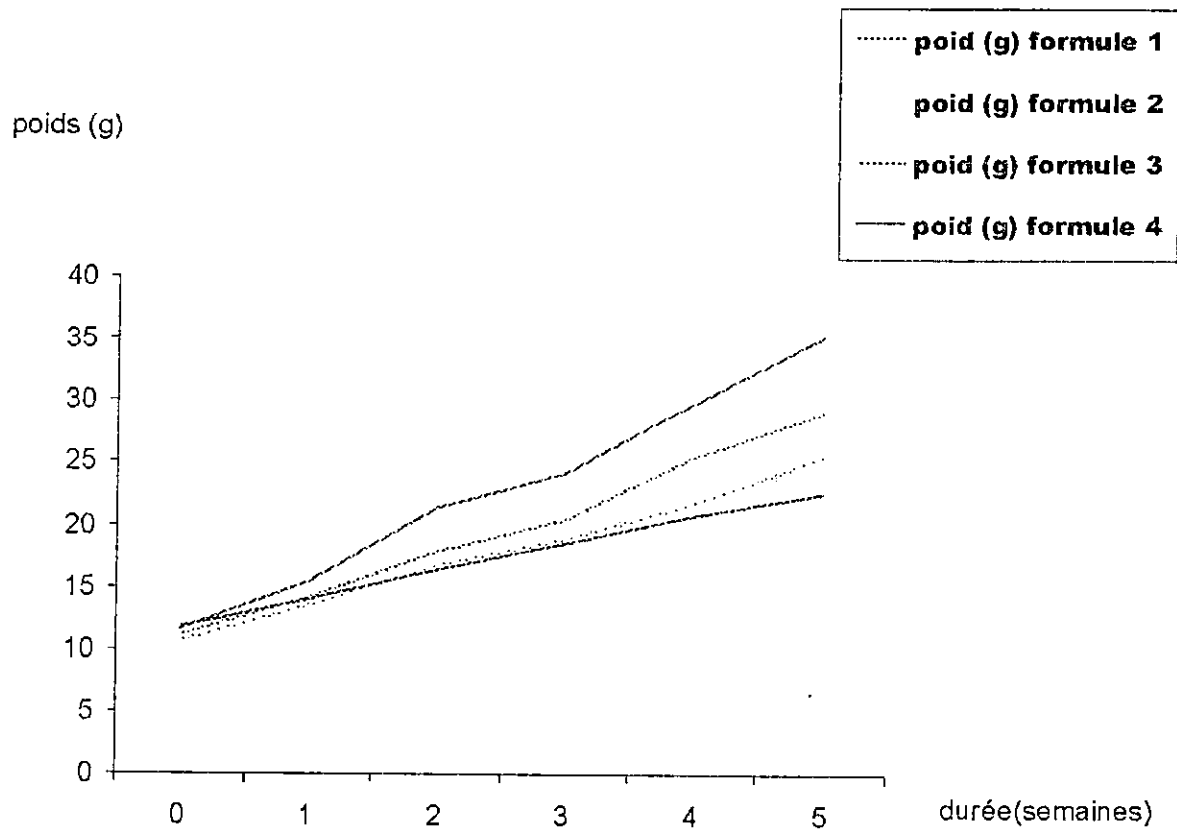
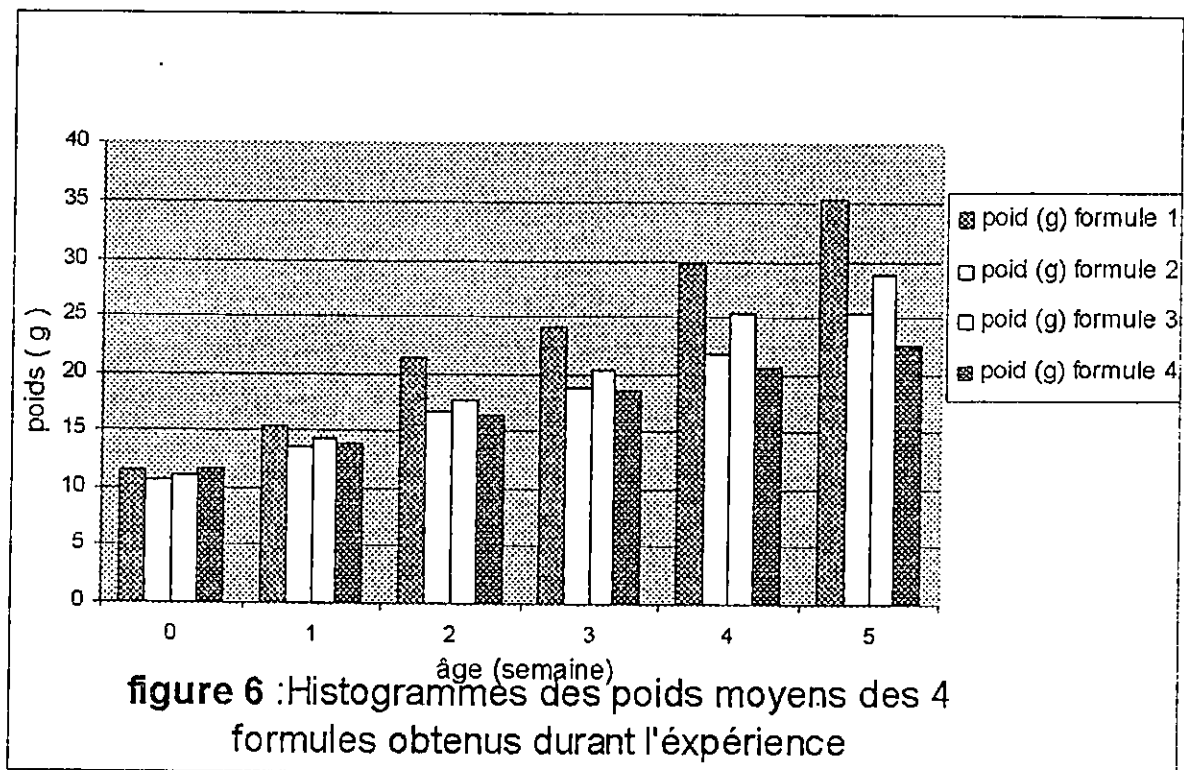


figure 5 : courbes des poids moyens obtenus durant l'expérience des 4 formules



b) Etude statistique :

b₁) Comparaison entre les rendements moyens des 4 aliments par le test de comparaison de plusieurs moyennes et analyse des variances :

les rendements moyens des 4 aliments sont significativement différents.

B₂) Comparaison des rendements moyens entre chaque deux aliments par le test t:

- la différence entre le rendement de l'aliment 1 et celui de l'aliment 2 est hautement significative.
- la différence entre le rendement de l'aliment 1 et celui de l'aliment 3 est hautement significative.
- la différence entre le rendement de l'aliment 1 et celui de l'aliment 4 est hautement significative

- la différence entre le rendement de l'aliment 2 et celui de l'aliment 3 est non significative.

- la différence entre le rendement de l'aliment 2 et celui de l'aliment 4 est significative,

- la différence entre le rendement de l'aliment 3 et celui de l'aliment 4 est significative.

c) Tailles :

Les résultats des tailles obtenus durant l'expérience ont révélé une différence de croissance linéaire entre les individus des 4 lots (voir tableaux et figure ci-après).

Tableau -24 - : Tailles initiales (cm)

Individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	9.0	9.0	8.6	8.5	9.0	8.9	8.8	9.3
2	9.5	9.3	8.6	8.5	8.9	8.8	8.6	8.7
3	8.9	9.1	9.1	9.0	8.3	9.0	8.6	8.6
4	8.9	8.9	9.0	8.8	8.7	9.2	9.0	8.7
5	8.5	9.0	9.3	9.2	8.6	8.7	9.1	8.8
6	9.2	9.5	9.2	8.4	8.9	8.9	9.3	9.0
7	9.4	9.0	9.3	8.4	9.1	9.2	8.5	9.1
8	9.3	8.6	8.1	9.1	9.4	9.3	9.3	9.6

Taille moyenne	9.07	8.82	8.93	8.94
-----------------------	------	------	------	------

Tableau -25- : Tailles après 1 semaine (cm)

individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	10.3	10.1	10.0	9.3	10.1	9.4	9.6	9.1
2	9.9	9.5	10.0	9.6	9.6	9.8	9.0	9.5
3	9.5	9.0	9.2	9.0	9.3	9.1	8.9	9.1
4	9.4	10.6	9.7	9.7	9.4	9.4	9.6	9.3
5	10.0	9.4	8.4	9.8	9.5	9.4	9.7	9.4
6	10.0	10.0	8.8	9.2	9.6	9.5	9.7	9.3
7	9.5	9.4	9.5	9.0	9.0	9.2	9.1	10.1
8	10.1	mort	9.8	9.0	mort	9.3	9.5	9.4

Taille moyenne	9.78	9.38	9.44	9.39
-----------------------	------	------	------	------

Tableau -26- : Tailles après 2 semaines (cm)

individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	11.0	11.5	10.3	10.5	10.7	10.4	10.2	9.5
2	10.8	11.2	10.5	10.3	10.3	10.1	10.5	10.7
3	10.3	10.5	9.5	9.9	10.0	9.9	9.5	10.0
4	10.8	11.7	10.6	10.1	10.7	10.4	10.2	10.2
5	10.0	10.2	10.6	10.1	11.0	10.1	9.5	9.8
6	10.9	10.3	10.7	9.4	10.3	10.2	10.3	9.9
7	10.5	mort	10.4	9.5	10.3	10.0	10.3	10.1
8	10.9	mort	9.2	9.9	mort	10.0	9.6	9.4

Taille moyenne	10.38	10.09	10.03	9.98
-----------------------	-------	-------	-------	------

Tableau-27- : Tailles après 3 semaines (cm)

individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	11.0	10.7	10.6	10.2	10.6	10.2	10.9	10.3
2	11.1	10.7	10.8	10.6	10.3	10.6	10.4	10.1
3	10.5	11.0	10.8	9.7	10.3	10.0	9.2	9.5
4	11.1	11.7	10.8	10.7	10.9	10.2	10.4	10.3
5	10.2	12.3	9.4	10.4	11.2	10.2	10.2	10.3
6	11.0	12	9.6	10.3	11.5	10.7	9.9	10.3
7	10.8	mort	11.0	10.0	10.8	10.4	10.4	mort
8	11.3	mort	10.6	10.2	mort	10.1	mort	mort

Taille moyenne	11.14	10.36	10.55	10.17
-----------------------	-------	-------	-------	-------

Tableau -28- : Tailles après 4 semaines (cm)

individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	11.8	13.0	11.4	10.3	11.2	11.2	10.8	10.9
2	12.2	12.7	11.2	10.5	10.8	10.8	11.2	9.8
3	12.0	12.0	10.9	10.6	12.5	10.7	10.3	10.8
4	11.9	11.5	10.0	10.8	12.0	11.4	10.9	10.6
5	11.9	10.3	11.2	10.7	11.5	10.8	9.5	Mort
6	11.1	13.0	11.4	10.9	10.4	10.8	10.8	Mort
7	10.5	Mort	11.0	11.0	10.0	10.8	10.5	Mort
8	12.0	mort	9.8	9.9	mort	10.7	mort	mort

Taille moyenne	11.88	10.73	11.05	10.55
-----------------------	-------	-------	-------	-------

Tableau -29- : Tailles après 5 semaines (cm)

individus	Formule 1		Formule 2		Formule 3		Formule 4	
	Aqu1	Aqu 2	Aqu 3	Aqu4	Aqu5	Aqu6	Aqu7	Aqu8
1	12.0	13.5	10.2	11.4	11.4	11.4	10.0	11.0
2	11.0	12.5	12.2	11.6	12.9	11.5	11.2	11.1
3	12.4	11.5	11.8	11.6	13.0	11.1	11.3	10.1
4	12.9	11.6	11.7	11.0	11.3	11.1	11.6	Mort
5	12.6	13.6	11.7	10.9	12.0	12.0	10.5	Mort
6	12.9	13.7	10.6	11.3	12.1	11.0	11.2	Mort
7	Mort	Mort	11.9	10.4	10.4	11.2	Mort	Mort
8	mort	mort	mort	11.3	mort	12.4	mort	mort

Taille moyenne	12.52	11.32	11.67	10.85
-----------------------	-------	-------	-------	-------

Tableau - 30 - : Résultats des tailles moyennes des poissons nourris par les 4 formules durant l'expérience :

âge (semaine)	taille (cm)			
	formule 1	formule 2	formule 3	formule 4
0	9,07	8,82	8,93	8,94
1	9,77	9,38	9,44	9,39
2	10,73	10,09	10,3	9,98
3	11,14	10,36	10,55	10,17
4	11,88	10,73	11,05	10,55
5	12,52	11,32	11,67	10,85

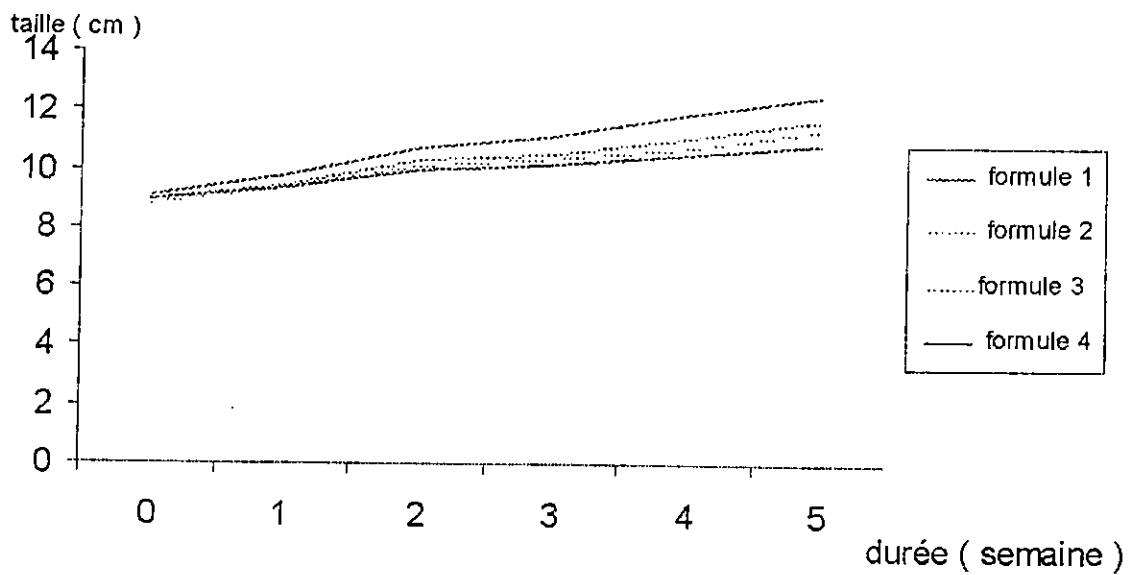


Figure -7- : courbe des résultats des tailles moyennes obtenus durant l'expérience.

d) paramètres physico-chimiques

• Température :

Les températures enregistrées durant l'expérience sont avoisinantes de l'optimum requis (28 C°) pour *Oreochromis niloticus*. ces résultats sont donnés dans l'annexe (2)

• pH :

Les valeurs du pH mesurés sont loin des limites létales d'*Oreochromis niloticus* (5-11) voir annexe 3.

• Oxygène :

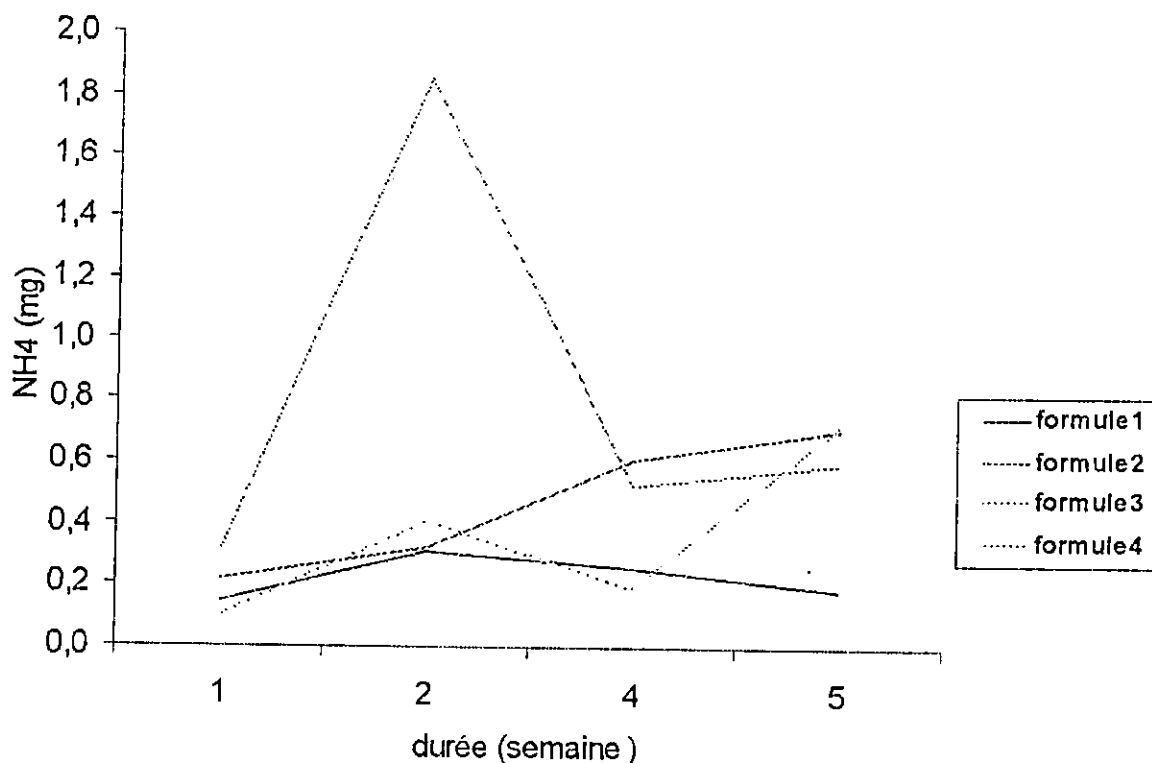
On général le taux d'oxygène dépasse 3 mg/l. à l'exception de rares cas où a été enregistré des taux <3 mg/l. au dessous de cette valeur, le poisson s'arrête de s'alimenter. Ces faibles valeurs enregistrées sont dues à l'immersion des aérateurs par inadvertance (voir annexe 4).

• Ammonium (NH₄) :

Les résultats hebdomadaires de NH₄⁺ obtenus sont donnés dans le tableau ci-après. ces valeurs sont loin du seuil léthal d'*Oreochromis niloticus*, présentent une nette différence entre les 4 lots, comme la montre la figure ci-après.

Tableau -31- : Résultats de l'ammonium en mg / semaine.

	semaine1	semaine2	Semaine4	Semaine5
formule1	0,1464	0,307	0,251	0,185
formule2	0,2163	0,32	0,605	0,702
formule3	0,0979	0,404	0,188	0,716
formule4	0,3074	1,849	0,519	0,591



figur():taux de NH4 enregistrés

e) Indices:

Les meilleurs indices de conversion obtenus par les quatre aliments testés par ordre décroissant sont comme suit : IC Aliment 1 < IC Aliment 3 < IC Aliment 2 < IC Aliment 4, (Voir tableau 33).

Les meilleurs indices de croissance journalière obtenus par les quatre aliment testés par ordre décroissant sont comme suit :

ICJ Aliment 1 > ICJ Aliment 3 > ICJ Aliment 2 > ICJ Aliment 4,
(Voir tableau 33).

Les meilleurs coefficient d'efficacité protéique obtenus par les quatre aliments testés par ordre décroissant sont comme suit :

CEP Aliment 1 > CEP Aliment 3 > CEP Aliment 2 > CEP Aliment 4, (Voir tableau 33).

Tableau -32- Indices de conversion alimentaire des quatre formules / semaine :

Semaines	Indice de conversion (IC)	formules			
		1	2	3	4
1	Gain de poids moyen (g)	3,86	2,94	3,13	2,27
	quantité d'aliment moyenne distribuée (g)	3,456	3,186	3,32	4,199
	IC	0,9	1,08	1,06	1,85
2	Gain de poids moyen (g)	5,96	3,1	3,59	2,42
	quantité d'aliment moyenne distribuée (g)	5,5368	4,8816	5,112	5,018
	IC	0,93	1,57	1,42	2,07
3	Gain de poids moyen (g)	2,77	2,09	2,61	2,17
	quantité d'aliment moyenne distribuée (g)	7,6824	5,9976	6,4044	5,888
	IC	2,77	2,87	2,45	2,71
4	Gain de poids moyen (g)	5,63	2,93	4,93	2,19
	quantité d'aliment moyenne distribuée (g)	8,679	6,75	7,344	6,672
	IC	1,54	2,3	1,49	3,05
5	Gain de poids moyen (g)	5,49	3,77	3,56	1,85
	quantité d'aliment moyenne distribuée (g)	10,7064	7,8048	9,1188	7,461
	IC	1,95	2,07	2,56	4,03

Tableau - 33 - : Données et indices calculés des quatre formules à la fin de l'expérience :

données/indice	Formules			
	1	2	3	4
% des protéines	29,43	27,21	27,3	26,9
Quantité d'aliment moyenne totale utilisée (g)	35,965	29,258	31,959	29,24
Quantité de protéines moyenne totale ingérée (g)	10,58	7,96	8,72	7,87
Gain de poids moyen total (g)	23,71	14,83	17,82	10,9
Indice de conversion (IC)	1,52	1,97	1,79	2,68
Coefficient d'efficacité protéique (CEP)	2,24	1,86	2,04	1,39
Indice de Croissance Journalière (ICJ)	0,68	0,42	0,51	0,31

f) Etude économique :

Les prix des différentes matières premières utilisées sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau-34 - : Prix des différentes matières premières.

Matières premières	Prix (DA/kg)	Source
Orge	15	ONAB, Mars 2004.
Maïs	13,72	
Huile végétale	88.88	
Levure de boulangerie	140	
Soja	29,66	
Méthionine	265	
CMV	90	Société agro- alfa (Allemagne), Email : andras@argo-alfa.hu
Farine de poisson	40	

Le coût de revient d'un kg d'alevin pour chaque aliment est donné dans le tableau suivant :

Tableau-35- : Coût de revient d'un kg d'alevin :

Aliments	Prix (DA/kg)	Coût de revient
1	27.98	42.529
2	27.08	53.35
3	27.84	49.83
4	23.3	62.44

Le coût de revient de l'aliment 1 < l'aliment 3 < aliment 2 < aliment 4.

7. Discussion :

Durant notre expérience on a testé quatre (4) aliments pour le pré grossissement des alevins *d'Oreochromis niloticus* élevés dans des conditions optimales de croissance (T°C, S‰, pH,...). Ces quatre aliments sont formulés par «la méthode des pourcentages à moindre coût» en fonction des besoins nutritifs *d'Oreochromis niloticus* à partir de différentes matières premières incorporées à des taux différents de telle façon à satisfaire les besoins de cette espèce (voir tableaux : 9 ; 11 ; 13; 15). Les meilleures croissances obtenues dans l'ordre décroissant avec les aliments testés sont respectivement 1, 3, 2 et 4.

Cette différence a été confirmée par les tests statistiques (test de comparaison entre plusieurs moyennes et analyse de la variance et le test t (Schwartz, 1993), (voir Annexes: 5, 6), et les indices d'évaluation de l'efficacité alimentaire (IC, CEP, ICJ) (voir tableaux : 32 ; 33).

Explications :

La digestibilité des protéines alimentaires est fonction de facteurs directement liés à la qualité des matières premières, comme la présence éventuelle de facteurs anti-nutritionnels : les poissons sont extrêmement sensibles aux facteurs antitrypsines présents dans les matières premières d'origine végétale, comme le cas du soja (voir chapitre 3).

Ce dernier (soja) est la principale source protéique dans l'aliment 2 et 4, ce qui explique le retard de croissance des alevins nourris par ces deux aliments, puisque le processus suivi pour la fabrication de ces aliments n'a pas pu éliminer les facteurs anti-nutritionnels à cause du manque des moyens de traitement de ces matières premières (comme l'extrudeur).

D'après Gouessant, 2004, le recours à des traitements hydrothermiques comme l'extrusion des matières premières ou d'aliments permet d'améliorer l'utilisation digestive de tel apport alimentaire.

Les résultats des indices de conversion (IC) des quatre (4) aliments comparés à ceux des autres auteurs qui ont travaillé sur la même espèce, comme Ross et Muir, 1982, in Balarin et Haller, 1982; (in Kestemont, et *al*, 1999), évoluent dans un même intervalle qui est compris entre 1,4 et 2 pour le même stade de prégrossissement.

Pour les huit (8) aquariums, des mortalités ont été enregistrées. Leur étiologie n'est pas due à la qualité de l'eau (eau claire, ne dégageant aucune odeur désagréable), ou à un agent pathogène ; mais au déclenchement du phénomène de la reproduction à partir de la troisième semaine (observation des œufs lors de la vidange des aquariums) qui s'est manifestée par une défense territoriale se traduisant par une agressivité des alevins. Les conditions de vie en aquarium influence le comportement des poissons, leur maturité sexuelle apparaît nettement plus tôt que dans les autres systèmes d'élevage. Ainsi, les mâles pesant moins de 10 g défendent déjà un territoire de reproduction, les femelles qui ne pèsent que 25 à 40g commence la reproduction, Kestemont et *al*, 1989.

Durant notre expérience, certaines conditions d'élevage n'étaient pas optimales :

- volume d'élevage réduit ;
- fréquence de nourrissage insuffisante ;
- ration journalière non ajustée au poids du poisson à partir de la 3^{ème} semaine.

Ces conditions peuvent diminuer le rendement des quatre aliments. Ceci est corroboré par Kestmont et *al*, 1999 : l'élevage en aquarium pose un certain nombre de problèmes, ceux-ci sont tous directement ou indirectement provoqués par le volume réduit qui caractérise ce type particulier de milieu de vie.

La même source rapporte également que la tendance naturelle des Tilapias à se nourrir de façon relativement continue durant la journée indique que leur système digestif est plutôt adapté à recevoir un apport régulier et fréquent de petites quantités d'aliment.

En optimisant donc ces conditions d'élevage on améliorerait nettement l'efficacité des aliments testés.

Les résultats hebdomadaires d'ammonium (NH_4^+) enregistrés (voir tableau 31 et figure 8), peuvent nous renseigner sur le devenir des protéines (anabolisme ou catabolisme), puisque les autres facteurs ($T^\circ\text{C}$, $\text{S}\%$, pH , taux de nourrissage, oxygène dissous...) sont restés constants durant toute l'expérience.

Ainsi, la plus grande part des protéines de l'aliment 2 et 4 n'est pas utilisée pour l'anabolisme (car présence de facteurs anti-nutritionnels), mais pour le catabolisme. Ce qui explique l'augmentation des taux de NH_4^+ dans les lots nourris par ces aliments.

Par contre, la plus grande part des protéines des aliments 1 et 3 est utilisée dans l'anabolisme, ce qui explique les faibles taux de NH_4^+ dans les lots nourris par ces aliments.

D'après Kaushik, 1995, les pertes azotées d'origine digestive sont en général faibles (de l'ordre de 10 % de l'azote ingéré) chez les poissons ou les crustacés recevant des aliments contenant de bonne source protéique...

Pour les quatre lots, on a remarqué une augmentation du taux de NH_4^+ à partir de la 3^{ème} semaine (voir figure 8) qui est due à l'augmentation des besoins énergétiques des poissons lors de l'apparition du phénomène de la reproduction.

Les quatre aliments sont caractérisés par un bon pouvoir liant mais à des degrés différents. Ainsi, on a remarqué que la compacité de l'aliment 4 dans laquelle est incorporé une matière première (gland) inexistante dans les autres formules est nettement plus élevée : le gland présenterait un grand pouvoir liant.

Par conséquent, il serait judicieux d'incorporer le gland dans chaque aliment à des pourcentages adéquats pour jouer le rôle de liant.

L'estimation de la croissance d'autres stades d'élevage par la méthode de Van Bertalanffy est impossible. Bien que les alevins testés avaient relativement une bonne croissance comme le confirme les résultats des autres méthodes d'évaluation de la croissance, les résultats obtenus pour L_{00} et W_{00} sont loin de refléter la réalité.

Ceci pourrait être expliqué par la taille de l'échantillon qui est petit et la durée de l'expérience qui est courte.

La fiabilité d'un aliment pour poisson se mesure à la capacité de produire au moindre coût le produit demandé par le marché.

Les coûts de revient d'un kg d'alevins d'*Oreochromis niloticus* sont donnés respectivement par ordre croissant comme suit :

Aliment 1, aliment 3, aliment2 et aliment 4.

bien que le coût de l'aliment 1 soit supérieur à ceux des aliments 2, 3 et 4.

Ceci s'expliquerait par un rendement meilleur de l'aliment 1.

Conclusion

L'aliment est l'intrant majeur des systèmes de production piscicoles. Sa fabrication en Algérie n'existe pas et peu de recherches sont faites sur ce domaine. C'est dans ce contexte que vient ce mémoire pour initier un protocole de formulation et de fabrication d'aliment.

Ce travail nous a permis :

- de formuler deux aliments plus ou moins efficaces et dont le rendement peut être amélioré en optimisant la ration journalière et la fréquence de nourrissage.
- de soulever le problème des facteurs antinutritionnels des aliments dont les protéines sont d'origine végétale et qu'il faudra prendre en considération à l'avenir.
- de proposer une méthode de formulation facilement utilisable sur Excel par tout pisciculteur, chercheur ou étudiant. Ces personnes auront le loisir de formuler et reformuler selon l'espèce à élever et les matières premières disponibles d'autant plus qu'à l'heure actuelle il n'existe aucun logiciel de formulation d'aliment pour poisson en Algérie. Ainsi, par cette méthode, la porte est ouverte à nos informaticiens de la développer en logiciel.
- de confirmer l'intérêt d'un élevage monosexé d'*Oreochromis niloticus* car le déclenchement du phénomène de reproduction a minimisé les performances des aliments sur la croissance.

Ce mémoire recèle des informations bibliographiques précises et variées pouvant être exploitées par toute personne souhaitant travailler sur l'alimentation d'*Oreochromis niloticus*.

Du point de vu économique, cette étude a permis de conclure que :

La fiabilité d'un aliment est directement liée à son IC et non seulement aux prix des matières premières.

Pour un élevage intensif d'*Oreochromis niloticus*, il faudrait alors produire localement l'aliment ce qui permet de réduire sensiblement le coût de revient.

Donc l'installation d'une UAP (Usine d'Aliment pour Poissons) en Algérie est indispensable pour le développement de la pisciculture intensive.

Bibliographie

- ADJOUT H. et MEZIANE N., 2002. Etude technico – économique d'une ferme aquacole de production intensive de *Tilapia nilotica* intégré à l'aquaculture dans la région d'ADRAR au sud d'Algérie. Master européen. Aménagement et gestion de production aquatique. Université de Montpellier 2. 61 P.
- ALLIOT E., PASTOUREAUD A. et THEBULT H., 1984. Amélioration des formules d'aliments artificiels pour le loup (*Dicentrarchus labrax*). Recherche biologique en aquaculture. Vol. 1. Ed. CNEXO. 75-86 P.
- ARRIGNON J., 1993. Pisciculture en eau douce : le Tilapia. Ed. Maisonneuve et Lavoisier. 125 P.
- ARRIGNON J. 1998. Aménagement piscicole des eaux douces. (5eme édition). Ed. Lavoisier. 589 P.
- ARRIGNON J., 2002. L'aquaculture de A à Z. Ed. Lavoisier. 439 P.
- BARNABE G., et BILARD R., 1984. L'aquaculture du Bar et des Sparidés. Ed. INRA. 542 P.
- BARNABE G., 1989. Aquaculture. Ed. Lavoisier. Volume 1 et 2. 1308 P.
- BARNARE G., 1991. Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture. Ed. Lavoisier. 500 P.
- BELAUD A., 1995. Oxygénation de l'eau en aquaculture intensive. Ed. CEPHDUÈS. 207 P.

BEVEREDGE M.C.M., et Mc ANDREW B.J., 2000. Tilapias: Biology and Exploitation. Ed. KAP. 505 P.

BILLARD R., 1995. Les Carpes: Biologie et élevage. Ed. INRA. 149 - 181.

BIMBENET J.J., DUQUENOY A., et TRISTRAM G., 2002. Génie des procédés alimentaires : Des bases aux applications. Ed. DUNOC. 552 P.

BIREM I. et BOUSSELOUB D., 2002. Essai de formulation d'un aliment artificiel pour la carpe royale (*Cyprinus carpio*). Rapport de fin de stage. Technicien en aquaculture. Ed. ITPA. 22 P.

BISHARA N.F., 1985. Studies on Tilapia species at nex ponds. Rapp. Comm. int. Médit. 27, 4. 117 - 118.

BISHARA N.F., 1985. Studies in the growth of *Tilapia nilotica* in Lake Manzalah. Rapp. Comm. int. Merit., 29, 4. 117 - 118.

BOUTOUCHENT T., 2002. *La pêche : un marché à investir*. Ed. PNDPA. 33 P.

BURTOT G., BUTHON L., DAVAINÉ Y., PABIOU T., FARINI M., et VALINGOT C., 1998. Références Aquaculture. Ed. Synthèse Agricole. Bordeaux. 190 - 196.

GERDEAUX D., 2001. Gestion piscicole des grands plans d'eau. Ed. INRA.

GRIESSINGER J.M., LACROIX D., et GONDOUIN P., 1991. L'élevage de la crevette tropicale d'eau douce. Ed. IFREMER. 372 P.

GUILLAUME J. et al, 1999. Nutrition et alimentation des poissons et crustacés. Ed. INRA, IFREMER. 489 P.

- HADJADJ N. et TOUMI M.L., 2003. Etude des différentes espèces de Tilapia introduites en Algérie et essai de leur élevage. Mémoire ingénieur option Aquaculture. Ed. ISMAL. 101 P.
- INRA, 1989. L'alimentation des animaux monogastriques : Porc, Lapin, Volailles. 2^{ème} édition. 149-239.
- KAUSHIK S. J. et MAMBRINI M., 1995. Nutrition azotée des poissons : Remplacement partiel ou totale de la farine de poissons. La pisciculture française -- n°118. Ed. INRA, IFREMER. 12 - 20.
- KAUSHIK S. J., 1995. *Nutrition des poissons et qualité de l'environnement*. N.S.T., Vol. 13, n°1. Ed. INRA- IFREMER. 51 - 57.
- KAUSHIK S. J., 2000. *Feed formation, diet development and feed technology*. Vol. 47. Cah. Options Méditerran. ISSN / 1022-1379. 43 - 51
- KAUSHIK S.J. et LUQUET P., 1993. *Fish nutrition in practice*. Ed. INRA. 117 - 126.
- KESTEMONT P., MICHA J. C., et FALTER U., 1989. Les méthodes de production des alevins de *Tilapia nilotica*. Doc. FAO.
- LAZARD J. JALABERT B., et DOUDET T., 1990. L'aquaculture des Tilapias du développement à la recherche. Ed. CCTFT. 116 P.
- LEVEQUE C., BRUTON M.N. et SSENTONGO G.W., 1988. Biologie et écologie des poissons d'eau douce africains. Ed. ORSTOM. 507 P.
- LUQUET P., 1989. *Aquat. Living Ressour.* 2, 29-104. Ed. IFREMER.

MARCEL J., 1997. Production piscicole maîtrisée en plan d'eau. Ed. IAVI. 73 P.

MELARD C., DUCARM C. et LASSERE J., 2000. Technologie de l'élevage intensif du Tilapia : reproduction, croissance, nutrition, production, pathologie, aspect économique. Université de Liège. 34 P.

MEZIANE N., 2000. Guide de pathologie des poissons d'eau douce. Ed. CNDPA. 46P.

MULLER-FEUGA A., 1990. Modélisation de la croissance des poissons en élevage. Ed. IFREMER. 57 P.

PAULY D. et MOREAU J., 1997. Méthodes pour l'évaluation des ressources halieutiques. Ed. CEPADUES. France. 288 P.

PILLAY T.V.R., 1990. Aquaculture: Principles and practices. Ed. Fishing News Books.

RAYMOND M. J. C., 2000. Alimentation Pathologie et gestion sanitaire en pisciculture. Diplôme d'université Technicien spécialisé en aquaculture. Ed. SAVAU. Montpellier – France. 164 P.

SCHLEMBERGER O., 2002. Mémento de pisciculture d'étang (4eme édition). Ed. Cemagref. 148 – 155.

SCHWARTZ D., 1993. Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes. Ed. Flammarion Médecine - Sciences. (3^{eme} édition). 151 – 187.

TACON A.G.J., 198. Nutritional fish pathology morphological sings of nutrient deficiency and Toxicity in farmed fish. ADCP / REP / 85 / 22. P.32.

TREWAVAS E., 1983. Tilapiine fishes of genera Sarotherodon, Oreochromis and Danakilia. Ed. BMNH. London. Doc. Fish base.

VASSAL D., et BRUSLE J., 1984. Anguilliculture : comparaison de deux types d'alimentation (naturelle et artificielle) en condition d'élevage intensif. Recherche biologique en aquaculture. Vol. 1. Ed. CNEXO. 95 – 110.

Sites Internet

<http://www.aqualegouessant.fr/pdf/infeau/infeau1.pdf>

<http://www.aqualegouessant.fr/pdf/infeau/infeau3.pdf>

<http://www.aqualegouessant.fr/pdf/infeau/infeau8.pdf>

<http://www.aqualegouessant.fr/pdf/infeau/infeau9.pdf>

<http://www.st-pée.inra.fr/>

<http://www.st-pée.inra.fr/stpee/nat/detail/nat4.htm>

<http://www.vet-lyon.fr/ens/nut/webBromato/cours/farinean/fatechno.html>

<http://www.vetofish.com/modules/news/article.php?item-id=22>

<http://www.fao.org/docrep/T8655F/t8655f00.htm>

<http://www.fishbase.org/French/Fichbaseles-statistiques-de-la-fao.htm>

<http://www.fao.org/docrep/field/003/AC424F/AC424F00.htm>

ANNEXES

Annexe 1

CONCENTRE MINERAL VITAMINE FABRIQUER PAR L'O.N.A.B.

Composition de CMV de l'O.N.A.B. : Sel, Antibiotiques, Oligo-éléments, Vitamines, Antioxydant, Phosphate bicalcique, Calcaire.

Caractéristiques :

- . Humidité 05% max.
- . Matières minérales : 08% max.

Dont :

Calcium	16%
Phosphore	06%
Sel	30%

Vitamines (/ 1 kg) :

- . Vit A 1.232.000 U.I
- . Vit D3 205.350 U.I
- . Vit E 2.050 mg
- . Vit K3 250 mg
- . Vit B1 150 mg
- . Vit B2 510 mg
- . Vit B6 510 mg
- . Vit B12 2 mg
- . Vit B PP 2.560 mg
- . Acide folique 100 mg
- . Biotine 15 mg

Durée de la garantie des vitamines : trois (03) mois

Oligo- éléments : (mg/1kg)

• Fer	600
• Cuivre	760
• Zinc	4600
• Cobalt	91
• Sélénium	3
• Iode	98,8
• Magnésium	2470
• Manganèse	4500
• Soufre	4710

Supplémentations :

• Antibiotique : Flavomixine	0,02 %
• Antioxydant : BHT	1,25 %

Annexe 2

Tableau-1-:Températures enregistrées quotidiennement (matin et après midi) durant toute l'expérience :

Dates	Aqua1		Aqua2		Aqua3		Aqua4		Aqua5		Aqua6		Aqua7		Aqua8	
	M	A m	M	A m	M	A m	M	A m	M	A m	M	A m	M	A m	M	A m
27/03/04	28,3	27,8	28,5	28,3	28,4	28,3	28,2	28,1	28	28	27,9	28	28,2	28,1	28,3	28
28/03/04	28,4	28,1	28,8	28,9	28,6	27,5	28,4	28,4	28,1	28,2	28	28,4	28,1	28,1	28,3	27,6
29/03/04	28,1	28	29,1	28	27,4	27,5	28,4	28,4	28,2	28,2	28,4	28,3	28,2	28,1	27,7	27,5
30/03/04	28,5	28,5	28,3	28,3	27,7	27,7	28,5	28,6	28,3	28,3	28,4	28,4	28,3	28,3	27,8	27,8
31/03/04	28,5	28,2	28,2	28,1	27,5	28	28,7	27,2	28,4	27,8	28,4	27,4	28,5	27,5	27,7	29,8
01/04/04	28,6	28,5	28,3	28,2	28,2	28,2	27,5	27,4	27,7	27	27,4	27,3	27,6	27,5	26,8	26,9
04/04/04	28,3	28,2	28,3	28,3	28,1	28	27,8	27,9	28	28,1	27,2	27,4	27,6	27,8	27,6	27,7

Suite de tableau -1- :

05/04/04	28,3	28,3	28,2	28,1	28,1	28,1	27,8	27,7	27,8	27,8	27,3	27,8	27,5	27,8	27,5	27,8
06/04/04	27,7	28,3	27,8	28,1	27,7	28	27	27,8	27,1	27,9	27,4	27,6	27,6	28	27,8	27,8
07/04/04	28	28,1	28,1	28,1	28	28,2	27,9	28	27,8	27,9	28	27,9	28,1	28	27,8	28,1
10/04/04	27,4	27,5	27,6	27,6	28,6	28,1	27,6	27,7	27,7	27,8	29	28,4	28,9	28,1	28,2	28,1
11/04/04	27,1	26,2	27,5	27	28,4	27,9	27,5	27,2	28	27,4	28,1	28	28,5	28,2	26,5	27
12/04/04	27,3	26,9	27,8	27,6	28,8	28,6	28	27,7	28,2	28,1	28,6	28,7	28,9	28,7	28,6	28,5
13/04/04	27,6	27,1	27,9	27,7	28,9	28,3	28	27,9	28,5	28,1	28,5	28,3	28,6	28,5	27,9	27,6
17/04/04	28,1	27,8	28	28	28,4	28,4	28	27,8	28,4	28,5	28,8	28,8	29	29	29	29
18/04/04	27,9	28	27,7	27,8	28,3	28,3	27,6	27,7	28,3	28,2	28,6	28,4	28,7	28,2	28,9	28,1
19/04/04	28,3	27,6	28	27,3	28,5	28	27,9	27,5	28,4	28,1	28,8	28,5	28,8	28,4	28,4	28,1

Aqua : Aquarium ; M : Matin ; A m : Après midi

Annexe 3

Tableau-1-: Résultats des mesures quotidiennes de pH de chaque aquarium durant toute l'expérience :

Dates	Aquariums							
	1	2	3	4	5	6	7	8
27/03/2004	-	-	-	-	-	-	-	-
28/03/2004	7,77	7,65	7,7	7,81	7,8	7,72	7,73	7,72
29/03/2004	7,76	7,58	7,67	7,8	7,75	7,7	7,75	7,77
30/03/2004	7,73	7,64	7,68	7,73	7,83	7,63	7,7	7,67
31/03/2004	7,88	7,92	7,68	7,77	7,69	7,71	7,72	7,64
01/04/2004	7,8	8,03	7,92	7,97	8,01	7,97	8,07	7,81
04/04/2004	7,82	7,75	7,67	7,77	7,73	7,77	7,93	7,81
05/04/2004	7,85	7,77	7,74	7,91	7,82	7,75	7,88	7,9
06/04/2004	7,78	7,73	7,77	7,75	7,73	7,42	7,89	7,86
07/04/2004	7,78	7,9	7,69	7,78	7,69	7,75	7,73	7,68
10/04/2004	7,26	7,59	7,36	7,72	7,39	7,37	7,47	7,43
11/04/2004	7,57	7,62	7,56	7,62	7,64	7,59	7,64	7,63
12/04/2004	7,58	7,61	7,57	7,62	7,6	7,54	7,69	7,58
13/04/2004	7,47	7,52	7,52	7,57	7,6	7,52	7,61	7,61
17/04/2004	7,7	7,56	7,62	7,66	7,7	7,58	7,75	7,65
18/04/2004	7,74	7,72	7,63	7,77	7,69	7,68	7,9	7,81
19/04/2004	7,63	7,66	7,57	7,62	7,55	7,47	7,64	7,77
20/04/2004	7,62	7,53	7,54	7,62	7,5	7,52	7,59	7,65
21/04/2004	7,7	7,67	7,71	7,62	7,65	7,61	7,7	7,65
24/04/2004	7,6	7,65	7,59	7,64	7,66	7,7	7,8	7,96
25/04/2004	7,52	7,6	7,47	7,7	7,59	7,65	7,88	7,96
26/04/2004	7,5	7,58	7,56	7,69	7,54	7,58	7,85	8,01
27/04/2004	7,54	7,6	7,6	7,73	7,57	7,56	7,78	8,04

Annexe 4

Tableau-1-: Résultats des mesures des taux d'oxygène moyens enregistrés quotidiennement durant toute l'expérience :

Dates	Aqua1		Aqua2		Aqua3		Aqua4		Aqua5		Aqua6		Aqua7		Aqua8	
	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap	Av	Ap
27/03/2004	6,6	5,9	6,1	5,5	5,8	5,1	6,2	5,4	5,8	4,6	5,6	5,2	5,5	4,86	5,9	5,5
28/03/2004	6,5	5,8	4,7	4	5,8	4,9	6,3	5,5	6,2	5,4	5,7	4,8	6	5,1	6	5
29/03/2004	6,3	5,6	4,3	3,8	5,6	4,9	6,2	5,5	4,3	4,3	5,4	4,8	5,9	5,3	6,1	5,4
30/03/2004	6	5,4	5,7	5	5,5	4,3	6	5,1	6,4	5,7	5,2	4,4	5,8	5,06	5,9	5,3
31/03/2004	6,7	5,7	6,6	5,7	6,2	5,3	6,4	5,6	6,4	5,5	6	5,1	6,3	5,43	6,1	5,1
01/04/2004	3,4	1,8	5,4	4,9	5,1	4	5,4	4,1	5,7	4,8	5,9	5	5,3	4,3	5,2	3,6
04/04/2004	5,3	4,7	4,9	4,6	3,9	3,4	4,7	4	4,6	4,2	4,6	4	5,3	4,4	4,8	4,3
05/04/2004	5,3	4,4	4,8	4,2	4,4	3,4	5,3	4,5	4,9	4,2	4,4	3,7	4,9	4,16	4,9	4,3
06/04/2004	5	4,3	4,8	4,3	4,4	3,8	4,7	4,3	4,9	4,1	3,9	3,7	5,1	4,33	4,7	3,9
07/04/2004	5,7	5	5,8	5,2	5,9	5,1	5,5	4,9	5,3	4,6	5,5	4,8	5,2	4,6	5,5	5
10/04/2004	5,1	4,6	5,2	4,7	5,1	4,8	5,1	4,5	5	4,2	3,7	3,1	5,3	4,9	4,6	4,1
11/04/2004	6	4,4	6,3	4,9	5,9	4,3	6,1	4,7	5,6	4	5,4	4,1	6,1	4,7	6,1	4,8
12/04/2004	5,8	4,3	5,8	4,3	5,2	3,7	5,6	4,2	4,2	3,6	4,5	3,1	6	4,3	5,3	3,9
13/04/2004	5,9	4,4	6	4,6	5,3	4,1	5,5	4,2	5,6	4,3	3,8	2,8	5,7	4,6	5,5	4,2
17/04/2004	4,2	3,6	5	4	5,5	4,5	5,7	4,6	6	4,7	4,9	3,9	6,2	5,33	4,9	4,3
18/04/2004	5,1	4,5	5,2	4,7	3,6	3,3	5,1	4,5	5	4,5	4,8	5,3	5,4	4,66	4,9	4,2
19/04/2004	5,1	4,1	5,5	4,6	5	3,8	5,4	4,1	4,9	3,6	4,5	2,9	5,4	4,1	5,9	4,9
20/04/2004	5,1	3,7	5	3,1	4,6	2,9	4,2	2,8	4,3	2,3	3,5	2,1	4,6	3,16	5,3	4
21/04/2004	6,3	4,7	6,1	4,4	6,2	4,7	6,4	4,9	5,6	4,6	5,9	4,7	6,4	5,6	5	4,8
24/04/2004	5,4	4,1	4,6	3,4	4,9	3,7	4,9	3,8	4,9	3,9	5	3,9	5,9	5,03	6,8	6,1
25/04/2004	4,7	4,2	4,5	3,9	3,5	3	4,2	3,2	4,5	4,1	4,4	3,9	5,6	5,1	5,7	5,1
26/04/2004	3,9	3,4	4,5	4,1	4,1	3,9	4,8	4,3	3,6	3,5	4,1	3,6	5,4	5,06	6,3	6,3
27/04/2004	4,6	4,1	4,7	4	4,5	3,9	4,9	4,2	4	3,6	3,8	3,4	5,3	4,9	6,4	6

Aqua : Aquarium ; Av: Avant repas ; Ap: Après repas ;

Annexe 5

Comparaison entre les rendements moyens des 4 aliments par le test de comparaison de plusieurs moyennes et analyse des variances :

Aliments	1	2	3	4	$x_o = \sum x / 4$
poids des poissons à la fin de l'expérience	29,01	17,58	27,06	16,2	
	23,05	31,49	40,12	24,23	
	24,36	29,79	34,82	26,33	
	39,74	27,6	27,47	26,11	
	36,24	29,07	30,56	20,13	
	35,7	22,39	32,39	24,09	
	44,2	33,84	24,4	23,3	
	35,1	23,59	28,7	24,31	
	28,92	24,06	26,29	19,28	
	32,87	24,34	21,32		
	40,01	23,95	21,51		
	43,55	22,71	32,41		
		25,01	22,09		
		20,75	26,32		
		23,71	35,88		
\bar{x}	34,4	25,33	28,76	22,66	27,79

$$X' = X - 27.79$$

Calculs après changement d'origine :

1	2	3	4	total
1,22	-10,21	-0,73	-11,59	
-4,74	3,7	12,33	-3,56	
-3,43	2	7,03	-1,46	
11,95	-0,19	-0,32	-1,68	
8,45	1,28	2,77	-7,66	
7,91	-5,4	4,6	-3,7	
16,41	6,05	-3,39	-4,49	
7,31	-4,2	0,91	-3,48	
1,13	-3,73	-1,5	-8,51	
5,08	-3,45	-6,47		
12,22	-3,84	-6,28		
15,76	-5,08	4,62		
	-2,78	-5,7		
	-7,04	-1,47		
	-4,08	8,09		

ni	12	15	15	9	N=51
Ti	79,3	-36,93	14,53	-46,11	TG=10,79
Ti ²	6288,49	1363,82	211,12	2126,13	
Ti ² /ni	524,04	90,92	14,07	236,24	865,27
$\sum x^2$	1060,4	347,13	448,3	328,78	2184,61

Somme des carrés des écarts	d.d.l.	Variance	F
$\sum (Ti^2/ni) - TG^2/N = 862,99$	C-1=3	287,66	10,25
$\sum x^2 - \sum (Ti^2/ni) = 1319,34$	N-C=47	28,07	

La valeur de F=10,25 est supérieure à la valeur théorique F^3_{47} (point 1%) environ 4,31 et 1%₀ environ 6,6.

Donc les rendements moyens des 4 aliments sont significativement différents

Annexe 6

Comparaison des rendements moyens entre deux aliments par le test t:

La comparaison est basé sur la valeur de $t = (m_A - m_B) / (S^2/n_A + S^2/n_B)$.

Où:

$$S^2 = (\sum (x - m_A)^2 + \sum (x - m_B)^2) / (n_A + n_B - 2)$$

Le tableau ci-dessous indique les rendements moyens (m) des 4 aliments :

	Aliment 1	Aliment 2	Aliment 3	Aliment 4
m	34,4	25,33	28,76	22,66

Les calculs :

Aliment1	$(x-m_1)^2$	Aliment2	$(x-m_2)^2$	Aliment3	$(x-m_3)^2$	Aliment4	$(x-m_4)^2$
29,01	29,0521	17,58	60,0625	27,06	2,89	16,2	41,7316
23,05	128,8225	31,49	37,9456	40,12	129,05	24,23	2,4649
24,36	100,8016	29,79	19,8916	34,82	36,7236	26,33	13,4689
39,74	28,5156	27,6	5,1529	27,47	1,6641	26,11	11,9025
36,24	3,3856	29,07	13,9876	30,56	3,24	20,13	6,4009
35,7	1,69	22,39	8,6436	32,39	13,1769	24,09	2,0449
44,2	96,04	33,84	72,4201	24,4	19,0096	23,3	0,4096
35,1	0,49	23,59	3,0276	28,7	0,0036	24,31	2,7225
28,92	30,0304	24,06	1,6129	26,29	6,1009	19,28	11,4244
32,87	2,3409	24,34	0,9801	21,32	55,3536		
40,01	31,4721	23,95	1,9044	21,51	52,5625		
43,55	83,7225	22,71	6,8644	32,41	13,3225		
		25,01	0,1024	22,09	44,4889		
		20,75	20,9764	26,32	5,9536		
		23,71	2,6244	35,88	50,6944		
$\sum(x-m)^2$	536,36		256,2		434,23		92,57
ni	12	15		15		9	
m	34,4	25,33		28,76		22,66	

Comparaison entre le rendement de l'aliment1 et l'aliment2:

$$S^2 - (536,36 + 256,2) / (12 + 15 - 2) = 31,7$$

$$t_{cal} = 4,16$$

$$t_{thc} = 2,06$$

t calculé est supérieur à t théorique pour le risque 5%, alors la différence entre le rendement de l'aliment 1 et l'aliment 2 est significative.

Comparaison entre le rendement de l'aliment1 et l'aliment3:

$$S^2 - (536,36 - 434,23) / (12 + 15 - 2) = 4,09$$

$$t_{cal} = 7,2$$

$$t_{thc} = 2,06$$

t calculé est supérieur à t théorique pour le risque de 5%, alors la différence entre le rendement de l'aliment 1 et l'aliment 3 est significative.

Comparaison entre le rendement de l'aliment1 et l'aliment4 :

$$S^2 = 33,10$$

$$t_{cal} = 4,63$$

$$t_{thc} = 2,09$$

t calculé est supérieur à t théorique pour risque 5%, alors la différence entre le rendement de l'aliment 1 et l'aliment 4 est significative.

Comparaison entre le rendement de l'aliment 2 et l'aliment 3

$$S^2 = 24,66$$

$$t_{\text{cal}} = 1,89$$

$$t_{\text{thc}} = 2,04$$

t calculée est inférieure à t théorique pour le risque 5%, alors la différence entre le rendement de l'aliment 2 et l'aliment 3 est non significative.

Comparaison entre le rendement de l'aliment 2 et l'aliment 4 :

$$S^2 = 7,58$$

$$t_{\text{cal}} = 2,3$$

$$t_{\text{thc}} = 2,07$$

t calculée est supérieur à t théorique pour le risque 5%, alors la différence entre le rendement de l'aliment 2 et l'aliment 4 est significative

Comparaison entre le rendement de l'aliment 3 et l'aliment 4 :

$$S^2 = 23,95$$

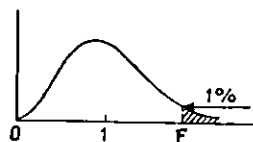
$$t_{\text{cal}} = 2,96$$

$$t_{\text{thc}} = 2,07$$

t calculé est supérieur à t théorique pour le risque 5%, alors la différence entre le rendement de l'aliment 3 et l'aliment 4 est significative.

Table de F (point 1 %) (*)

La table donne la limite supérieure de $F = \frac{s_A^2}{s_B^2}$, pour le risque α (valeur ayant 1 chance sur 100 d'être égalée ou dépassée), en fonction des nombres de degrés de liberté I_A et I_B .



$I_A \backslash I_B$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4052	4999,5	5403	5625	5764	5859	5928	5982	6022
2	98,50	99,00	99,17	99,25	99,30	99,33	99,36	99,37	99,39
3	34,12	30,82	29,46	28,71	28,24	27,91	27,67	27,49	27,35
4	21,20	18,00	16,69	15,98	15,52	15,21	14,98	14,80	14,66
5	16,26	13,27	12,06	11,39	10,97	10,67	10,46	10,29	10,16
6	13,75	10,92	9,78	9,15	8,75	8,47	8,26	8,10	7,98
7	12,25	9,55	8,45	7,85	7,46	7,19	6,99	6,84	6,72
8	11,26	8,65	7,59	7,01	6,63	6,37	6,18	6,03	5,91
9	10,56	8,02	6,99	6,42	6,06	5,80	5,61	5,47	5,35
10	10,04	7,56	6,55	5,99	5,64	5,39	5,20	5,06	4,94
11	9,65	7,21	6,22	5,67	5,32	5,07	4,89	4,74	4,63
12	9,33	6,93	5,95	5,41	5,06	4,82	4,64	4,50	4,39
13	9,07	6,70	5,74	5,21	4,86	4,62	4,44	4,30	4,19
14	8,86	6,51	5,56	5,04	4,69	4,46	4,28	4,14	4,03
15	8,68	6,36	5,42	4,89	4,56	4,32	4,14	4,00	3,89
16	8,53	6,23	5,29	4,77	4,44	4,20	4,03	3,89	3,78
17	8,40	6,11	5,18	4,67	4,34	4,10	3,93	3,79	3,68
18	8,29	6,01	5,09	4,58	4,25	4,01	3,84	3,71	3,60
19	8,18	5,93	5,01	4,50	4,17	3,94	3,77	3,63	3,52
20	8,10	5,85	4,94	4,43	4,10	3,87	3,70	3,56	3,46
21	8,02	5,78	4,87	4,37	4,04	3,81	3,64	3,51	3,40
22	7,95	5,72	4,82	4,31	3,99	3,76	3,59	3,45	3,35
23	7,88	5,66	4,76	4,26	3,94	3,71	3,54	3,41	3,30
24	7,82	5,61	4,72	4,22	3,90	3,67	3,50	3,36	3,26
25	7,77	5,57	4,68	4,18	3,85	3,63	3,46	3,32	3,22
26	7,72	5,53	4,64	4,14	3,82	3,59	3,42	3,29	3,18
27	7,68	5,49	4,60	4,11	3,78	3,56	3,39	3,26	3,15
28	7,64	5,45	4,57	4,07	3,75	3,53	3,36	3,23	3,12
29	7,60	5,42	4,54	4,04	3,73	3,50	3,33	3,20	3,09
30	7,56	5,39	4,51	4,02	3,70	3,47	3,30	3,17	3,07
40	7,31	5,18	4,31	3,83	3,51	3,29	3,12	2,99	2,89
60	7,08	4,98	4,13	3,65	3,34	3,12	2,95	2,82	2,72
120	6,85	4,79	3,95	3,48	3,17	2,96	2,79	2,66	2,56
∞	6,63	4,61	3,78	3,32	3,02	2,80	2,64	2,51	2,41

$I_A \backslash I_B$	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	6056	6106	6157	6209	6235	6261	6287	6313	6339	6366
2	99,40	99,42	99,43	99,45	99,46	99,47	99,47	99,48	99,49	99,50
3	27,23	27,05	26,87	26,69	26,60	26,50	26,41	26,32	26,22	26,13
4	14,55	14,37	14,20	14,02	13,93	13,84	13,75	13,65	13,56	13,46
5	10,05	9,89	9,72	9,55	9,47	9,38	9,29	9,20	9,11	9,02
6	7,87	7,72	7,56	7,40	7,31	7,23	7,14	7,06	6,97	6,88
7	6,62	6,47	6,31	6,16	6,07	5,99	5,91	5,82	5,74	5,65
8	5,81	5,67	5,52	5,36	5,28	5,20	5,12	5,03	4,95	4,86
9	5,26	5,11	4,96	4,81	4,73	4,65	4,57	4,48	4,40	4,31
10	4,85	4,71	4,56	4,41	4,33	4,25	4,17	4,08	4,00	3,91
11	4,54	4,40	4,25	4,10	4,02	3,94	3,86	3,78	3,69	3,60
12	4,30	4,16	4,01	3,86	3,78	3,70	3,62	3,54	3,45	3,36
13	4,10	3,96	3,82	3,66	3,59	3,51	3,43	3,34	3,25	3,17
14	3,94	3,80	3,66	3,51	3,43	3,35	3,27	3,18	3,09	3,00
15	3,80	3,67	3,52	3,37	3,29	3,21	3,13	3,05	2,96	2,87
16	3,69	3,55	3,41	3,26	3,18	3,10	3,02	2,93	2,84	2,75
17	3,59	3,46	3,31	3,16	3,08	3,00	2,92	2,83	2,75	2,65
18	3,51	3,37	3,23	3,08	3,00	2,92	2,84	2,75	2,66	2,57
19	3,43	3,30	3,15	3,00	2,92	2,84	2,76	2,67	2,58	2,49
20	3,37	3,23	3,09	2,94	2,86	2,78	2,69	2,61	2,52	2,42
21	3,31	3,17	3,03	2,88	2,80	2,72	2,64	2,55	2,46	2,36
22	3,26	3,12	2,98	2,83	2,75	2,67	2,58	2,50	2,40	2,31
23	3,21	3,07	2,93	2,78	2,70	2,62	2,54	2,45	2,35	2,26
24	3,17	3,03	2,89	2,74	2,66	2,58	2,49	2,40	2,31	2,21
25	3,13	2,99	2,85	2,70	2,62	2,54	2,45	2,36	2,27	2,17
26	3,09	2,96	2,81	2,66	2,58	2,50	2,42	2,33	2,23	2,13
27	3,06	2,93	2,78	2,63	2,55	2,47	2,38	2,29	2,20	2,10
28	3,03	2,90	2,75	2,60	2,52	2,44	2,35	2,26	2,17	2,06
29	3,00	2,87	2,73	2,57	2,49	2,41	2,33	2,23	2,14	2,03
30	2,98	2,84	2,70	2,55	2,47	2,39	2,30	2,21	2,11	2,01
40	2,80	2,66	2,52	2,37	2,29	2,20	2,11	2,02	1,92	1,80
60	2,63	2,50	2,35	2,20	2,12	2,03	1,94	1,84	1,73	1,60
120	2,47	2,34	2,19	2,03	1,95	1,86	1,76	1,66	1,53	1,38
∞	2,32	2,18	2,04	1,88	1,79	1,70	1,59	1,47	1,32	1,00

La valeur cherchée $F_{I_B}^{I_A}$ est lue à l'intersection de la colonne I_A et de la ligne I_B .

Exemple : pour les degrés de liberté $I_A = 6, I_B = 10$, la limite supérieure de F est $F_{10}^6 = 5,39$.

*) D'après E. S. Pearson et H. O. Hartley, Biometrika tables for statisticians, vol. 1, University Press, Cambridge, avec l'aimable autorisation des auteurs.

TABLE 5 D
Table de F (point 1 ‰) (*)

La table donne la limite supérieure de $F = \frac{s_A^2}{s_B^2}$, pour le risque α (valeur ayant 1 chance sur 1 000 d'être égale ou dépassée), en fonction des nombres de degrés de liberté l_A et l_B .



$l_A \backslash l_B$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4053**	5000**	5404**	5625**	5764**	5859**	5929**	5981**	6023**
2	998,5	999,0	999,2	999,2	999,3	999,3	999,4	999,4	999,4
3	167,0	148,5	141,1	137,1	134,6	132,8	131,6	130,6	129,9
4	74,14	61,25	56,18	53,44	51,71	50,53	49,66	49,00	48,47
5	47,18	37,12	33,20	31,09	29,75	28,84	28,16	27,64	27,24
6	35,51	27,00	23,70	21,92	20,81	20,03	19,46	19,03	18,69
7	29,25	21,69	18,77	17,19	16,21	15,52	15,02	14,63	14,33
8	25,42	18,49	15,83	14,39	13,49	12,86	12,40	12,04	11,77
9	22,86	16,39	13,90	12,56	11,71	11,13	10,70	10,37	10,11
10	21,04	14,91	12,55	11,28	10,48	9,92	9,52	9,20	8,96
11	19,69	13,81	11,56	10,35	9,58	9,05	8,66	8,35	8,12
12	18,64	12,97	10,80	9,63	8,89	8,38	8,00	7,71	7,48
13	17,81	12,31	10,21	9,07	8,35	7,86	7,49	7,21	6,98
14	17,14	11,78	9,73	8,62	7,92	7,43	7,08	6,80	6,58
15	16,59	11,34	9,34	8,25	7,57	7,09	6,74	6,47	6,26
16	16,12	10,97	9,00	7,94	7,27	6,81	6,46	6,19	5,98
17	15,72	10,66	8,73	7,68	7,02	6,56	6,22	5,96	5,75
18	15,38	10,39	8,49	7,46	6,81	6,35	6,02	5,76	5,56
19	15,08	10,16	8,28	7,26	6,62	6,18	5,85	5,59	5,39
20	14,82	9,95	8,10	7,10	6,46	6,02	5,69	5,44	5,24
21	14,59	9,77	7,94	6,95	6,32	5,88	5,56	5,31	5,11
22	14,38	9,61	7,80	6,81	6,19	5,76	5,44	5,19	4,99
23	14,19	9,47	7,67	6,69	6,08	5,65	5,33	5,09	4,89
24	14,03	9,34	7,55	6,59	5,98	5,55	5,23	4,99	4,80
25	13,88	9,22	7,45	6,49	5,88	5,46	5,15	4,91	4,71
26	13,74	9,12	7,36	6,41	5,80	5,38	5,07	4,83	4,64
27	13,61	9,02	7,27	6,33	5,73	5,31	5,00	4,76	4,57
28	13,50	8,93	7,19	6,25	5,66	5,24	4,93	4,69	4,50
29	13,39	8,85	7,12	6,19	5,59	5,18	4,87	4,64	4,45
30	13,29	8,77	7,05	6,12	5,53	5,12	4,82	4,58	4,39
40	12,61	8,25	6,60	5,70	5,13	4,73	4,44	4,21	4,02
60	11,97	7,76	6,17	5,31	4,76	4,37	4,09	3,87	3,69
120	11,38	7,32	5,79	4,95	4,42	4,04	3,77	3,55	3,38
∞	10,83	6,91	5,42	4,62	4,10	3,74	3,47	3,27	3,10

La valeur recherchée F_{l_A, l_B}^{α} est lue à l'intersection de la colonne l_A et de la ligne l_B .

Exemple : pour les degrés de liberté $l_A = 6, l_B = 10$, la limite supérieure de F est $F_{6, 10}^{\alpha} = 9,92$.

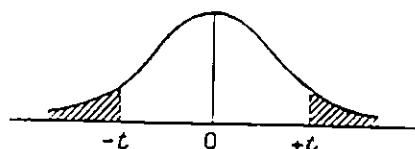
(*) D'après E. S. Pearson et H. O. Hartley, Biometrika tables for statisticians, vol. 1, University Press, Cambridge, avec l'aimable autorisation des auteurs [Table basée sur les sources suivantes : Lord et Deming (1935), Fisher et Yates (1953, table V), Norton (1952)].

(**) Nombres à multiplier par 100.

$l_A \backslash l_B$	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	6056**	6107**	6158**	6209**	6235**	6261**	6287**	6313**	6340**	6366**
2	999,4	999,4	999,4	999,4	999,5	999,5	999,5	999,5	999,5	999,5
3	129,2	128,3	127,4	126,4	125,9	125,4	125,0	124,5	124,0	123,5
4	48,05	47,41	46,76	46,10	45,77	45,43	45,09	44,75	44,40	44,05
5	26,92	26,42	25,91	25,39	25,14	24,87	24,60	24,33	24,06	23,79
6	18,41	17,99	17,56	17,12	16,89	16,67	16,44	16,21	15,99	15,75
7	14,08	13,71	13,32	12,93	12,73	12,53	12,33	12,12	11,91	11,70
8	11,54	11,19	10,84	10,48	10,30	10,11	9,92	9,73	9,53	9,33
9	9,89	9,57	9,24	8,90	8,72	8,55	8,37	8,19	8,00	7,81
10	8,75	8,45	8,13	7,80	7,64	7,47	7,30	7,12	6,94	6,76
11	7,92	7,63	7,32	7,01	6,85	6,68	6,52	6,35	6,17	6,00
12	7,29	7,00	6,71	6,40	6,25	6,09	5,93	5,76	5,59	5,42
13	6,80	6,52	6,23	5,93	5,78	5,63	5,47	5,30	5,14	4,97
14	6,40	6,13	5,85	5,56	5,41	5,25	5,10	4,94	4,77	4,60
15	6,08	5,81	5,54	5,25	5,10	4,95	4,80	4,64	4,47	4,31
16	5,81	5,55	5,27	4,99	4,85	4,70	4,54	4,39	4,23	4,06
17	5,58	5,32	5,05	4,78	4,63	4,48	4,33	4,18	4,02	3,85
18	5,39	5,13	4,87	4,59	4,45	4,30	4,15	4,00	3,84	3,67
19	5,22	4,97	4,70	4,43	4,29	4,14	3,99	3,84	3,68	3,51
20	5,08	4,82	4,56	4,29	4,15	4,00	3,86	3,70	3,54	3,38
21	4,95	4,70	4,44	4,17	4,03	3,88	3,74	3,58	3,42	3,26
22	4,83	4,58	4,33	4,06	3,92	3,78	3,63	3,48	3,32	3,15
23	4,73	4,48	4,23	3,96	3,82	3,68	3,53	3,38	3,22	3,05
24	4,64	4,39	4,14	3,87	3,74	3,59	3,45	3,29	3,14	2,97
25	4,56	4,31	4,06	3,79	3,66	3,52	3,37	3,22	3,06	2,89
26	4,48	4,24	3,99	3,72	3,59	3,44	3,30	3,15	2,99	2,82
27	4,41	4,17	3,92	3,66	3,52	3,38	3,23	3,08	2,92	2,75
28	4,35	4,11	3,86	3,60	3,46	3,32	3,18	3,02	2,86	2,69
29	4,29	4,05	3,80	3,54	3,41	3,27	3,12	2,97	2,81	2,64
30	4,24	4,00	3,75	3,49	3,36	3,22	3,07	2,92	2,76	2,59
40	3,87	3,64	3,40	3,15	3,01	2,87	2,73	2,57	2,41	2,23
60	3,54	3,31	3,08	2,83	2,69	2,55	2,41	2,25	2,08	1,89
120	3,24	3,02	2,78	2,53	2,40	2,26	2,11	1,95	1,76	1,54
∞	2,96	2,74	2,51	2,27	2,13	1,99	1,84	1,66	1,45	1,00

Table de t (*).

La table donne la probabilité α pour que t égale ou dépasse, en valeur absolue, une valeur donnée, en fonction du nombre de degrés de liberté (d.d.l.).



d.d.l. \ α	0,90	0,50	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,158	1,000	1,963	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	0,142	0,816	1,386	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	0,137	0,765	1,250	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924
4	0,134	0,741	1,190	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	0,132	0,727	1,156	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869
6	0,131	0,718	1,134	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	0,130	0,711	1,119	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408
8	0,130	0,706	1,108	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	0,129	0,703	1,100	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	0,129	0,700	1,093	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	0,129	0,697	1,088	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	0,128	0,695	1,083	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	0,128	0,694	1,079	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	0,128	0,692	1,076	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	0,128	0,691	1,074	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	0,128	0,690	1,071	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	0,128	0,689	1,069	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	0,127	0,688	1,067	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	0,127	0,688	1,066	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	0,127	0,687	1,064	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	0,127	0,686	1,063	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	0,127	0,686	1,061	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	0,127	0,685	1,060	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	0,127	0,685	1,059	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	0,127	0,684	1,058	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	0,127	0,684	1,058	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	0,127	0,684	1,057	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	0,127	0,683	1,056	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	0,127	0,683	1,055	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	0,127	0,683	1,055	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
∞	0,126	0,674	1,036	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

Exemple : avec d.d.l. = 10, pour $t = 2,228$ la probabilité est $\alpha = 0,05$.

(*) D'après Fisher et Yates, Statistical tables for biological, agricultural, and medical research (Oliver and Boyd, Edinburgh), avec l'aimable autorisation des auteurs et des éditeurs.